Rapporter och meddelanden 122

Miljökvalitet och trender i sediment och biota utmed Bohuskusten 2000/2001 – en rapport från sju kontrollprogram

Environmental quality and trends in sediment and biota along the Bohus Coast in 2000/2001 – a report from seven trend-monitoring programmes

Ingemar Cato

SGU
Sveriges geologiska undersökning
Geological Survey of Sweden

Rapporter och meddelanden 122

Miljökvalitet och trender i sediment och biota utmed Bohuskusten 2000/2001 – en rapport från sju kontrollprogram

Environmental quality and trends in sediment and biota along the Bohus Coast in 2000/2001 – a report from seven trend-monitoring programmes

Ingemar Cato

Sveriges geologiska undersökning
2006

ISBN 91-7158-702-0
ISSN 0349-2176

Uppdragsgivare:
Bohuskustens vattenvårdsförbund, Bvvf
Box 305
S-451 18 UDDEVALLA
Sverige
Tel.: +46 (0)522 15980
Tel. sekr. Pege Schelander: +46 (0)705 159822
Hemsida: www.bvvf.se
E-post: Info@bvvf.se alternativt pege.schelander@bvvf.se

Perspektivbilder: Program Klotet, Envirograf AB
Omslag: Ängsull på norra Kalvö, Bohuslän. Foto I. Cato.

© Sveriges geologiska undersökning

Layout: Jeanette Bergman Weihed
Tryck: Elanders Tofters AB, Östervåla 2006

Innehållsförteckning

Abstract 5

Förord 5

Del 1. Inledning och summering av 2000/2001 års miljögiftsundersökningar av sediment och biota utmed Bohuskusten.
Introduction and summing-up of the investigations of toxic substances in sediment and biota along the Bohus Coast in 2000/2001 7

Del 2. Föroreningar och miljökvalitet i sediment längs Bohuskusten 2000, samt förändringar efter 1990 – Västra Götalands läns kustvattenkontroll.
Contaminants and environmental quality of sediments along the Bohu Coast in 2000 and changes after 1990 – the Coast Water Monitoring Programme of Västra Götaland County 15

Del 3. Föroreningar och miljökvalitet i Göta Älvs sediment 2000, samt förändringar efter 1990 – Göta Älvs kontrollprogram.
Contaminants and environmental quality of the Göta Älv river sediment in 2000 and changes after 1990 – the Water Monitoring Programme of Göta Älv 149

Del 4. Föroreningar och miljökvalitet i Stenungsundsområdets sediment 2000, samt förändringar under de senaste 25 åren.
Contaminants and environmental quality of sediments in the Stenungsund area in 2000 and changes during the last 25 years 185

Del 5. Föroreningar och miljökvalitet i Brofjordens sediment 2000, samt förändringar under de senaste 25 åren.
Contaminants and environmental quality of sediments in the Brofjorden in 2000 and changes during the last 25 years 273

Del 6. Föroreningar och miljökvalitet i Gullmarens sediment 2000 samt förändringar under de senaste 20 åren – Gullmarens kontrollprogram.
Contaminants and environmental quality in the Gullmaren sediments in 2000 and changes during the last 20 years – the Water Monitoring Programme of Gullmaren 351

Del 7. Föroreningar och miljökvalitet i biota längs Bohuskusten 1992–2001 – förändringar, belastning och samband.
Contaminants and environmental quality in biota along the Bohus Coast 1992–2001 – trends, load and relationship 375

Del 8. Föroreningar och miljökvalitet hos blåmussla i Göteborgs skärgård 2001 samt förändringar under de senaste 10 åren.
Contaminants and environmental quality in blue mussel in the Göteborg archipelago in 2001, and changes during the last 10 years 475

Preface

The Swedish coastal area of Skagerrak and northern Kattegat have for several decades been receiving contaminants, toxic heavy metals and organic micropollutants, from mainly the urbanized and industralized areas of the Swedish Bohus Coast, but also from inland regions. Contaminants are also transported from Europe to this area by winds and sea currents. The growing concern about this potential environmental threat has led to the demand that several large industries and water concervation associations have to follow the environmental quality by repeated monitoring, among others sediment studies.

The present volume of the SGU series "Rapporter & Meddelanden" comprises a collection of seven papers dealing with trend monitoring programmes carried out along the Swedish Bohus Coast of Skagerrak and Kattegat. This holds for the monitoring programmes of the Brofjorden, the Gullmarsfjorden, the Halsefjorden, the Askeröfjorden, the Göta Älv river, the Gothenburg archipelago and the entire coast of the Bohus County. Some programmes started as early as in 1972 and have served as patterns to similar programmes built up along other parts of the Swedish coast. The latter is in particular valid to the monitoring programme of the Göteborg and Bohus County Water Conservation Association.

FÖRORD

Under en lång rad av år har den svenska Bohuskusten, i likhet med många andra kustavsnitt, fått ta emot föroreningar från främst industrier, jordbruk och samhällen belägna utmed kusten, men också andra urbaniserade områden inom hela dräneringsområdet har bidragit. Föroreningar från övriga Europa transporteras också i viss mån till kustregionen med hjälp av vindar och havsströmmar. Denna transport är emellertid vanligen underordnad de egna utsläppen. Europas kustområden är belastat av gödande ämnen ett ohållbart uttag av fisk, föroreningar och utsläpp från sjöfarten. Den växande oron över de toxiska och svårnedbrytbara ämnenas hot mot miljön har under senare delen av 1900-talet nationellt resulterat i krav på att ett antal större industrier, länsstyrelser och vattenvårdsförbund skall följa miljöutvecklingen genom upprepad omgivningskontroll av bl.a. miljögifter i sediment och biota.

Implementeringen av EU:s vattendirektiv från 2000 med tillhörande dotterdirektiv förstärker ytterligare behovet av sådan omgivningskontroll i syfte att upprätthålla en god vattenkvalité inom unionen. Vattendirektiven (*Dir 2000/60EG om upprättande av en ram för gemenskapens åtgärder på vattenpolitikens område*) omfattar förutom grundvatten, sjöar och vattendrag också kustvatten. EU-kommissionen har dessutom framlagt ett förslag till en marin strategi (*Thematic Strategy on the Protection and Conservation of the Marine Environment*) med ett marint direktiv (*Proposal for a Directive Establishing a Framework for Community Action in the Field of Marine Environmental Policy*). Strategin stöder en ekosystembaserad och regional ansats för ett effektivare skydd av den marina miljön i europeiska havsområden. Inom OSPAR (*Oslo-Paris-kommissionen; Konventionen för skydd av den marina miljön i Nordostatlanten*) och HELCOM (*Helsingforskommissionen; Konventionen om skydd av Östersjöområdets marina miljö*) pågår sedan länge arbeten med bl.a. utformande av riktlinjer och uppföljning av miljöutvecklingen i havet samt numera också anpassning av mätprogram och analysverksamhet till vattendirektivet och EU-förslaget till marint direktiv. Vetenskaplig rådgivning sker främst genom ICES (*International Council for the Exploration of the Sea*).

I Sverige är miljöarbetet för havsmiljön kopplat till miljökvalitetsmålen; *Giftfri miljö*, *Ingen övergödning* och *Hav i balans samt levande kust och skärgård*. I syfte att bättre främja detta arbete har regeringen nyligen presenterat en nationell strategi för havsmiljön. I strategin tar regeringen utgångspunkt i att en ny förvaltning av havet bör införas som baseras på ekosystemansatsen. Den nya havsmiljöförvaltningen ska enligt regeringen bygga på en ökad samordning mellan myndigheter med havsmiljörelaterad verksamhet, ökad lokal delaktighet, bred samverkan mellan aktörer samt regional samordning. I sak lyfter regeringen fram behovet av ett förbättrat skydd för arter, miljöer och ekosystem, ett hållbart nyttjande av havet i havsanknutna näringar, ett förstärkt arbete med planering, miljöövervakning, information och forskning.

Bohuskustens vattenvårdsförbund (Bvvf) är sedan 15 år tillbaka en viktig aktör inom den marina miljöövervakningen av Västra Götalands läns kustavsnitt.

Föreliggande volym omfattar en redovisning och utvärdering av 2000/2001 års miljögiftundersökningar av sediment och biota inom olika miljöövervakningsprogram som numera med fem års intervall genomförs utmed hela eller delar av Bohuskusten. Den biologiska matrisen omfattar blåstång, blåmussla, tånglake, torsk och krabbtaska utmed hela Bohuskusten samt ett separat program för blåmussla i Göteborgs skärgård. Utvärderingarna har genomförts i ljuset av tidigare undersökningar. Därmed har både samband, belastning och trender varit möjliga att bedöma.

Resultaten av utvärderingarna redovisas i sju separata och från varandra fristående rapporter omfattande respektive miljöövervakningsprogram. Dessa avser Preemraff Lysekils omgivningskontroll av Brofjorden, länsstyrelsens kontrollprogram för Gullmarens naturreservat, Stenungsundsindustriernas kontrollprogram för Askerö- och Halsefjord, Göta älvs vattenvårdsförbunds kontrollprogram för Göta älv, samt Bohuskustens vattenvårdsförbunds kontrollprogram för hela Bohuskusten avseende både sediment och biota. Vissa av dessa kontrollprogram startade redan i början på 1970-talet och tjänar i viss mån som mönster för liknande kontroller utmed andra svenska kustavsnitt. Det senare gäller i synnerhet Bohuskustens kontrollprogram.

Inledningsvis presenteras en kort sammanvägd sammanfattning av samtliga resultat (avsnitt 1). En mer fyllig sammanfattning på både svenska och engelska ges under respektive fristående rapport (avsnitt 2–8).

Utvärderingen har utförts på uppdrag av Bohuskustens vattenvårdsförbund (Bvvf). Jag riktar ett varmt tack till alla inblandade och särskilt till ledningen och styrelsen för Bohuskustens vattenvårdsförbund.

Ingemar Cato

Del 1

INGEMAR CATO

Inledning och summering av 2000/2001 års miljögiftsundersökningar av sediment och biota utmed Bohuskusten

Introduction and summing-up of the investigations of toxic substances in sediment and biota along the Bohus Coast in 2000/2001

Innehållsförteckning

Abstract 9
1.1 Marin miljögiftsövervakning i Sverige 9
1.2 Svenska bedömningsgrunder 10
1.3 Summering av resultaten från Bohuskustens olika kontrollprogram 10
1.4 Referenser 14

Abstract

This paper gives a short presentation of Swedish marine trend monitoring programmes for contaminants in general and in particular the programmes run along the Bohus Coast. In addition some aspects of the Swedish environmental criteria of marine sediment and biota are given, and in a short summary the results from the different trend monitoring programmes presented in this volume are outlined.

1.1 Marin miljögiftsövervakning i Sverige

Tungmetaller och persistenta organiska föreningar härrörande från olika former av utsläpp till sjöar, floder och havet lagras förr eller senare in i bottensedimenten. Sediment har därför kommit att bli ett viktigt verktyg i miljöövervakningen. I synnerhet sediment från lugna sedimentationsmiljöer utmed kusterna och i estuarier (flodmynningsområden), som geologiskt sett har en hög sedimentationshastighet, har befunnits användbara.

Ett vanligt förekommande tillvägagångssätt med syfte att följa utvecklingen och tillförseln av miljögifter har varit att upprätta ett antal fasta sedimentstationer i den havsmiljö som skall övervakas. Beroende på sedimentationshastigheten tas sedan för analys ytsedimentprov från dessa stationer med jämna intervall, vanligen fem år. Intervallet mellan provtagningarna bör vara tillräckligt långt så att vid varje ny provtagning den tidigare provtagna sedimentytan hunnit bli begravd med minst ca 10 mm färskt sediment. Om enbart det nysedimenterade materialet tas ut vid varje provtagningsomgång blir det härigenom möjligt att följa utvecklingen och ändringarna i belastningen av miljögifter på stationen ifråga. Med ett större antal stationer inom ett begränsat område, t.ex. en fjord, blir bedömningarna av miljöutvecklingen säkrare.

Marin miljöövervakning baserad på sediment genomförs i Sverige inom i huvudsak tre olika typer av program: (1) Nationell miljöövervakning av öppet hav, (2) Regional miljöövervakning av kustavsnitt och (3) Recipientkontroll av begränsade områden, t.ex. en fjord eller havsvik. Motsvarande program finns också för bl.a. hydrografi och biologi.

Den *nationella miljöövervakningen* av marina sediment startade 2003 och omfattar 16 utsjöstationer utspridda inom svenskt territorialhav och svensk ekonomisk zon (EEZ) från Skagerrak i väster till Bottenviken i norr (Cato 2005). Den nationella miljöövervakningen ligger under Naturvårdsverket men genomförandet har placerats vid Sveriges geologiska undersökning (SGU).

Den *regionala miljöövervakningen* omfattar olika kustavsnitt, vanligen inom ett eller flera län. Länsstyrelser, kustvattenvårdsförbund och/eller älvvattenvårdsförbund samordnar och beställer vanligen denna typ av övervakning. I föreliggande rapport ingår två sådana program, dels Bohuskustens vattenvårdsförbunds miljögiftsövervakning, dels Göta älvs vattenvårdsförbunds miljökontroll.

Recipientkontrollen, är av lokal karaktär och utgör vanligen en del i omgivningskontrollen av tyngre industrier. Denna typ av övervakning hänger normalt samman med de krav som miljömyndigheterna ställer på utövare av miljöfarlig eller miljöpåverkande verksamhet. I föreliggande rapport ingår två sådana kontrollprogram, dels i Brofjorden (Preemraff Lysekil), dels i Askerö- och Halsefjord (petrokemisk industri i Stenungsund). Recipentkontroll kan också ingå i övervakningen av särskilt värdefulla naturområden, t.ex. Gullmarens kontrollprogram.

På motsvarande sätt bedrivs övervakning av miljögifter i biologiskt material. Vilka djur och växter som nyttjas i denna typ av övervakning varierar från kustavsnitt till kustavsnitt, beroende på artfördelningen i de svenska havsområdena.

Föreliggande volym omfattar 7 olika separata och fristående rapporter från lika många miljöövervakningsprogram där fem av programmen omfattar redovisning från miljöövervakning baserad på miljögifter/för-

oreningar i sediment, och två av programmen omfattar redovisning av miljögifter/föroreningar i biologiskt material (blåstång, tånglake, blåmussla, torsk och krabba).

Vilka ämnen och föreningar som ingått i undersökningarna presenteras i inledningskapitlen till varje rapport. För mer information om de olika undersökta ämnena/föreningarna hänvisas till kapitel 1 i en tidigare rapport presenterad från dessa miljökontrollprogram (Cato 1997) samt till en sammanställning av information om i denna volym behandlade ämnen/föreningar som analyseras på uppdrag av Bohuskustens vattenvårdsförbund (Söderlund 2004). Information om tolkningsmetodik (gradientmetoden, kvoter, sedimentationshastighet m.m.) återfinns också i bl.a. först nämnda rapport (Cato 1997 samt i Cato 1977, 1983, 1989).

1.2 Svenska bedömningsgrunder

Grundämnen och många kemiska föreningar förekommer naturligt runt om i miljön, men förhöjda halter kan ha uppkommit till följd av naturliga anrikningsprocesser eller genom antropogen tillförsel. Det senare förknippas ofta och också helt riktigt med vårt moderna industrisamhälle, men har även förekommit långt före industrialismen. Ett av de äldsta kända exemplen är Romarnas utvinning av bly för mer än 2 000 år sedan. Deras primitiva smältverk gav upphov till en omfattande atmosfärisk spridning av bly, bl.a. upp till våra breddgrader, vilket dokumenterats i svenska sjösediment (Renberg m.fl. 1994).

Många metaller är livsnödvändiga för organismer, t.ex. Fe, Cu, Co, Cr, Mn och Zn. Vid förhöjda halter kan dock giftverkan uppstå. Tolerensen mot skadliga effekter av förhöjda halter varierar mellan olika metaller men också mellan olika arter och organismgrupper. Kadmium, kvicksilver och bly är exempel på metaller där marginalen mellan naturlig halt och förhöjd, skadlig halt är liten hos människa och däggdjur. Inom ramen för Oslo-Paris-kommissionen (OSPAR) har man enats om s.k. EAC-värden (Ecotoxicological assessment criteria) vilka är uttryckta som det ämnesspecifika koncentrationsintervall under vilket skadliga effekter ej kan förväntas på den känsligaste arten i ekosystemet. Varje EAC-värde är baserat på 1/10 av det lägsta uppmätta NOEC-värde (no effect concentration) som rapporterats i litteraturen för ämnet ifråga. Detta innebär att inga biologiska effekter kan förväntas när koncentrationen ligger under detta värde. EAC-värdena grundar sig således dels på experiment dels på ett teoretiskt resonemang.

Eftersom koncentrationerna varierar i olika miljöer kan man utgå ifrån att organismerna anpassats till den miljö de levat i under generationer. Detta innebär att vid val av bedömningsgrunder för naturliga ämnen måste man utgå från de naturliga bakgrundsvärden som fanns i miljön innan människan störde den. Dessa värden kan vara olika för olika regioner beroende på bergrund, sedimenttyper etc. Mot bakgrund av denna kunskap har man i flera länder utarbetat bedömningsgrunder, dvs. riktvärden för tillståndsklassificering av vatten, sediment och organismer. Information om de svenska bedömningsgrunderna för kust och hav återfinns dels i tryckt form (Naturvårdsverket 1999), dels på Naturvårdsverkets hemsida (www.naturvardsverket.se). Dessa bedömningsgrunder har i huvudsak nyttjats i föreliggande arbete kompletterat med norska kriterier där svenska sådana saknas (SFT 1993).

1.3 Summering av resultaten från Bohuskustens olika kontrollprogram

Sedimenten utmed Bohuskusten, från Strömstad i norr till Göteborgs södra skärgård i söder, har på uppdrag av Bohuskustens vattenvårdsförbund (Bvvf) undersökts år 2000 med avseende på vissa fysiska och kemiska parametrar. Drygt ett 100-tal ämnen, tungmetaller, organiska miljögifter och näringsämnen har studerats på 14 stationer utmed hela Bohuskusten, samt inom ramen för respektive lokalt miljöövervakningsprogram på 14 stationer i Stenungsundsområdet, 8 stationer i Brofjorden, 1 station i yttre Gullmaren och 2 stationer i Göta älv.

Ytsedimentproverna (0–1 cm) har i allmänhet analyserats (avvikelser förekommer) med avseende på totalkol (TC), oorganiskt kol (IOC), totalt organiskt kol (TOC), totalkväve (tot-N), totalfosfor (tot-P), metaller (As, Cd, Cr, Cu, Hg, Mn, Ni, Pb, Sn, V, Zn), totalkolväten (THC), polycykliska aromatiska kolväten (16 PAH), metylnaftalener, polyklorerade bifenyler (7 PCB), plana PCB (nonorto-PCB), klorbensener (pe-CB, HCB), oktaklorstyren (OCS), lindan (γ-HCH), polyklorerade dibensodioxiner (PCDD), dibensofuraner (PCDF), halogenerade alifater, monoaromater (BTEX), polybromerade difenyletrar (PBDE, dekaBDE),

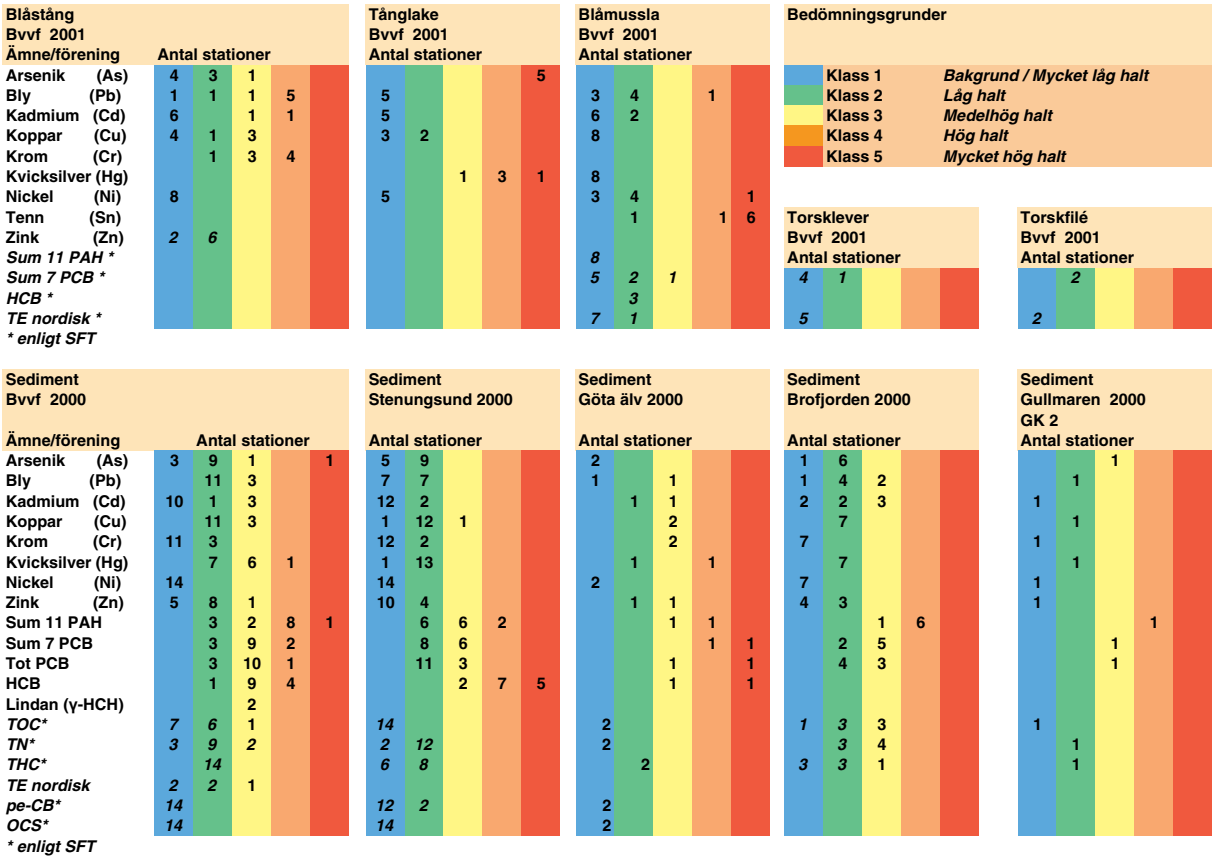
ftalater, klorfenoler, klorgujakoler, fettsyror, organiska tennföreningar (TBT) parallellt med bestämning av sedimentationshastighet, kornstorleksfördelning, vattenhalt och struktur med hjälp av radiografi.

Det biologiska materialet (blåstång, tånglake, blåmussla, torsklever, torskfilé) undersöktes på 5–8 stationer och krabbtaska på 2 stationer. Proverna har i allmänhet analyserats på motsvarande parametrar, dock ej näringsämnen och sedimentspecifika parametrar.

Sveriges geologiska undersökning (SGU) har svarat för provinsamling och Alcontrol för analys av sedimentproven samt avrapportering av denna fas, medan SGU har svarat för utvärdering, trendanalys och slutlig avrapportering. Studien ingår som ett led i vattenvårdsförbundets kustvattenkontroll, omfattande bl.a. kontroll och bedömning av sedimentkvaliteten och biota vart femte år.

Resultaten från de olika undersökningarna visar att berörda kemikalier återfinns i varierande mängder inom hela undersökningsområdet både i sedimenten och den biologiska matris som undersökts.

I figur 1:1 sammanfattas miljökvalitet i både biota och sediment utmed Bohuskusten vad avser de ämnen/föreningar där svenska alternativt norska gränsvärden finns att tillgå. Siffrorna visar hur antalet miljöövervakningsstationer för respektive media fördelar sig för varje ämne och tillståndsklass. Resultaten visar att ytsedimenten (0–1 cm) på de flesta stationerna vad avser metaller faller i klasserna 1–3, dvs. halterna är mycket låga till medelhöga enligt svenska bedömningsgrunder. Låga halter motsvarar den naturliga bakgrunden i sediment, medan låga till medelhöga halter visar på en successivt ökad diffus påverkan som i allmänhet förekommer i urbaniserade och industrialiserade områden utan direkt inverkan från punktkällor. Klasserna 4 och 5 däremot visar på varierande grad av inverkan från punktkällor. Resultaten visar att endast på tre stationer (bl.a. Göta älv) är halterna av kvicksilver (Hg) och arsenik (As) höga respektive mycket höga i sedimenten.



Figur 1:1. Sammanfattning av miljökvaliteten i biota (överst) och sediment (nedan) inom olika områden utmed Bohuskusten år 2000/2001. Siffrorna visar antalet stationer inom varje klass. Klassificering enligt svenska bedömningsgrunder (Naturvårdsverket 1999, 2005) utom i fem fall (markerade med *) där norskt klassificeringschema efter SFT (Rygg & Thèlin 1993, Konieczny & Juliussen 1995) använts.

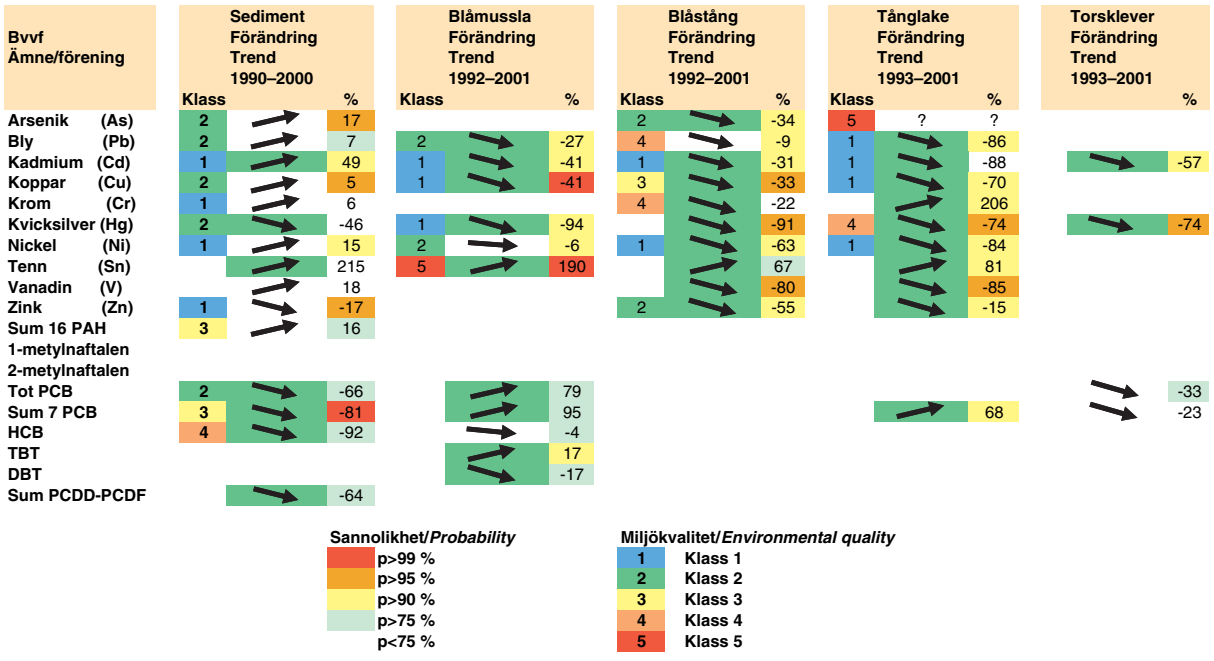
*Summary of the environmental quality of biota (the upper) and sediment (the lowest) in different areas of the Bohus Coast in 2000/2001. The figures refer to the number of stations within each class. Classification according to Swedish Environmental Quality Criteria (Naturvårdsverket 1999, 2005) except in five cases (marked with *) where the classification system after SFT in Norweig (Rygg & Thèlin 1993, Konieczny & Juliussen 1995) has been used.*

Halterna av Hg och As i tånglake är också höga till mycket höga på i stort sett samtliga stationer där tånglake infångats. Detsamma gäller för tenn (Sn) i blåmussla. I blåstång förekommer höga halter av bly (Pb) och krom (Cr) på hälften eller mer än hälften av övervakningsstationerna. Svenska bedömningsgrunder finns inte för alla metaller och alla biologiska media. Dessa fält är därför tomma i diagrammen. Detta gäller också organiska miljögifter med undantag för blåmussla och torsk där norska bedömningsgrunder finns att tillgå för några ämnen. Klassificeringen enligt dessa visar med något undantag på mycket låga till låga halter (klasserna 1–2) i blåmussla och torsk utmed Bohuskusten.

De svenska bedömningsgrunderna för organiska miljögifter i ytsedimenten visar att merparten av övervakningsstationerna håller halter som är mycket låga

till medelhöga (klasserna 1–3). Dock kan konstateras att höga halter av polycykliska aromatiska kolväten (PAH) förekommer på ett stort antal stationer utmed hela kusten, men att Brofjorden främst i sticker ut i detta sammanhang. Ett litet antal stationer visar på höga halter av polyklorerade bifenyler (PCB), medan halterna av hexaklorbensen (HCB) är höga till mycket höga (klasserna 4–5) i främst Stenungsundsområdet. Halterna av pentaklorbensen (peCB) och oktaklorstyren (OCS) är mycket låga utmed kusten. Även toxitetsekvivalenten (TE Nordisk) för dioxiner/furaner är låg på de platser där den undersökts. För variationer och fördelning av övriga kemikalier i sediment och biota hänvisas till respektive rapport 2–8 (denna volym).

Den sammantagna utvecklingstrenden utmed hela Bohuskusten med avseende på medelvärdeskoncentrationen av metaller och organiska miljögifter i undersökt biota mellan 1992/93 och 2001 illustreras tillsammans med sedimentdata från samma stationer i figur 1:2. Pilarna visar om medelkoncentrationen för respektive ämne ökat, minskat eller är oförändrad. I syfte att erhålla en mer allmängiltig bild av koncentrationsförändringen i respektive biologiskt media har respektive medelvärde över stationernas data testats statistiskt med hjälp av s.k. t-test med (n–1) frihetsgrader för matchade datapar. Härigenom har den statistiska sannolikheten (*p*) för respektive medelvärdesförändring kunnat fastläggas. I vissa fall saknas data från 1992/93 alternativt



Figur 1:2. Sammanställning över förändringen av medelvärdeskoncentrationen för några ämnen och föreningar i sediment, blåmussla, blåstång, tånglake och torsklever utmed Bohuskustens mellan 1990 och 2001. Nedåtriktad pil betyder minskad halt och uppåtriktad pil ökad halt. Grönmarkerade fält markerar förändringar som är större än de minst 10 % som baserat på reproducerbarheten vid den kemiska analysen krävs för att en förändring med säkerhet skall kunna bedömas. Grönmarkerade fält i sedimentkolumnen markerar förändringar som är större än de minst 20 respektive 35 %, som baserat på blandningsfaktorn, krävs för att en förändring med säkerhet skall kunna detekteras vid ett femårigt provtagningsintervall.

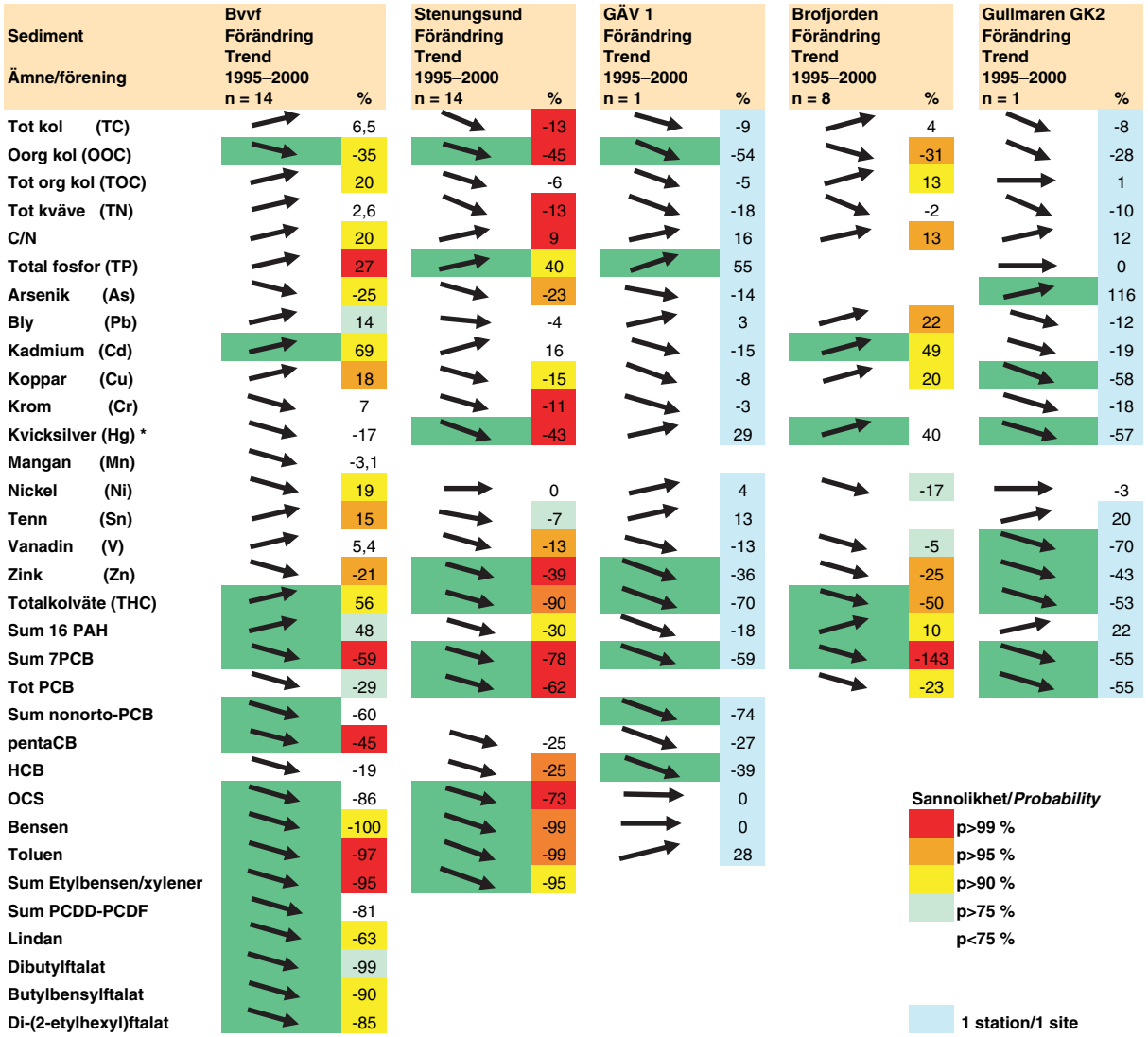
Compilation of the changes of the average concentrations of some elements and compounds between 1990 and 2001 in sediment, blue mussel, bladder wrack, eel-pout and cod liver from the Bohus Coast. Arrow pointed downwards implies decreasing concentration and arrow pointed upwards implies increasing concentration. Green areas in biota matrix mark changes bigger than the minimum of 10% due to the precision of chemical analyses. Green areas in the column of sediment mark changes bigger than the minimum of 20 and 35% needed to detect changes with a high significance in a five-years sampling interval.

var detektionsgränserna för höga 2001 för att en trend skall kunna bedömas. Motsvarande trender mellan de olika undersökningsomgångarna 1992/93, 1997/98 och 2001 redovisas i rapport 7 (denna volym).

Till övervägande del är trenderna samstämmiga mellan de olika medierna i den studerade biologiska matrisen och i allmänhet visar dessa, med mer än 90 % sannolikhet, på sjunkande medelvärden för metaller mellan 1992/93 och 2001. Enda undantag utgör tenn (Sn) som ökat under perioden, vilket också tributyltenn (TBT) och PCB gjort i blåmussla samt i det senare fallet även i tånglake. I torsklever däremot har PCB-halterna minskat.

Resultaten av trendanalysen står i god samklang med ovan presenterade miljökvalitetsförändringar baserade på förskjutningarna av stationer mellan tillståndsklasserna mellan de tre undersökningsomgångarna. Sammantaget kan konstateras att förhållandena med avseende på miljögifter i biologiskt material, med några undantag, förbättrats utmed Bohuskusten under 1990-talet.

Anmärkningsvärt är att trenderna för sediment mellan 1990 och 2000 på dessa stationer i allmänhet är de omvända. Metallhalterna och PAH ökar medan koncentrationen av PCB, HCB och dioxiner/furaner sjunker. Detta indikerar att sedimenten utgör en sänka för metaller och PAH, medan biota sannolikt ackumulerar



Figur 1:3. Sammanställning över förändringen av medelvärdeskoncentrationen för några ämnen och föreningar i ytsediment (0–1 cm) i olika områden utmed Bohuskusten mellan 1995 och 2000. Nedåtriktad pil betyder minskad halt och uppåtriktad pil ökad halt. Grönmarkerade fält markerar förändringar som är större än de minst 35 %, som baserat på blandningsfaktorn, krävs för att en förändring med säkerhet skall kunna detekteras vid ett femårigt provtagningsintervall.

Compilation of the changes of the average concentrations of some elements and compounds in the superficial sediments (0–1 cm) in different areas of the Bohus Coast between 1995 and 2000. Arrow pointed downwards implies decreasing concentration and arrow pointed upwards implies increasing concentration. Green areas mark changes bigger than the minimum of 35% needed to detect changes with a high significance in a five-years sampling interval.

organiska miljögifter. Minskningen av organiska miljögifter i sedimenten speglar sannolikt en minskad emission från samhället.

Utvecklingstrenden för samtliga sedimentstationer inom respektive miljöövervakningsprogram under den senaste perioden 1995–2000 redovisas på samma sätt i figur 1:3. Även i dessa fall är samstämmigheten stor med sjunkande halter av organiska miljögifter i sedimenten, medan metallerna visar på varierande trender dock med en viss övervikt för sjunkande eller oförändrade halter As, Hg, Ni, V och Zn. Halterna av Pb, Cd och framför allt Sn ökade på flertalet platser under motsvarande period.

Sammantaget kan konstateras att förhållandena med avseende på miljögifter i sediment och biologiskt material, med några undantag, successivt förbättrats utmed Bohuskusten under 1990-talet. Ett resultat som visar att vidtagna reningsåtgärder inte varit förgäves för miljön. På den negativa sidan är ökande PAH-halter och en omfattande spridning av flamskyddsmedel (PBDE) och den påväxthämmande kemikalien TBT som ingår i numera förbjudna båtbottenfärger.

1.4 Referenser

Cato, I., 1977: Recent sedimentological and geochemical conditions and pollution problems in two marine areas in southwestern Sweden. *Striae 6*, 158 s.

Cato, I., 1989: Normalization of heavy metal data by the gradient method. *ICES, C.M. 1989/E:2, Annex 6,* 88–108.

Cato, I., 1997: Sedimentundersökningar längs Bohuskusten 1995 samt nuvarande trender i kustsedimentens miljökvalitet – en rapport från fem kontrollprogram. *Sveriges geologiska undersökning Rapporter & Meddelanden 95*, 193–266.

Cato, I., 2005: The national Swedish status and trend monitoring programme based on chemical contaminaton in offshore sediment – an overview of the results from 2003. *SGU-rapport2005:25*, 20 s.

Naturvårdsverket 1999: Bedömningsgrunder för miljökvalitet i Kust och hav. *Naturvårdsverket Rapport 4914*, 134 s.

Naturvårdsverket 2005: ://www.naturvardsverket.se/index.php3?main=/dokument/fororen/orggift/organisk.html.

Renberg, I., Wik Persson, M. & Emteryd, O., 1994: Pre-industrial atmospheric lead contamination detected in Swedish lake sediments. *Nature 368*, 323–326.

SFT 1993: Rygg, B. & Thélin, I., 1993: Klassificering av miiljøkvalitet i fjordar og kystfarvann. Kortversion. *SFT-veiledning nr 93:02*, 20 s.

Söderlund, H., 2004: *Miljöföroreningar I havet. En kort presentation av ämnen som analyseras i Bohuskustens vattenvårdsförbund undersökningsprogram.* Rapport Bohuskustens vattenvårdsförbund 2004-11-01, 47 s. (www.bvvf.se).

Del 2

Föroreningar och miljökvalitet i sediment längs Bohuskusten 2000 samt förändringar efter 1990 – Västra Götalands läns kustvattenkontroll

Contaminants and environmental quality of the sediments along the Bohus Coast in 2000 and changes after 1990 – the Coast Water Monitoring Programme of Västra Götaland County

Innehållsförteckning

Abstract ... 17
2.1. Inledning ... 17
2.2 Undersökningsområde ... 19
2.3 Lokalisering av provtagningsstationer samt provtagningsmetodik ... 19
2.4 Analyser ... 27
2.5 Sedimentationshastighet och reproducerbarhet av belastningstrender ... 28
2.6 Resultat ... 29
2.6.1 Kornstorleksfördelning och sedimenttyper ... 29
2.6.2 Sedimentens färg och grad av bioturbering ... 33
2.6.3 Vattenhalt samt förändringar efter 1990 ... 35
2.6.4 Totalkol och oorganiskt kol samt förändringar efter 1990 ... 35
2.6.5 Organiskt kol samt förändringar efter 1990 ... 38
2.6.6 Totalkväve samt förändringar efter 1990 ... 40
2.6.7 Kol-kvävekvoten (C/N) samt förändringar efter 1990 ... 42
2.6.8 Totalfosfor samt förändringar efter 1990 ... 44
2.6.9 Tungmetaller samt förändringar efter 1990 ... 46
2.6.9.1 Arsenik ... 46
2.6.9.2 Kadmium ... 50
2.6.9.3 Krom ... 52
2.6.9.4 Koppar ... 54
2.6.9.5 Kvicksilver ... 57
2.6.9.6 Mangan ... 59
2.6.9.7 Nickel ... 61
2.6.9.8 Bly ... 63
2.6.9.9 Tenn ... 65
2.6.9.10 Vanadin ... 67
2.6.9.11 Zink ... 69
2.6.10 Tungmetallbelastningen och dess förändring efter 1990 ... 70
2.6.11 Anrikningsfaktorer och lokala bakgrundsdata för tungmetaller ... 74
2.6.12 Totalanalys av tungmetaller ... 75
2.6.13 Totalkolväten samt förändringar efter 1990 ... 78
2.6.14 Polycykliska aromatiska kolväten samt förändringar efter 1990 ... 81
2.6.15 Metylnaftalener ... 89
2.6.16 Polyklorerade bifenyler samt förändringar efter 1990 ... 91
2.6.17 Plana PCB samt förändringar efter 1995 ... 96
2.6.18 Klorbensener och klorstyren samt förändringar efter 1990 ... 99
2.6.19 Lindan samt förändringar efter 1995 ... 105
2.6.20 Polyklorerade furaner och dioxiner samt förändringar efter 1990 ... 107
2.6.21 Halogenerade alifater (haloformer) samt förändringar efter 1995 ... 110
2.6.22 Monoaromater och substituerade monoaromater samt förändringar efter 1995 ... 110
2.6.23 Ftalater samt förändringar efter 1995 ... 116
2.6.24 Polybromerade difenyletrar ... 120
2.6.25 Klorfenoler ... 124
2.6.26 Klorgujakol samt förändringar efter 1995 ... 126
2.6.27 Fettsyror ... 126
2.6.28 Organiska tennföreningar ... 127
2.7 Trendanalyser ... 131
2.8 Sammanfattning ... 132
2.9 Summary ... 140
2.10 Referenser ... 145

Abstract

Surface samples collected from 14 sites along the coast between Strömstad and Göteborg in south-western Sweden, were analysed for total carbon, inorganic carbon, organic carbon (TOC), total nitrogen (TN), total phosphorus (tot P), heavy metals (As, Cd, Cr, Cu, Hg, Mn, Ni, Pb, Sn, V, Zn), total hydrocarbons (THC), polycyclic aromatic hydrocarbons (∑16 PAH), methylnaphtalenes, polychlorinated biphenyls (∑7 PCB, nonortho-PCBs), chlorinated chlorobenzenes (pe-CB, HCB), octachlorostyrene (OCS), lindane (γ-HCH), polychlorinated dibenzo-p-dioxins (PCDD) and dibenzofuranes (PCDF), some aliphatic halogen compounds, monoaromatic compounds (BTEX), polybrominated diphenyl ethers (PBDEs, decaBDE), chlorophenols, chloroguiacoles, fat acids, organotins (e.g. TBT) and some phtalates with simultaneously determinations of sedimentation rates, grain-size distribution, water content and radiographic analyses. The main purpose were: 1) to describe the present status of the sampling sites, 2) to identify the changes that have taken place between 1990–2000, and 3) to try to clarify whether any unknown or unwanted load of contaminants exists along the coast. The results imply that the superficial sediments (0–1 cm) at most stations is moderately (class 3) to evidently (class 4) or in a few cases strongly (class 5) contaminated with respect to PAH, PCB and HCB. This is also valid regarding mercury (Hg) at 50% of the sites. With respect to all other elements and compounds the environmental quality with a few exceptions is good to very good (classes 1–2).

Concerning the elements and compounds that lack environmental quality criteria only a relative assessment, based on data from other coastal areas, can be made. Based on such a comparison it can be stated that the concentrations of aliphatic halogen compounds, monoaromatic compounds and di-(2-ethylhexyl)-phtalate are low along the Bohus coast, while the concentrations of pentachlorophenols and PBDEs are slightly high. The concentration of TBT is on average about eight times higher and as most, 50 times higher, than the national average value of the open sea. Thus TBT stands out as the utmost environmental problem regarding known contaminants along the Bohus coast.

With respect taken to the mixing factor and the statistically test the results of the trend analyses show a strong to very strong significant decrease since 1990 regarding Hg, THC, PCB, pe-CB, HCB, OCS and, but with a weaker significance, regarding dioxins and furanes. In the same period the contents of total phosphorous and Sn have increased with a high significance. During the last five-year period it can be stated with a high to very high probability that the concentration of nonortho-PCB, the insecticide lindane, the monoaromatic compounds (benzene, toluene and ethylbenzene/xylene) and phtalates have strongly decreased, while with slightly less significance the PAH have increased. Most other elements and compounds showed no statistically significant changes between 1990 and 2000, alternative a change less than what is needed with respect to the mixing factor.

A summarized and generalised assessment of the investigations 1990–2000 shows that the contaminant load on the marine part of the Bohus coast successively has decreased during the period.

2.1 Inledning

Bohuskustens (tidigare Göteborgs och Bohus läns) vattenvårdsförbund bildades 1988 med syfte att organisera den regionala miljöövervakningen av Bohuskustens marina vatten. Förbundets medlemmar utgörs bl.a. av samtliga kustkommuner inom Västra Götalands län, hamnar, petrokemisk industri, fisk- och konservindustri m.fl., vilka samtliga på ett eller annat sätt kan påverka den Bohuslänska kustvattenmiljön. Vid sidan om den regionala miljöövervakningen löper för den petrokemiska industrin och raffinaderiverksamheten lokala recipientkontrollprogram (se del 4 och 5 i denna samlingsvolym).

Vattenvårdsförbundet genomför för närvarande löpande undersökningar enligt ett, av tillsynsmyndigheten länsstyrelsen, fastställt program – kustvattenkontroll – för perioden 1994-05-01 till 2011-12-31.

Programmet omfattar hydrografiska, biologiska inklusive fiskeribiologiska, sedimentologiska och miljökemiska undersökningar.

Vattenvårdsförbundets målsättning med undersökningarna är att erhålla kunskap om och följa miljöbelastningen i kustvattnet utmed Bohuskusten. Detta genomförs genom analys av utvalda miljögifter i sediment, flora och fauna. Miljögifterna har valts med utgångspunkt från de utsläpp som kan förväntas från förbundets medlemmar. Undersökningarna genomförs kontinuerligt med, allt efter undersökningens art, kortare eller längre intervall. Sedimentundersökningarna genomförs vart femte år på fasta stationer.

Den första sedimentundersökningen inom ramen för kustvattenkontrollen ägde rum år 1990 och genomfördes av Statens meteorologiska institut (SMHI). Den andra undersökningen ägde rum 1995 och genomfördes av Norsk Institutt for Vannforskning (NIVA) i Oslo (Helland m.fl. 1996). Sveriges geologiska undersökning (SGU) sammanställde och utvärderade resultaten från båda undersökningarna (Cato 1992, 1997a).

Föreliggande rapport behandlar 2000 års sedimentundersökningar. För provtagning har Sveriges geologiska undersökning (SGU) svarat, analys och rapportering av analysdata har utförts av Alcontrol AB i Nyköping (Alcontrol 2004). I likhet med 1990 och 1995 års undersökningar svarar SGU för sammanställning och utvärdering av resultaten.

1990 års undersökningar omfattade 13 stationer varav två stationer ingick i Göta Älvs vattenvårdsförbunds kontrollprogram. Samtliga dessa 13 stationer behandlades och redovisades tillsammans i undersökningens slutrapport (Cato 1992). I 1995 års undersökningsprogram lyftes Göta Älvs vattenvårdsförbunds två stationer ut och respektive kontrollprogram redovisas separat (se även del 3 denna samlingsvolym).

Stationsnätet i Bohuskustens vattenvårdsförbunds kontrollprogram har genomgått vissa förändringar sedan 1990 och 1995 års undersökningar. Nätet utökades från 11 stationer 1990 till 13 stationer 1995. Detta mot bakgrund av att vattenvårdsförbundets medlemmar också önskade fånga upp miljöförhållandena i Fjällbackas skärgård respektive skärgården norr om Strömstad. Där utöver lades den tidigare (1990) sedimentstationen vid inloppet till Brofjorden ned och ersattes av en station inne i Brofjorden. Den nya stationen ingick tidigare i det lokala recipientkontrollprogrammet för Preemraff Lysekil AB (tidigare Scanraff AB) (Cato 1990).

Vid 1995 års undersökningar framkom att station 7 vid Instö Ränna var olämplig som övervakningsstation. Stationen kom därför inte att omfattas av analysprogrammet för 1995 och har numera utgått ur kontrollprogrammet.

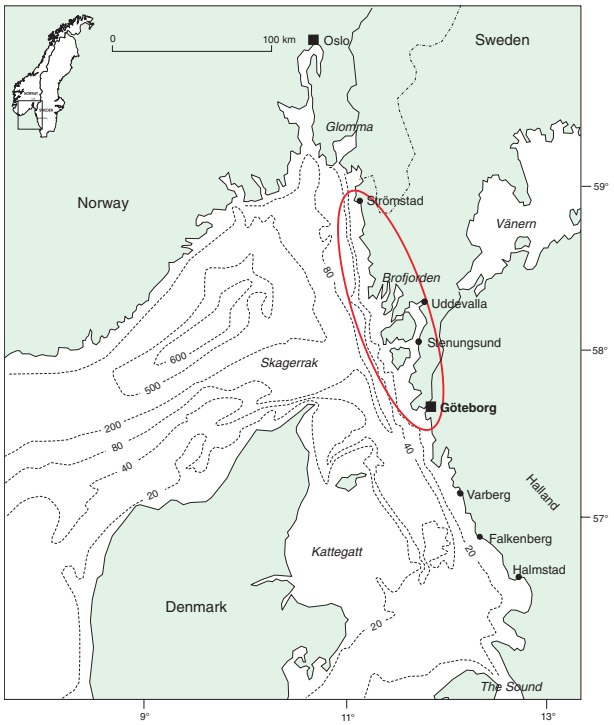


Fig. 2:1. Översiktskarta över Skagerrak och Kattegatt med undersökningsområdet markerat.

Outline map of the Skagerrak and Kattegat showing the location of the investigated area.

Kontrollprogrammet utökades med ytterligare två stationer år 2000, den ena belägen nära muddertippningsplatsen vid Vinga utanför Göteborg, den andra utanför Kungshamn. Motiveringen för denna utökning var bl.a. behovet från nytillkomna medlemmar i vattenvårdsförbundet.

2.2 Undersökningsområde

Undersökningsområdet omfattar Västra Götalands läns kustvatten från Strömstad i norr till 20 km söder om Göteborg (fig. 2:1). Området kan beskrivas som ett skärgårdslandskap med djupa fjordar, rikt på kalspolat berg och trånga dalgångar fyllda med lera, ställvis överlagrad av tunna sandskikt. Morän förekommer sporadiskt. Bottnarna domineras av postglaciala leror som utmed land och i vikarna ofta överlagras av mo och sand, däremellan uppstickande berg inom framför allt erosionsområden. Områden med glaciallera, utvisande erosion, återfinns framför allt i ett bälte väster om Orust och norrut längs Bohuskusten (Fält 1982, SGU 2002, 2004).

Bohuskustens ytvatten påverkas till stor del av den s.k. Baltiska strömmen, som är ett bräckt vatten som kommer från Östersjön via Öresund och Bälten och som i Kattegatt blandats upp med underliggande saltare vatten (Svansson 1975). Den Baltiska strömmen följer den svenska västkusten norrut. I höjd med Skagen sker delvis en inblandning av ett pulsat tillskott av saltare vatten som kommer med Jutska strömmen från södra Nordsjön. Bottenvattnet i Skagerrak och Kattegatt utgörs av salt tungt Atlant- och Nordsjövatten (Rodhe 1996). Mellan det Östersjöpåverkade mindre salta ytvattnet och det tyngre och saltare bottenvattnet från Atlanten och Nordsjön utbildas ett mer eller mindre tydligt språngskikt, oftast inom djupintervallet 10 till 20 meter. I fjordarna och de inre skärgårdsområdena där vattenutbytet är begränsat sker dessutom en märkbar påverkan från de i Västerhavet utmynnande Bohuslänska vattendragen (Karlsson 2005).

2.3 Lokalisering av provtagningsstationer samt provtagningsmetodik

Kartan i figur 2:2 utvisar samtliga provtagningsstationer inom undersökningsområdet. Med undantag för de vid 1995 års undersökningar nytillkomna stationerna 23 (Strömstad) och 24 (Fjällbacka), samt station 319 i Brofjorden (som ersatt den tidigare kontrollstationen vid inloppet till Brofjorden), har samtliga stationer tidigare provtagits vid 1990 års undersökningar (se Cato 1992). Station 319 har tidigare provtagits inom ramen för Naturvårdsverkets basundersökning av Brofjorden 1972 (Cato 1977) samt inom ramen för det lokala recipientkontrollprogrammet för Preemraff Lysekils omgivningskontroll 1989 (Cato 1990). Station 319 visade sig emellertid mindre lämplig som övervakningsstation till följd av muddertippningar, varför en i berörda Brofjordenundersökningar tidigare undersökt och betydligt mer lämplig närliggande station (324 Brofjorden) valdes att ersätta station 319.

De i 2000 års sedimentundersökningar tillkomna stationerna SSV Vinga (30 Vinga) och Kungshamn (17 Byttelocket) har inte undersökts tidigare.

Vid 1995 och 2000 års sedimentundersökning positionsbestämdes stationerna med hjälp av DGPS (Differential Global Positioning System). Dessa uppgifter redovisas i tabell 2:1 jämte vattendjupsuppgifter baserade på ekolodsdata från respektive undersökningsår.

Vattendjupen för respektive station skiljer sig kraftigt åt i tre fall (stationerna: 4 Danafjord, G2 Stenungsund, och 16 Kosterfjorden) vid en jämförelse mellan undersökningsåren 1990 och 1995 (tabell 2:1). Detta beror dels på, att i syfte att erhålla en optimal sedimentationsbotten som provtagningsplats, har station 4 i Danafjord flyttats något inom provtagningsområdet, dels på att det för de två andra stationerna tidigare angivna djupet inte kunde återfinnas inom stationsområdet. Det senare är främst ett resultat av bristande noggrannhet i 1990 års använda positioneringssystem. Genom införandet av DGPS-positionering vid 1995 års undersökningar kom berörda positioneringsproblem att elimineras inför framtiden. Även station 12 Saltkällefjorden i inre Gullmaren flyttades något för att erhålla optimala förhållanden. Vattendjupet är dock detsamma som vid 1990 års undersökningar.

Tabell 2:1. Provtagningsstationer i 2000 års sedimentundersökningsprogram inom ramen för Bohuskustens vattenvårdsförbunds kustvattenkontroll (fet text). DGPS-positioner anges i WGS 84. Motsvarande stationsnummer och vattendjup redovisas från 1990 och 1995 års undersökningar. Inom parentes återges de tidigare använda stationsbeteckningarna.

Sampling sites of the sedimentological investigations in 2000 within the framework of the Coastal water monitoring program of the Bohus Coast Water Conservation Association (bolded text). DGPS-positions are given in WGS 84. The corresponding site numbers and water depth of the 1990 and 2000 year investigations are also presented. The previously used site names are given within brackets.

Stationsnummer 1995 and 2000	Stations-nummer 1990	Latitud N	Longitud E	Vattendjup (m) 2000	Vattendjup (m) 1995	Vattendjup (m) 1990
1 Valö	101	57°32,826'	11°48,558'	47	22	22
30 Vinga	–	57°36,400'	11°36,300'		–	–
2 Skalkorgarna	113	57°40,909'	11°46,202'	9	9	9
4 Danafjord	104	57°40,075'	11°41,277'	27	38	20
5 Rävungarna (Ostindiebådarna)	103	57°46,607'	11°43,976'	6	5	5,5
(7 Instö Ränna)	112	57°53,287'	11°39,490'	–	13	13
G2 Stenungsund	105	58°06,139'	11°48,117'	25	25	17
19 Havstensfjord (Ljungskile)	110	58°12,501'	11°51,506'	20	20	20
18 Byfjorden	102	58°20,107'	11°53,784'	39	42	40
12 Saltkällefjorden (Innre Gullmarn)	111	58°25,333'	11°39,327'	34	34	34
(319 Brofjorden)	–	58°21,164'	11°26,871'	–	13	13*
324 Brofjorden	–	58°21,925'	11°26,797'	8	–	8*
17 Byttelocket	–	58°21,190'	11°14,860'	22	–	–
24 Fjällbacka	–	58°37,498'	11°15,566'	18	18	–
16 Kosterfjorden	106	58°52,098'	11°07,683'	94	94	80
23 Strömstad	–	58°55,808'	11°09,954'	19,5	19,5	–

– = Studerades inte 1990 och 1995. Not studied in 1990 and 1995. * = Data från 1989. Data from 1989.

Provtagningsstationen från 1990, Instö Ränna (7 m vattendjup), visade sig vid 1995 års undersökningar vara placerad i ett olämpligt bottenområde dominerat av erosion. Flera försök gjordes under fältarbetet 1995 för att finna en alternativ plats inom området. Detta visade sig emellertid omöjligt. Till och med den djupaste delen (14 m vattendjup) av området utgjordes av en erosionsbotten. Stationen uteslöts därför ur 1995 års undersökningar och har sedan dess utgått ur kontrollprogrammet.

Vissa mindre justeringar av stationsläget har också genomförts för några stationer vid 2000 års undersökningar. Det gäller stationerna 5 Rävungarna och 18 Byfjorden för vilka en mer optimal plats valts mycket nära det tidigare stationsläget.

Station 1-Valö låg tidigare på en olämplig botten varför denna station år 2000 flyttades några distansminuter till en lämplig sedimentationsbotten på 47 m djup. Som tidigare nämnts utgår den tidigare stationen 319 och ersätts fr.o.m. år 2000 av station 324 Brofjorden som ligger en knapp distansminut norr om den tidigare nyttjade stationen 319.

Hydroakustiska undersökningar

Genom att 2000 års provtagningar kunde genomföras av SGU och från SGUs specialutrustade undersökningsfartyg S/V Ocean Surveyor har således stationernas lämplighet för miljöövervakning varit möjliga att undersöka och värdera med hjälp av hydroakustiska metoder och röntgenteknik. Vid behov har, som framgått av ovan, stationernas läge justerats till en mer lämplig sedimentationsbotten. I figurerna 2:3–2:9 redovisas de side-scan sonarmätningar som utförts på samtliga stationer utom på stationerna 23-Strömstad, 16-Kosterfjorden och 24-Fjällbacka. Mätningarna har utförts i samband med den maringeologiska kartläggning som SGU bedrivit mellan Göteborg och Kungshamn 1999–2000. Berörda tre stationer ligger utanför detta område.

Side-scan sonarmätningarna genomfördes i syfte att dokumentera utbredningen i bottenytan av olika sedimenttyper, uppstickande berggrund samt eventuell förekomst av föremål (t.ex. rörledningar och kablar). För mätningarna nyttjades en side-scan sonar av Chirp-typ, Datasonics SIS 1000 med TritonElics-ISISA lagrings- och processeringssystem. Insamlade rådata har lagrats digitalt i format SEG-Y. Sonarbilderna har slant-rangekorrigerats och geo-rektifierats till sonarbilder i geo-tif-format med pixelstorlek motsvarande 1 × 1 meter i verkligheten.

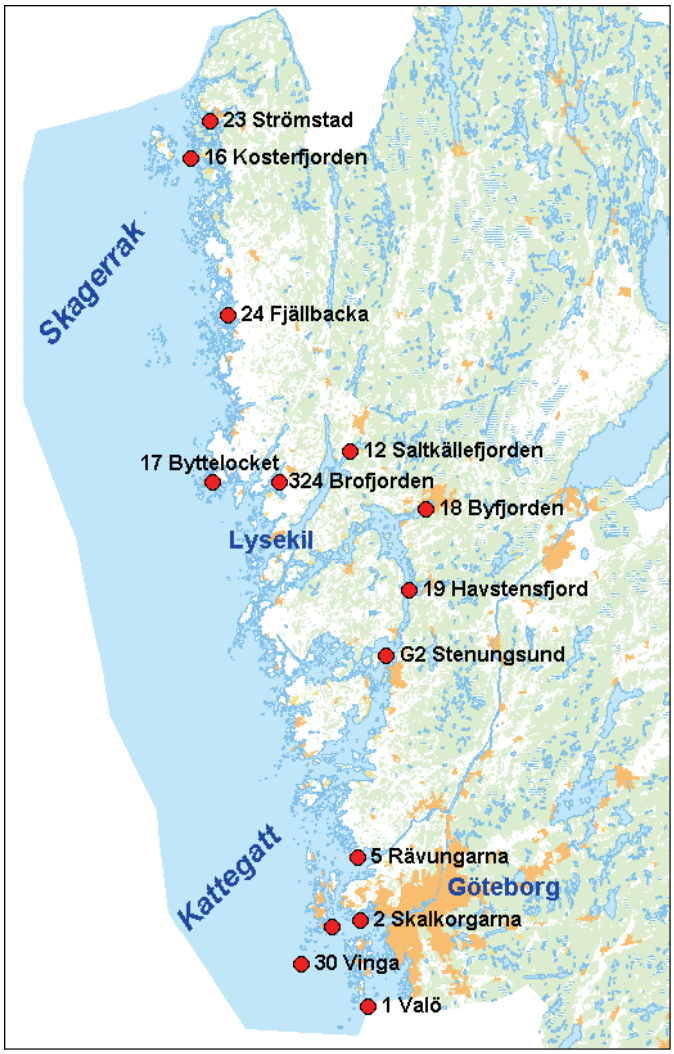


Fig 2:2. Karta utvisande provtagningsstationer i 2000 års sedimentundersökningsprogram, Bohuskustens vattenvårdsförbunds kustvattenkontroll.

Map showing the sampling sites of the sedimentological investigations in 2000, the Coastal Water Monitoring Program of the Bohus Coast Water Conservation Association.

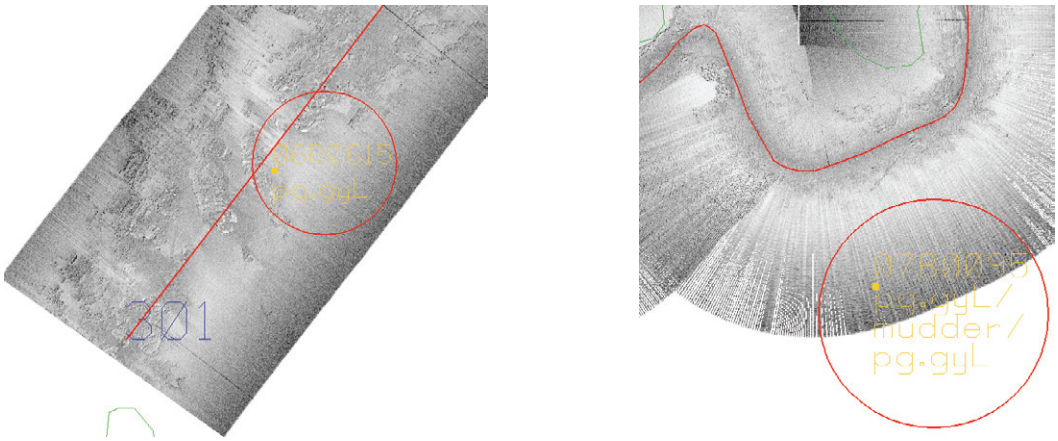


Fig. 2:3. Side scan sonarbild utvisande bottenytan vid station 1-Valö (prov nr 06b-0615) t.v. och 2-Skalkorgarna (prov nr 07b-0095) t.h. Grön linje markerar strandlinje, gul fylld fyrkant inom röd ring markerar provtagningsplatsen och röd linje markerar undersökningsfartygets mätlinje.

Side scan-sonar image showing the bottom surface at site 1-Valö (left) and 2-Skalkorgarna (right). Green line marks shoreline, yellow filled square within red circle marks the sampling site and red line marks the runline of the survey vessel.

För information om de övre sedimentlagren användes också ett skrovfast sedimentekolod av typ Edo Western HiPac (3,5/7 kHz) och för information om de djupare ned liggande sedimentlagren användes en tryckluftsdriven ljudsändare av typ ”sleevgun” (10 kubiktum) som producerar en kraftig och förhållandevis lågfrekvent puls. Som mottagare nyttjades en 6-kanals linjehydrofon (Teledyne) kopplad till en TritonElics-Delph Seismic registrerings/processeringsenhet. Rådata lagrades digitalt i formatet SEG-Y. I figurerna 2:5 och 2:8 visas exempel på denna metodik från 5-Rävungarna och 12-Saltkällefjorden. Sedimenekolodsprofilen ligger i bilderna som bakgrund till de sedimentlager som uttolkats med hjälp av de båda metoderna.

Baserat på en preliminär genomgång av de hydroakustiska mätresultaten har sedan de mest lämpliga provtagningspunkterna lokaliserats; I detta fall depositionsbottnar. Provtagningen föregicks av en video-kamerabesiktning av bottenytan. Detta med syfte att klarlägga att bottenytan var ostörd från fysisk påverkan (t.ex. omrörd genom ankring, fiske m.m.).

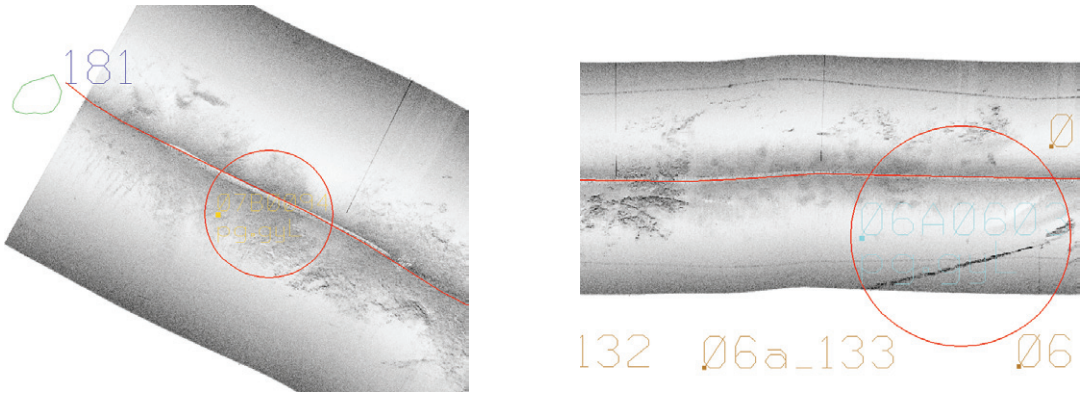


Fig. 2:4. Side scan sonarbild utvisande bottenytan vid station 4-Danafjord (prov nr 07b-0094) t.v. och 30-Vinga (prov nr 06a-0603) t.h. Grön linje markerar strandlinje, gul fylld fyrkant inom röd ring markerar provtagningsplatsen och röd linje markerar undersökningsfartygets mätlinje.

Side scan-sonar image showing the bottom surface at site 4-Danafjord (left) and 30-Vinga (right). Green line marks shoreline, yellow filled square within red circle marks the sampling site and red line marks the runline of the survey vessel.

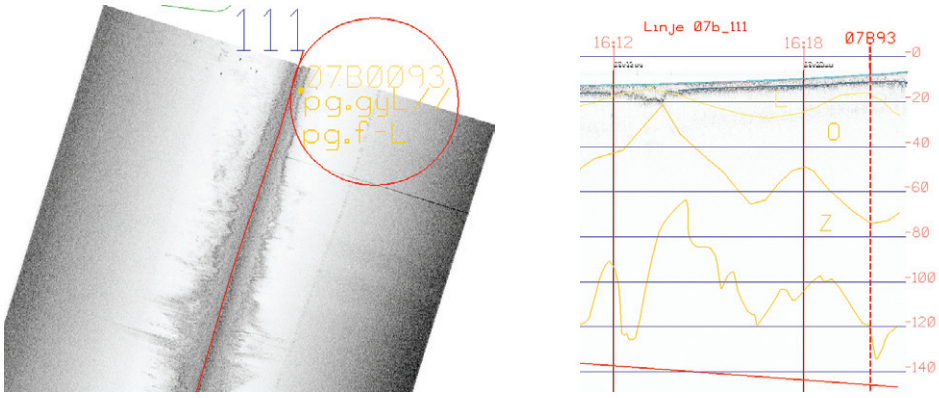


Fig. 2:5. Side scan sonarbild utvisande bottenytan vid station 5-Rävungarna (prov nr 07b-0093) t.v. och sedimentekolodsprofilen t.h. Grön linje markerar strandlinje, gul fylld fyrkant inom röd ring markerar provtagningsplatsen och röd linje markerar undersökningsfartygets mätlinje. Profilens markeringar enligt legenden nedan.

Side scan-sonar image showing the bottom surface at site 5-Rävungarna (left) and the subbottom profiler image (right). Green line marks shoreline, yellow filled square within red circle marks the sampling site and red line marks the runline of the survey vessel. Legend to the profile below:

- = bottenyta
- = postglacial lera (L, ljusgul)
- = glaciallera (Z, mörkt gul)

B = kristallint berg

- = bottom surface
- = postglacial clay (L, light yellow)
- = glacial clay (Z, dark yellow)

B = crystalline bedrock

Provtagning och röntgenanalys

2000 års sedimentprover insamlades, i likhet med 1995 års undersökningar, med hjälp av en box-corer (Jonasson & Olausson 1966) och sedimentkärnor med hjälp av en Gemini corer (Niemistö 1974) från SGUs undersökningsfartyg S/V Ocean Surveyor. Ytproverna (0–1 cm) nyttjades för kemiska analyser medan sedimentkärnorna snittades i 1-cm-skivor ned till 30 cm djup för isotopanalyser (stationerna 2, 3 och 324). Provtagningen ägde rum under perioden 12 augusti till 20 september, 2000 och ombesörjdes av Sveriges geologiska undersökning. Flera parallellkärnor togs på varje station (se nedan). I vissa fall genomfördes en extra provtagning någon fartygslängd ifrån huvudstationen. I dessa fall har båda proven markerats i side-scan sonarbilden. Syftet med den extra provtagningen var att kontrollera det närliggande bottenområdets sedimenttyp.

För att klarlägga sedimentkärnornas slutliga lämplighet för vidare analys (dvs. att sedimentkärnorna inte är omrörda genom t.ex. stark bioturbation, störda vid provtagningen eller störda på annat sätt) skannades och dokumenterades dessa med digital röntgenteknik (Sedimentscanner, se Cato m.fl. 2000). Skanningen genomfördes med en steglängd om 100 µm och exponeringstid av 100 ms hos linjekameran samt vid en tubspänning och tubström av 60 kV respektive 18 mA. Resultatet redovisas i figurerna 2:10a–b.

Ökad grad av svärtning i bilderna innebär bl.a. material med högre densitet, t.ex. skal, stenar, sandkorn etc., medan ljusare partier innebär lägre densitet (t.ex. icke kompakterad lera). Mycket ljusa små fläckar kan utgöra sedimentgas (metangas).

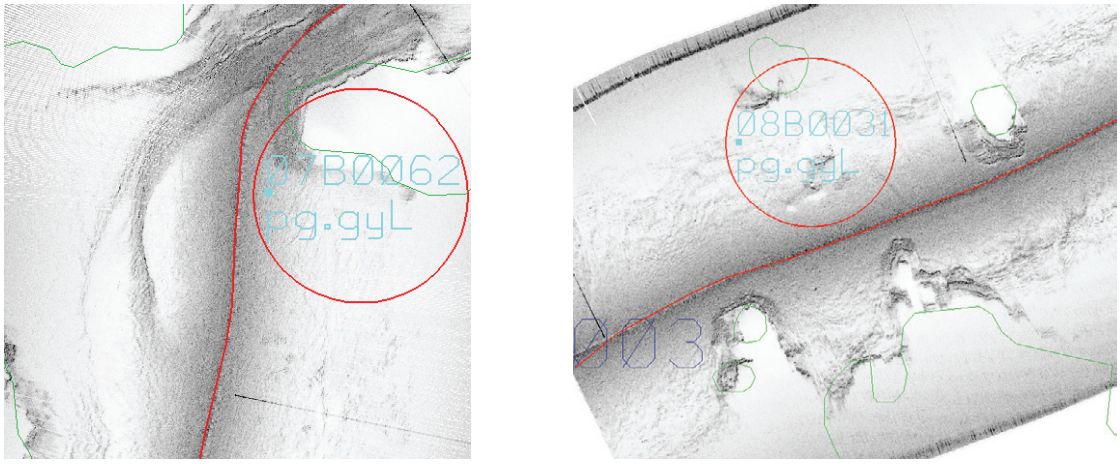


Fig. 2:6. Side scan sonarbild utvisande bottenytan vid station G2-Stenungsund (prov nr 07b-0062) t.v. och 19-Havstensfjord (prov nr 08b-0031) t.h. Grön linje markerar strandlinje, blå fylld fyrkant inom röd ring markerar provtagningsplatsen och röd linje markerar undersökningsfartygets mätlinje.

Side scan-sonar image showing the bottom surface at site G2-Stenungsund (left) and 19-Havstensfjord (right). Green line marks shoreline, blue filled square within red circle marks the sampling site and red line marks the runline of the survey vessel.

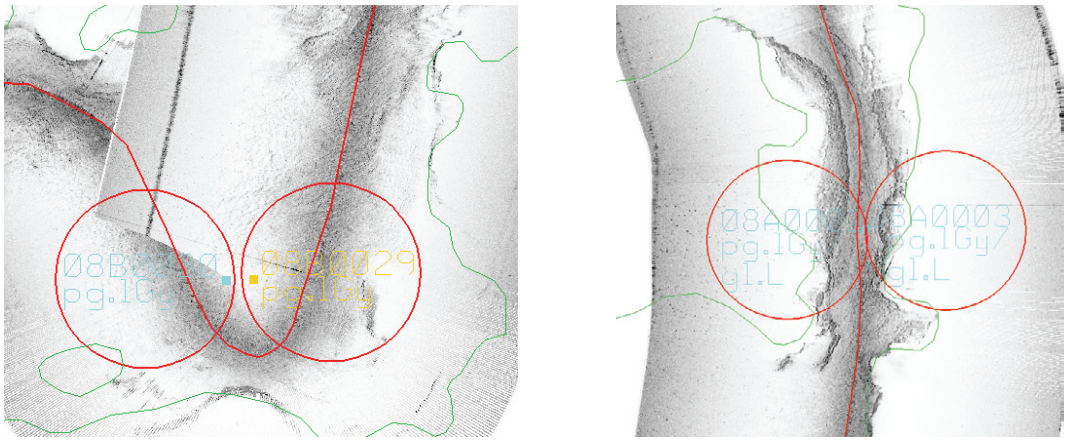


Fig. 2:7. Side scan sonarbild utvisande bottenytan vid station 18-Byfjorden (prov nr 08b-0029, 08b-0030) t.v. och 324-Brofjorden (prov nr 08a-0002, 08a-0003) t.h. Grön linje markerar strandlinje, gul/blå fylld fyrkant inom röd ring markerar provtagningsplatsen och röd linje markerar undersökningsfartygets mätlinje.

Side scan-sonar image showing the bottom surface at site G2-Stenungsund (left) and 19-Havstensfjord (right). Green line marks shoreline, yellow/blue filled square within red circle marks the sampling site and red line marks the runline of the survey vessel.

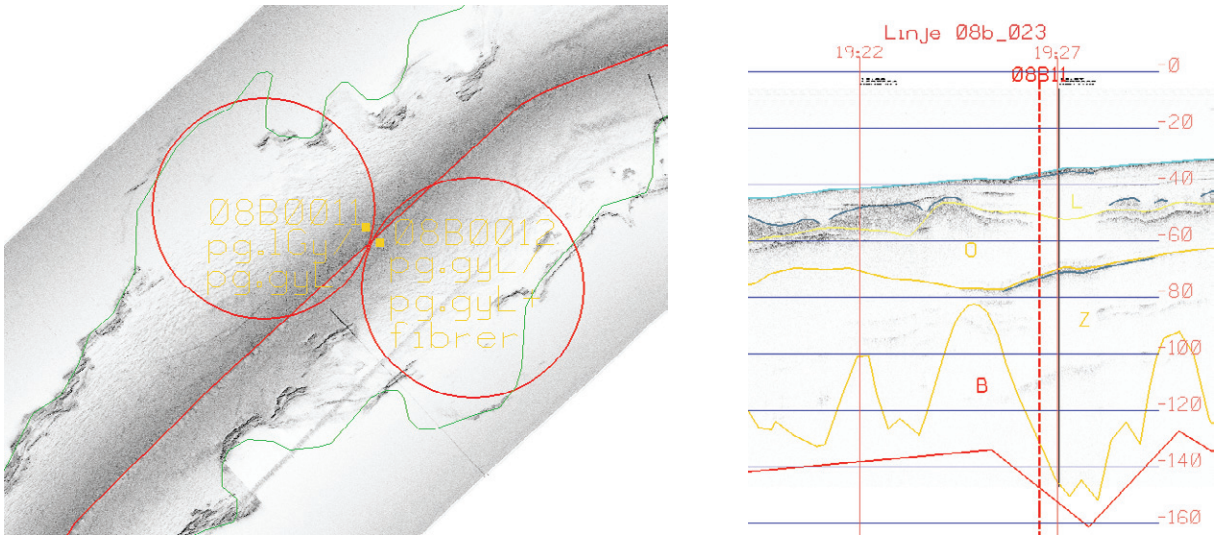


Fig. 2:8. Side scan sonarbild utvisande bottenytan vid station 12-Saltkällefjorden (prov nr 08b-0011, 08b-0012) t.v. och sedimentekolodsprofilen t.h. Grön linje markerar strandlinje, gul fylld fyrkant inom röd ring markerar provtagningsplatsen och röd linje markerar undersökningsfartygets mätlinje. Profilens markeringar enligt legenden nedan.

Side scan-sonar image showing the bottom surface at site 12-Saltkällefjorden (left) and the subbottom profiler image (right). Green line marks shoreline, yellow filled square within red circle marks the sampling site and red line marks the runline of the survey vessel. Legend of the profile below:

- = bottenyta
- = postglacial lera (L, ljusgul)
- = glaciallera (Z, mörkt gul)

B = kristallint berg

- = bottom surface
- = postglacial clay (L, light yellow)
- = glacial clay (Z, dark yellow)

B = crystalline bedrock

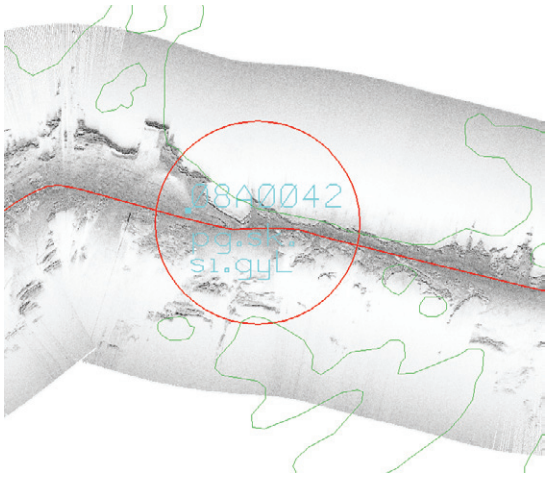


Fig. 2:9. Side scan sonarbild utvisande bottenytan vid station 17-Byttelocket (prov nr 08a-0042). Grön linje markerar strandlinje, gul/blå fylld fyrkant inom röd ring markerar provtagningsplatsen och röd linje markerar undersökningsfartygets mätlinje.

Side scan-sonar image showing the bottom surface at site 17-Byttelocket. Green line marks shoreline, yellow/blue filled square within red circle marks the sampling site and red line marks the runline of the survey vessel.

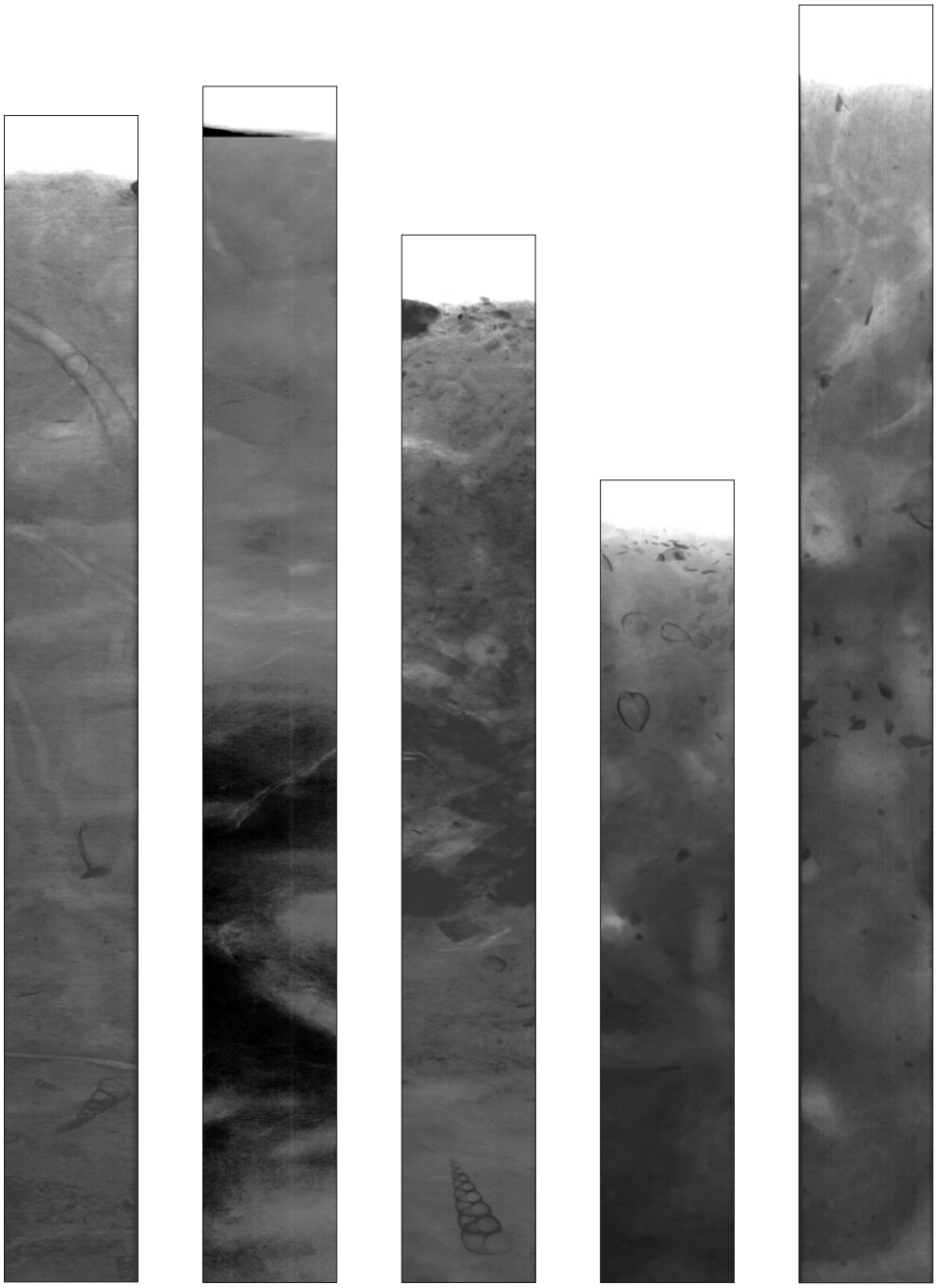
Av röntgenbilderna framgår bl.a. sedimenten är laminerade, helt eller delvis, på stationerna 2-Skalkorgarna, 18-Byfjorden, 324-Brofjorden och 17-Byttelocket. Med undantag för den översta delen av den först nämnda stationen är dessa platser inte utsatta för bioturbation främst till följd av reducerade bottenförhållanden. Övriga stationer är i begränsad omfattning utsatta för svag bioturbation, vilket är normalt på syresatta bottnar utmed Bohuskusten.

I flera sedimentkärnor kan spiralsnäckor (*Turritélla communis*) och musslor (bl.a. *Nucula sp.)* observeras (se 1-Valö, 4-Danafjord, 23-Strömstad, 5-Rävungarna, 17-Byttelocket).

De mörka partierna i sedimentkärna 30-Vinga utgör bitar av glaciallera härrörande från en tidigare muddertippning.

I undre delen av sedimentkärna 324-Brofjorden återfinns en bit fartygsskorstensslagg (stor svart graf). I övrigt syns i flera sedimentkärnor små svarta korn vilka utgör sandpartiklar. Dessa har vid stormtillfällen troligen förts ut från grundare områden.

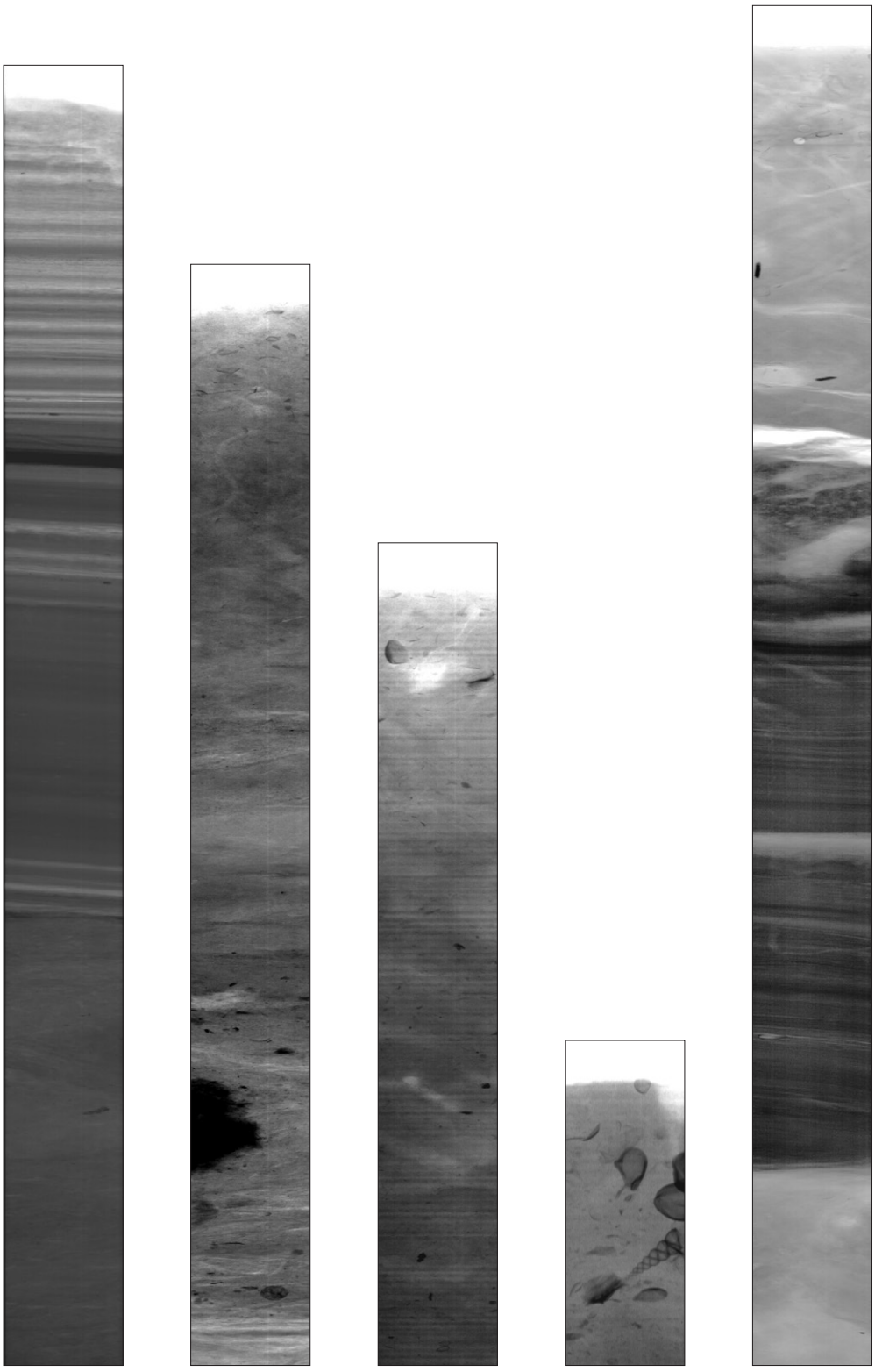
På samtliga stationer togs fyra sedimentkärnor och ett box-coreprov. Med hjälp av en särskild snittningsapparat, där kärnorna hålls vertikalt, togs prov ut från sedimentytan (0–1 cm). Samma skikt togs också ut från box-corern. Sedimentkärnornas ytprover från en och samma station sammanfördes, homogeniserades och överfördes till plastburkar för oorganiska analyser. Box-coreproverna överfördes till glasburkar för organiska analyser. Samtliga prover frystes i väntan på vidare analys. På tre stationer (2-Skalkorgarna, 5-Rävungarna, 324-Brofjorden) snittades en av sedimentkärnorna i 1 cm tjocka skivor med avseende på senare analys av ^{210}Pb för bestämning av sedimentationshastigheten.



1-Valö 30-Vinga 4-Danafjord 5-Rävungarna G2-Stenungsund

Fig. 2:10a. Radiografiska bilder (skala 1:2) av sedimentkärnor från Bohuskusten. Ovanför sedimentytan syns några centimeter bottenvatten. Notera skalen (Turritélla communis and Nucula sp.). Kärnlängd från vänster: 31 cm, 32 cm, 27 cm, 20 cm, 35 cm och 24 cm.

Radiographic images (scale 1:2) of sediment cores from the Bohus Coast. Above the sediment surface a few centimeters of bottom water are seen. Note the shells (Turritélla communis and Nucula sp.). Core length from left: 31 cm, 32 cm, 27 cm, 20 cm, 35 cm och 24 cm.



18-Byfjorden 324-Brofjord 17-Byttelocket 23-Strömstad 2-Skalkorgarna

Fig. 2:10b. Forts. radiografiska bilder (skala 1:2). Kärnlängd från vänster:45 cm, 38 cm, 24 cm, 7 cm och 52 cm.
Cont. radiograph images (scale 1:2). Core length from left: 45 cm, 38 cm, 24 cm, 7 cm och 52 cm.

2.4 Analyser

Sedimentproverna analyserades med avseende på ett flertal parametrar, grundämnen och organiska substanser (se tabell 2:2). En viktig komponent i analysprogrammet har varit att med hjälp av kornstorleksanalyser, sedimentens vattenhalt, innehåll av organiskt material, samt genom optisk besiktning av sedimentprovet (sedimentbeskrivning) och röntgenteknik (Cato m.fl. 2000) söka klarlägga de bottendynamiska förhållandena på platsen. En övervakningsstation för sedimentkontroll skall för att vara effektiv vara förlagd till en depositionsbotten, dvs. en botten med kontinuerlig deposition av finsediment (<63 µm). Ju högre sedimentationshastighet ju lämpligare botten för miljöövervakning. Sedimentationshastigheten studerades på fem stationer 1995 och på tre stationer 2000.

Tabell 2:2. Analyserade miljögifter och parametrar i sedimentprov från Bohuskustens vattenvårdsförbunds kontrollprogram 1990–2000. Asterisk (*) markerar vad som analyserats respektive år.

Analysed pollutants and parameters in sediment samples from the Coastal Water Monitoring Program of the Bohus Coast Water Conservation Association in 1990–2000. Asterisk marks type of analyses carried out respective year.

Ämnesgrupper analyserade i sediment	1990	1995	2000
Totalkolväten	*	*	*
Polycykl aromat kolväten (PAH)	*	*	*
Bicykl aromat. kolväten (NPD)		*	*
Metylnaftalener			*
Extraherbart organiskt bundet klor (EOCl /EPOCl)	*	*	
Extraherbart organiskt bundet brom (EOBr /EPOBr)		*	
Pentaklorbensen (Pe-CB)	*	*	*
Hexaklorbensen (HCB)	*	*	*
Oktaklorstyren (Okt-CB)	*	*	*
Polyklorerade bifenyler (PCB)		*	*
Total PCB	*		*
Plana PCB		*	*
Lindan (gamma-HCH)		*	*
Klordaner		*	
Polyklorerade furaner/dioxiner (PCDF/PCDD)	*	*	*
Bromerade difenyletrar (BDE)		*	*
Monoaromater (BTEX)		*	*
Alifatiska halogenföreningar (haloformer)		*	*
Ftalater		*	
Gujakoler		*	
Nonyfenol		*	
Klorfenoler			*
Totalkol (TC)		*	*
Oorganiskt kol (OOC)	*	*	*
Organiskt kol (TOC)	*	*	*
Totalväve (Tot-N)	*	*	*
Totalfosfor (Tot-P)	*	*	*
Svavel (S)		*	
Metaller	*	*	*
Kornstorlek	*	*	*
Vattenhalt	*	*	*
Röntgenanalys med sedimentskanner			*
Sedimentationshastighet		*	*

Prover avsedda för fysikaliska analyser och analyser av metaller frystorkades först. Övriga prov gick direkt till analys. Alcontrol har samordnat analysarbetet. Följande laboratorier har medverkat: MikroKemi i Uppsala (kol och kväve), Alcontrol i Linköping (övriga kemiska analyser), Statens geotekniska institut (SGI) i Linköping (kornstorleksanalyser) och Jubileumsinstitutionen vid Lunds universitet (sedimentationshastighet). Använd analysmetodik finns beskriven i Alcontrol (2004).

2.5 Sedimentationshastighet och reproducerbarhet av belastningstrender

Inom miljöövervakning baserad på sediment är det önskvärt att provtagningsintervallet, inom detta program preliminärt satt till fem år, närmare bestäms utifrån uppgifter om sedimentationshastigheten på respektive station. De relativt sett höga kostnaderna, för en i detta avseende nödvändig datering på ett antal nivåer i sedimentet på varje station, har medfört att vattenvårdsförbundet valde att genomföra en sådan bestämning på fem stationer 1995 (4 Danafjord, G2 i Stenungsund, 319 i Brofjorden, 24 Fjällbacka och 16 Kosterfjorden) och på tre stationer 2000 (2 Skalkorgarna, 5 Rävungarna och 324 Brofjorden). På övriga stationer planeras detta bli genomfört år 2006 eller senare. Sedimentationshastigheten kommer därmed att bestämmas vid ett undersökningstillfälle per station. Detta ger tillräckligt underlag för bedömning av om eventuella koncentrationsförändringar av miljögifter är möjliga att detektera med 5 års intervall.

Resultaten av sedimentationshastighetsbestämningarna redovisas i tabell 2:3. Metodiken finns närmare beskriven i Jensen (1996). Station 319 i Brofjorden visade sig inte möjlig att datera 1995 till följd av alltför omväxlande sedimentationsförhållanden (muddertippning). Stationen har därför utgått ur kontrollprogrammet och ersatts av station 324.

Tabell 2:3. Sedimentationshastighet, blandningskoefficient samt effektivt och reellt bioturbationsdjup (från Jensen 1996).
Sedimentation rate, mixing coefficient, and effective and real mixing depth (from Jensen 1996).

Station	Sedimentationshastighet			Blandnings-koefficient	Omröringsdjup (cm)		Kvalitets-bedömning
	g/m²/år	CV %	mm/år	cm²/år	Effektivt	Reellt	
4 Danafjord	528± 43	8,1	1,3	43	1,4	2,8–4,2	bra
G2 Stenungsund	5 072±976	19	14	6 400	1,6	3,2–4,8	dålig
24 Fjällbacka	769±178	23	1,9	43	1,1	2,2–3,3	dålig
16 Kosterfjorden	1 823±153	8,4	4,2	150	1,3	2,6–3,9	bra
2 Skalkorgarna	3 240±354	-	2,7	51	1,5	2,3–3,1	bra
5 Rävungarna	1 320±136	-	1,1	41	1,6	2,5–3,4	dålig
324 Brofjorden	3 740±623	-	3,4	10	0,2	0–0,4	bra
F4 Stenungsund	1 675±214	-	1,0	61	1,4	2,8–3,7	bra

De beräknade sedimentationshastigheterna uppvisar en relativt hög variationskoefficient (CV) för stationerna Stenungsund och Fjällbacka. Dateringarna är i motsvarande grad osäkra och betraktas därför som dåliga på dessa stationer. Den höga blandningskoefficienten (6 400 cm²/år) och det höga linjära omröringsdjupet (1,6 cm) på station G2 i Stenungsund visar på en hög bioturbation och inblandning av material från djupare nivåer i ytsedimentet. Denna inblandning är mindre på stationen i Fjällbacka.

Dateringarna på stationerna Danafjord, Kosterfjorden, Skalkorgarna, F4 och Brofjorden kan betraktas som bra, till följd av de låga variationskoefficienterna (ca 8 %). Inblandningen av underliggande material i ytsedimenten är betydligt lägre än i Stenungsund.

Med kännedom om bl.a. sedimentationshastigheten och blandningskoefficienten kan gränsen för minsta möjliga koncentrationsförändring, som beskriver en utvecklingstrend relaterad till en ändring i tillförseln av ett ämne, beräknas som funktion av tiden (Larsen & Jensen 1989). Beräkningsresultaten redovisas i tabell 2:4.

Av tabellen framgår, att med ett provtagningsintervall på fem år, så är det möjligt att avgöra en 35-procentig förändring i tillförseln på stationerna i Stenungsund, F4, Rävungarna, Brofjorden och Koster. Motsvarande storlek på förändring måste vara mellan 40 och 75 % på stationerna i Danafjord, Skalkorgarna och Fjällbacka för att de säkert skall kunna detekteras. Orsaken till skillnaden mellan stationerna är främst skillnaderna i sedimentationshastighet (tabell 2:3). Ju längre intervall mellan provtagningarna desto mindre förändringar kan detekteras.

Ovanstående beräkningar baserar sig på en teoretisk modell varför uppgifterna inte får betraktas som absoluta utan snarare tas som grova riktvärden. De är dock väsentligt att utgå från dessa uppgifter vid nedan genomförda trendanalyser.

Tabell 2:4. Möjligheten att detektera en ändring i tillförsel med en relativ standardavvikelse på 10 % för de kemiska analyserna (efter Jensen 1996).

The possibility to detect a change of the input flux with a relative standard deviation of 10 % of the chemical analyses (after Jensen 1996).

Station	% ändring i tillförsel		
	Provtagningsintervall 3 år	Provtagningsintervall 5 år	Provtagningsintervall 10 år
4 Danafjord	120	75	45
G2 Stenungsund	55	35	20
24 Fjällbacka	100	65	35
16 Kosterfjorden	50	35	20
2 Skalkorgarna	60	40	25
5 Rävungarna	50	35	20
324 Brofjorden	30	15	10
F4	55	35	20

2.6 Resultat

I tabell 2:5 redovisas stationsvis analysresultaten för 2000 års undersökningar vad avser ytsedimentens kornstorleksfördelning (fraktionen <63 µm), vattenhalt, innehåll av totalkol, oorganiskt kol, totalt organiskt kol, totalkväve, kol-kvävekvoten (C/N) och totalfosfor utmed Bohuskusten. Motsvarande data för år 1990 (Cato 1992) och 1995 (Cato 1997a) redovisas också i den mån de analyserats tidigare. Station 319 i Brofjorden saknar data från 1990, men däremot finns data från stationen från 1989 års undersökningar i Brofjorden (Cato 1990). Dessa data redovisas och kan vid en första approximation anses jämförbara och motsvara 1990 års data.

Från tidigare undersökningar har i tabell 2:5 enbart data från de stationer som undersökts 1995 och 2000 medtagits. Detta innebär att de två stationerna från 1990 i Göta älv samt stationen från Instö Ränna har uteslutits. De två förstnämnda stationerna redovisas istället inom Göta älvs kontrollprogram (se del 3 i denna rapport). Detta innebär att de statistiska beräkningarna för respektive år 1990, 1995 och 2000 baseras på 10, 12 respektive 14 stationer. Denna begränsning har gjorts i syfte att skapa bästa möjliga jämförbarhet mellan åren.

2.6.1 KORNSTORLEKSFÖRDELNING OCH SEDIMENTTYPER

Ytsedimentens kornstorleksfördelning har inte, till skillnad från undersökningarna 1990 och 2000, analyserats i sin helhet vid 1995 års undersökningar, utan endast fraktionen <63 µm, dvs. viktsandelen ler och silt bestämdes då i proven. För att skapa jämförbarhet mellan åren har därför ler- och siltfraktionerna slagits samman i 1990 och 2000 års undersökningar. Resultaten från de tre undersökningsåren redovisas i tabell 2:5 samt illustreras vad avser areell fördelning av 2000 års data över lerfraktionen (<2 µm) i figur 2:11.

Fraktionen <63 µm i ytsedimenten varierar mellan 70 och 99 vikts-% med ett medelvärde och medianvärde av 91 respektive 96 vikts-% (tabell 2:6). Med undantag för station Danafjord utgör andelen ler och silt mer än 78 % av ytsedimentprovens vikt. Detta indikerar att stationerna representerar depositionsmiljöer. Station Danafjord däremot representerar en bottenmiljö med något mindre goda depositionsförhållanden. I det följande kommer vi att se att detta förhållande inte nämnvärt påverkar koncentrationerna av olika ämnen och substanser i sedimentet på denna station.

En stationsvis jämförelse mellan 1990, 1995 och 2000 års data redovisas i tabell 2:5 samt illustreras vad avser fraktionen <63 µm i figur 2:12. Andelen ler och silt varierar mindre än 5 % mellan undersökningsåren 1995 och 2000 på samtliga stationer utom på stationerna 1 (Valö), 319/324 (Brofjorden) och 24 (Fjällbacka). I det två förstnämnda fallen hänger detta samman med att 1995 års provtagningsplatser flyttats till bättre depositionsområden. På station 24 utanför Fjällbacka förefaller sedimentationsförhållandena skifta alternativt variera kraftigt inom stationsområdet. I genomsnitt är förändringarna små mellan de två undersökningsåren (fig. 2:13).

Tabell 2:5. Kornstorleksfraktionerna <63 µm, <2 µm, vattenhalt, totalkol (TC), oorganiskt kol (OOC), totalt organiskt kol (TOC), totalkväve (TN), kol-kvävekvoten (C/N) och totalfosfor (Tot-P) i ytsedimenten (0–1 cm) utmed Bohuskusten 1990–2000. Data finns inte från alla år.

The grain-size fractions <63 µm, <2 µm, water content, total carbon (TC), inorganic carbon (OOC), total organic carbon (TOC), total nitrogen (TN), carbon-nitrogen ratio (C/N) and total phosphorous (Tot-P) in the surficial sediments (0–1 cm) from the Bohus Coast in 1990–2000. Data are lacking for some years.

Station	År	Silt +ler <63 µm vikts-%	Ler <2 µm vikts-%	Vattenhalt %	TC g/kg	OOC g/kg	TOC g/kg	TN g/kg	C/N	Tot-P g/kg
1. Valö	1990	43	14	60	26,2	5,2	21	3,0	7,1	0,70
	1995	36,2	–	46,9	13,9	4,5	9,4	1,5	6,3	0,93
	2000	87	21	75,2	45	16	29	4	7,3	1,3
30. Vinga	1990	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	1995	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	2000	97	22	70,4	31	9	22	2,5	8,8	1,3
2. Skalkorgarna	1990	98	38	71	35,5	4,5	31	3,5	8,8	0,68
	1995	98,0	–	73,4	36,9	6,7	30,2	3,9	7,7	1,3
	2000	99	23	77,1	36	5	31	3,6	8,6	1,3
4. Danafjord	1990	74	28	62	25,1	5,1	20	2,3	8,8	0,57
	1995	82,2	–	71,9	31,7	9,5	22,2	2,9	7,7	0,89
	2000	70	20	63,3	24	<0,05	25	2	12,5	1,1
5. Rävungarna	1990	91	14	60	25,0	4,0	21	2,0	10,3	0,55
	1995	96,8	–	69,3	30,5	2,4	28,1	3,1	9,1	0,86
	2000	99	15	78,2	31	<0,05	32	3,3	9,7	1,3
G2. Stenungsund	1990	96	53	70	30,1	2,1	28	3,1	9,1	0,86
	1995	97,6	–	71,0	35,5	6,2	29,3	3,8	7,7	1,4
	2000	95	26	70,9	30	2	28	3,2	8,8	1,4
19. Havstensfjord	1990	97	61	72	32,6	1,6	31	3,4	9,2	0,94
	1995	96,0	–	90,9	37,2	6,6	30,6	4,1	7,5	2
	2000	98	23	78,1	34	5	29	3,7	7,8	1,9
18. Byfjorden	1990	93	57	78	23,3	0,3	23	2,0	11,4	0,46
	1995	94,5	–	63,7	47,1	10	37,1	5,2	7,1	0,81
	2000	99	24	90,8	35	4	31	3,4	9,1	0,83
12. Saltkällefjorden	1990	96	48	63	34,6	1,6	33	2,7	12,1	0,86
	1995	97,1	–	50,8	45,7	17,9	27,8	3,2	8,7	1,3
	2000	96	18	73,1	38	<0,05	38	2,8	13,6	1,6
319. Brofjorden *	1989	90	35	73,8	37,8	18	35,6	4,4	8,1	–
	1995	73,1	–	63,3	24,9	4	20,9	2,7	7,7	0,74
	2000	90	13	82	50	1	49	5,2	9,4	1,4
17. Byttelocket	1990	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	1995	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	2000	97	18	76,5	54	13	41	5,3	7,7	1,6
24. Fjällbacka	1990	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	1995	84,9	–	63,3	37,1	8,7	28,4	3,8	7,5	0,9
	2000	94	15	78,8	36	5	31	3,7	8,4	1,4
16. Kosterfjorden	1990	47	22	51	31	10	21	2,5	8,4	0,43
	1995	77,7		72,5	31,4	12,2	19,2	2,8	6,9	0,65
	2000	77,5	23	69,8	27	11	16	2,3	7,0	1,2
23. Strömstad	1990	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	1995	72,5	–	68,6	29	6	23	3	7,7	1,1
	2000	78	13	67,9	27	1	26	2,9	9,0	1,4

* 1989 års data från Cato (1990)

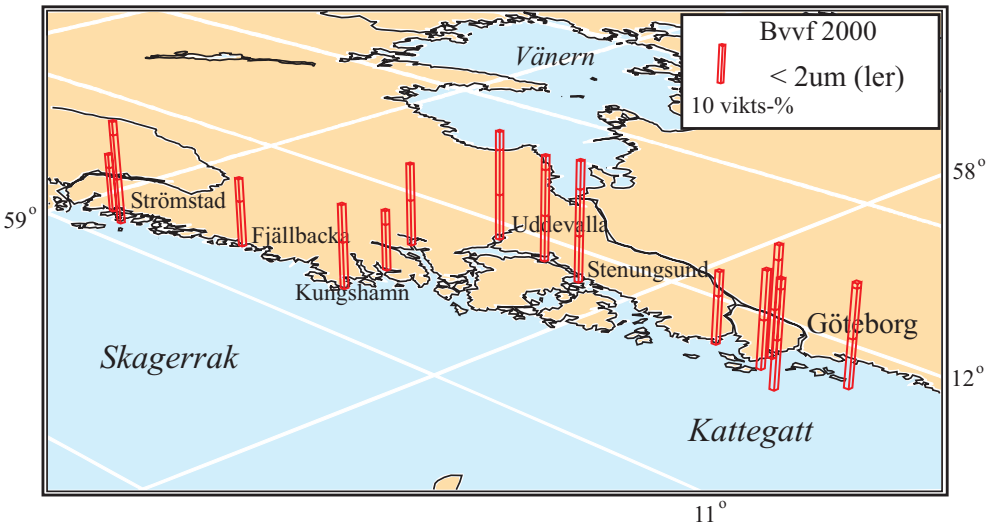


Fig. 2:11. Fördelningen av kornstorleksfraktionen <2 µm (vikts-%) i ytsediment (0–1 cm) utmed Bohuskusten 2000.

The distribution of the grain-size fraction <2 µm (weight-%) in 2000 in the surficial sediments (0–1 cm) of the Bohus Coast.

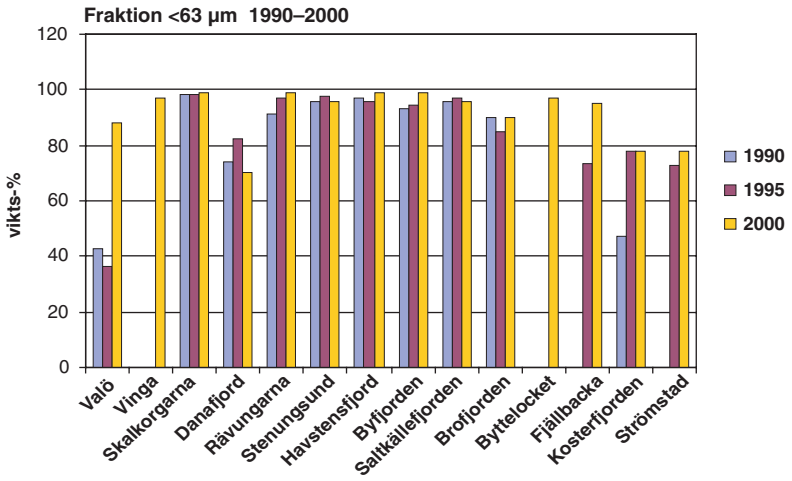


Fig. 2:12. Kornstorleksfraktionen <63 µm (vikts-%) i ytsedimenten (0–1 cm) på respektive station utmed Bohuskusten 1990 och 2000.

The grain-size fraction <63 µm (weight-%) in the surficial sediments (0–1 cm) at each station along the Bohus Coast in 1990 and 2000 respectively.

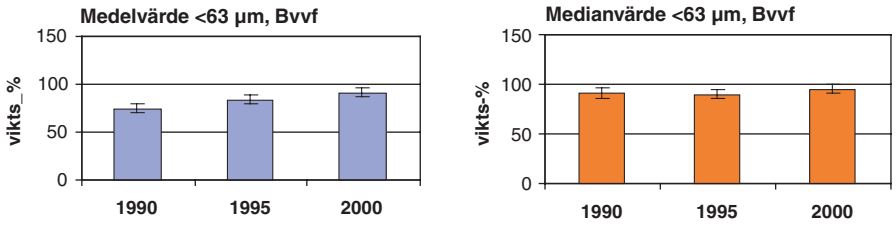


Fig. 2:13. Medelvärden (t.v.) och medianvärden (t.h) för kornstorleksfraktionen <63 µm (vikts-%) i Bohuskustens ytsediment (0–1 cm) 1990–2000 (n = 14).

Mean (left) and median (right) values of the grain-size fraction <63 µm (weight-%) in 1990–1995 in the surficial sediments (0–1 cm) of the Bohus Coast (n = 14).

Tabell 2:6. Spridning, medelvärden och medianvärden för några parametrar och ämnen i ytsedimenten utmed Bohuskusten 1990–2000.
Range, means and medians of some parameters and substances in the surficial sediments of the Bohus Coast in 1990–2000.

Parameter	Enhet	År	n	Intervall	Medelvärde MV	Medianvärde Md	Standardavvikelse s
Ler + silt	vikts-%	1990	10	43–98	82,5	92	21
		1995	12	36–98	83,9	89,7	18
		2000	14	70–99	91,2	95,5	9,4
Ler	vikts-%	1990	10	14–61	37	37	17
		1995	14	–	–	–	–
		2000	14	13–26	20	21	4,3
Vattenhalt	%	1990	10	51–78	66,1	66,5	8,2
		1995	12	47–91	67,1	69	11
		2000	14	63–91	75,2	75,9	6,7
Totalkol	g/kg	1990	10	12,3–37,8	28,7	30,6	7,5
		1995	12	13,9–47,1	33,4	33,6	8,9
		2000	14	24–54	35,6	34,5	8,8
Oorganiskt kol	g/kg	1990	10	0,3–18	5,24	4,25	5,3
		1995	12	2,4–17,9	7,89	6,65	4,2
		2000	14	0,05–16	5,2	4,5	5,2
Organiskt kol	g/kg	1990	10	20–35,6	26,5	25,5	5,9
		1995	12	9,4–37,1	25,5	28	7,1
		2000	14	16–49	30,6	30	8,1
Totalkväve	g/kg	1990	10	2–4,4	2,89	2,85	0,75
		1995	12	1,5–5,2	3,33	3,15	0,92
		2000	14	2–5,3	3,4	3,4	0,96
C/N	-	1990	10	7,1–12,1	9,3	9	1,5
		1995	12	6,3–9,1	7,6	7,7	0,73
		2000	14	7–13,6	9,1	8,8	1,8
Totalfosfor	g/kg	1990	10	0,43–0,94	0,67	0,68	0,18
		1995	12	0,65–2	1,1	0,92	0,38
		2000	14	0,83–1,9	1,4	1,4	0,25

De sammantagna resultaten från 1990 visade att stationerna Valö, Danafjord, Rävungarna (tidigare benämnd Ostindiebådarna), och Kosterfjorden till skillnad från övriga stationer, inte utgjordes av renodlade ackumulationsbottnar. Eftersom stationerna låg på transportbottnar med varierande grad av transportintensitet flyttades dessa inför 1995 års provtagningsomgång. Vid utvärderingen av den senare undersökningen (Cato 1997a) visade det sig att Valö och station 319 i Brofjorden låg på bottnar med varierande bottendynamik eller oregelbunden sedimentation. Vid undersökningarna år 2000 flyttades därför station Valö till en ny position med lämplig depositionsbotten medan station 319 i Brofjorden ersattes av en närliggande station (324) belägen på en dokumenterad sedimentationsbotten. Insamlade data från år 2000 tyder på att i princip samtliga 14 stationer numera har en i det närmaste optimal placering med avseende på sedimentationsförhållanden.

Sedimentens klassificering bygger på en kombination av kornstorleksfördelning och organisk halt. Resultaten redovisas i tabell 2:7.

På en av stationerna (Strömstad) har sedimenten klassificerats som lerig gyttjig silt, på två stationer som lergyttja (Saltkällefjorden och Byttelocket) och på en station (Brofjorden) som lerig siltgyttja. Sedimenten på övriga stationer utgörs av siltiga gyttjeleror. Sedimenten är liksom vid 1990 och 1995 års undersökningar gyttjiga, dvs. innehåller mellan 2 och 6 % organiskt material. I tre fall Saltkällefjorden, Brofjorden, Byttelocket) är halten mellan 6,6 och 8,4 %. (Halten organiskt material erhålls genom att multiplicera TOC-halten med van Bemmelns faktor 1.724).

Som förväntat är överenstämmelsen god mellan 1995 och 2000 års klassning av sedimenttyper. Avvikelser förekommer dock på stationerna Danafjord, Valö och på station 319/324 i Brofjorden. Orsakerna sammanhänger med förändrade provtagningsplatser (se ovan).

Tabell 2:7. Sedimentklassificering med avseende på kornstorleksfördelning och organisk halt. - = ej undersökt.
Classification of the sediments based on grain size distribution and organic matter content. - = not analysed.

Station	År	Sedimenttyp
1. Valö	1990	gyttjig lerig siltig sand
	1995	sandig siltig lera
	2000	siltig gyttjelera
30. Vinga	1990	-
	1995	-
	2000	siltig gyttjelera
2. Skalkorgarna	1990	gyttjig siltig lera
	1995	gyttjig siltig lera
	2000	gyttjig siltig lera
4. Danafjord	1990	gyttjig siltig lera
	1995	gyttjig sandig siltig lera
	2000	gyttjig siltig lera
5. Rävungarna	1990	gyttjig lerig silt
	1995	gyttjig siltig lera
	2000	gyttjig siltig lera
G2. Stenungsund	1990	gyttjig siltig lera
	1995	gyttjig siltig lera
	2000	gyttjig siltig lera
19. Havstensfjord	1990	gyttjig siltig lera
	1995	gyttjig siltig lera
	2000	gyttjig siltig lera
18. Byfjorden	1990	gyttjig siltig lera
	1995	lergyttja
	2000	gyttjig siltig lera
12. Saltkällefjorden	1990	gyttjig siltig lera
	1995	gyttjig siltig lera
	2000	lergyttja
319. Brofjorden	1989	siltig lergyttja
	1995	gyttjig siltig lera
	2000	lerig siltgyttja
17. Byttelocket	1990	-
	1995	-
	2000	lergyttja
24. Fjällbacka	1990	-
	1995	gyttjig sandig siltig lera
	2000	gyttjig siltig lera
16. Kosterfjorden	1990	gyttjig sandig siltig lera
	1995	gyttjig sandig siltig lera
	2000	gyttjig siltig lera
23. Strömstad	1990	-
	1995	gyttjig sandig siltig lera
	2000	lerig gyttjig silt

2.6.2 SEDIMENTENS FÄRG OCH GRAD AV BIOTURBERING

Sedimenten från 1995 års provtagningar finns närmare beskrivna i Helland m.fl. (1996). Motsvarande data för 1990 års undersökningar återfinns i Cato (1992). I tabell 2:8 har data från de båda undersökningarna översiktligt sammanställts tillsammans med data från år 2000. Sedimentbeskrivningarna bygger på en optisk analys av de översta ca 30–40 cm av bottensedimenten.

De klastiska sedimenten är på samtliga stationer, utom på fyra station, ljusgrå till mörkgrå med olivinslag i färgen och med en lätt anstrykning av olivbrunt i ytskiktet. Det senare indikerar oxiska förhållanden i bottenvattnet. Fullständiga anoxiska förhållanden råder på station 18 i Byfjorden, 324 i Brofjorden samt vid Byttelocket och Saltkällefjorden. Vad beträffar Byfjorden är detta enligt Olausson (1975b) en följd av landhöjningen som successivt minskat tröskeldjupet i fjorden och därmed utbytet av bottenvatten. På övriga tre stationer, belägna i mindre djuphålor, är vattenutbytet begränsat. I allmänhet var sedimenten från de olika stationerna sulfidflammiga på sedimentdjup större än 1–2 cm. Stationerna Skalkorgarna, G2 i Stenungsund, Saltkällefjorden och Fjällbacka uppvisade emellertid sulfidfärgade skikt längre ned i lagerföljden. Såväl färg som oxidationsförhållanden på stationerna överenstämmer relativt väl mellan de olika undersökningsåren 1990, 1995 och 2000.

Förekomst av levande bottenfauna förefaller dock att ha ökat efter den minskning som noterades mellan 1990 och 1995. Detta kan emellertid vara tillfälligheter eller bero på skillnader i beskrivningsmetodik mellan de olika undersökningsåren.

På station Saltkällefjorden noterades såväl 1990, 1995 som 2000 rikligt med cellulosafibrer i sedimentet. På vissa nivåer i sedimentet bildar dessa sammanhängande fiberskikt. Fibrerna antas härröra från tidigare verksamhet vid Munkedals pappersbruk (Cato 1992).

Tabell 2:8. Sedimentbeskrivande parametrar.

Descriptive sediment parameters.

Station	År	Oxiderat ytskikt	Reducerat ytskikt	Tydligt bio-turberad	Svagt bio-turberad	Svavelväte-lukt	Skalfrag-ment	Levande fauna
1. Valö	1990	x						x
	1995	x		x			x	
	2000	x			x		x	x
2. Skalkorgarna	1990	x				x		x
	1995	x		x		x		
	2000	x					x	
4. Danafjord	1990	x		x				x
	1995	x						
	2000	x			x		x	
5. Rävungarna	1990	x						
	1995	x		x				
	2000	x			x		x	x
G2. Stenungsund	1990	x				x		x
	1995	x				x		
	2000	x			x			x
19. Havstensfjord	1990	x		x			x	x
	1995	x		x			x	x
	2000	x			x		x	x
18. Byfjorden	1990		x			x		
	1995		x			x		
	2000		x			x		
12. Saltkällefjorden	1990	x				x		x
	1995	x				x		
	2000	x				x		
319. Brofjorden	1990	-	-	-		-	-	-
	1995	x					x	
324 Brofjorden	2000		x			x		
17. Byttelocket	2000		x			x	x	-
24. Fjällbacka	1990	-	-	-		-	-	-
	1995	x		x		x		
	2000	x			x		x	x
16. Kosterfjorden	1990	x						x
	1995	x		x				
	2000	x			x			x
23. Strömstad	1990	-	-	-		-	-	-
	1995	x		x			x	x
	2000	x			x		x	x

- = ej undersökt / not analysed.

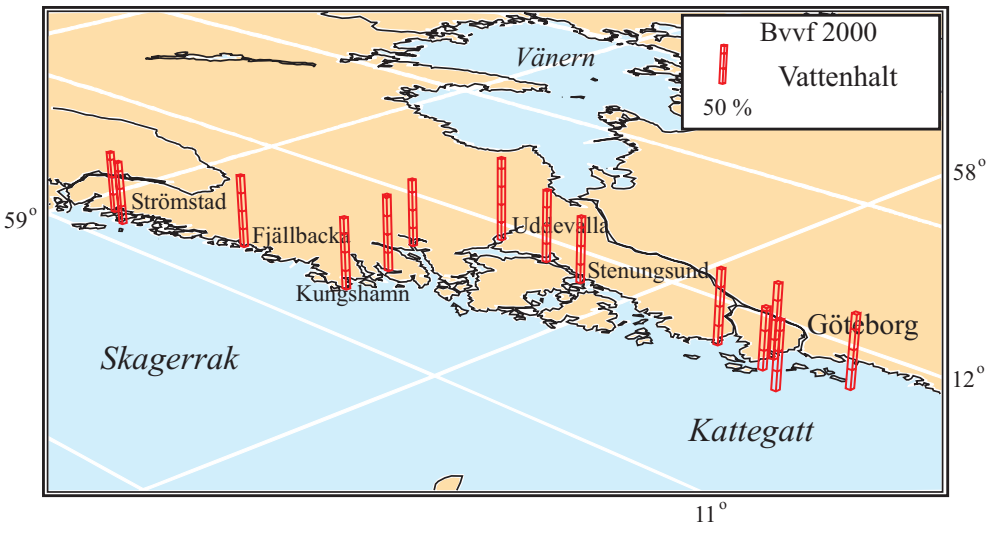


Fig. 2:14. Vattenhalten (% vs) i ytsediment (0–1 cm) utmed Bohuskusten 2000.

The water content (% ws) in 2000 in the surficial sediments (0–1 cm) of the Bohus Coast.

2.6.3 VATTENHALT SAMT FÖRÄNDRINGAR EFTER 1990

Mätresultaten vad avser ytsedimentens vattenhalt för undersökningsåret 2000 redovisas stationsvis i tabell 2:5 tillsammans med motsvarande data från 1990 och 1995. Vattenhaltens areella fördelning i ytsedimentet (0–1 cm) för år 1995 illustreras i figur 2:14.

För 2000 varierar vattenhalten mellan 63 och 91 % med ett medelvärde och medianvärde av 75 respektive 76 %. Medelvärden och medianvärden för respektive år återges i tabell 2:6 och figur 2:15.

Sammantaget visar resultaten att 13 av kustvattenprogrammets 14 stationer utgörs av ackumulationsbottnar, medan episodisk bottentransport inte kan uteslutas på station 4-Danafjord.

Den maximala differensen i vattenhalt på varje station mellan undersökningsåren är mindre än 18 % och mellan 1995 och 2000 knappt 10 % om stationerna Valö, Brofjorden och Fjällbacka undantas (figur 2:16). Med undantag för dessa tre stationer tyder resultaten på god homogenitet hos sedimenten på provtagningsstationerna. Den mellanårliga avvikelse som förekommer på stationerna Valö och Brofjorden beror på att stationerna flyttats till lämpligare sedimentationsområden med högre vattenhalt.

På en station G2 (Stenungsund) där vattenhalten 1995 undersökts på nivån 20 till 30 cm sedimentdjup ligger vattenhalten på drygt 55 %, dvs. betydligt lägre än i ytsedimentet. Detta är normalt och beror på den naturliga avvattningen till följd av sedimentpålagring och kompaktion.

2.6.4 TOTALKOL OCH OORGANISKT KOL SAMT FÖRÄNDRINGAR EFTER 1990

Analysresultaten vad avser totalkol (TC) och oorganiskt kol (OOC) i sedimenten för 2000 redovisas i tabell 2:5 tillsammans med motsvarande data från 1990 och 1995 års undersökningar. De areella variationerna i ytsedimenten (0–1 cm) för år 2000 illustreras i figurerna 2:17 och 2:18.

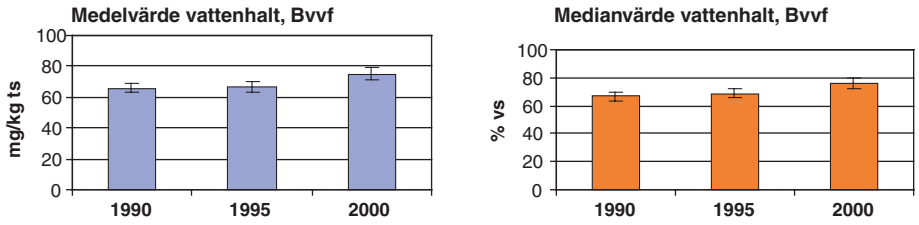


Fig. 2:15. Medelvärden (t.v.) och medianvärden (t.h) för vattenhalten (% vs) i Bohuskustens ytsediment (0–1 cm) 1990–2000 (n = 14).
Mean (left) and median (right) values of the water content (% ws) in 1990 -1995 in the surficial sediments (0–1 cm) of the Bohus Coast (n = 14).

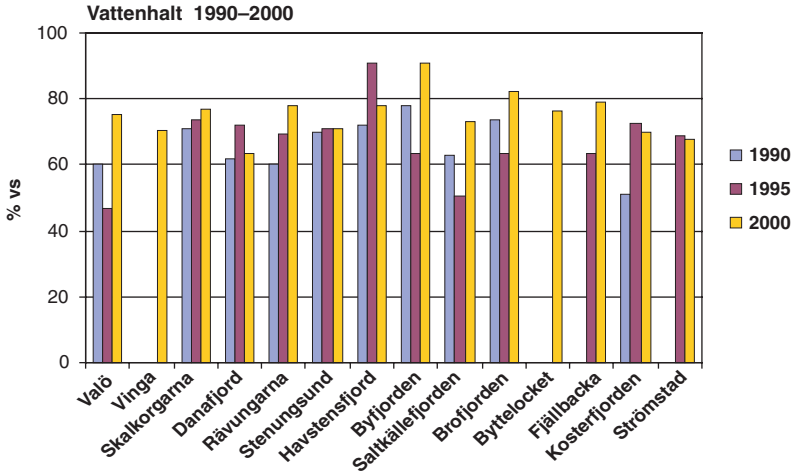


Fig. 2:16. Ytsedimentens (0–1 cm) vattenhalt (% vs) på respektive station utmed Bohuskusten 1990–2000.
The water content (% ws) in the surficial sediment (0–1 cm) at each station along the Bohus Coast in 1990–2000 respectively.

Totalkolhalten i ytsedimenten (0–1 cm) 2000 varierar mellan 24 och 54 g/kg ts med ett medelvärde och medianvärde på 35 g/kg ts (tabell 2:6). Halten oorganiskt kol varierar mellan 0,05 och 16 g/kg ts med ett medelvärde och medianvärde på 5,1 respektive 4,5 g/kg ts (tabell 2:6). Extremvärdet återfinns i Valö där halten är 16 g/kg ts.

Som jämförelse kan nämnas att medelvärdet för oorganiskt kol på 18 stationer i Brofjorden 1989 var 2,5 g/kg ts (Cato 1990) och för 25 stationer vid Stenungsund 1985 1,7 g/kg ts (Cato 1986b). Bortser man ifrån extremvärdet så ligger halten oorganiskt kol i sedimenten högre, men i samma storleksordning som resultaten ifrån tidigare undersökningar (1995) i Brofjorden (8,5 g/kg ts) och Stenungsund (5,5 g/kg ts).

Skillnaderna i medelvärden mellan undersökningsåren visar på en ökning med 7 % mellan 1995 och 2000 och med 24 % sedan 1990 för totalkol. Motsvarande siffror för oorganiskt kol är en minskning med 35 respektive 2 % (figurerna 2:19 och 2:20). Med undantag för den senare förändringen är skillnaderna inte signifikanta eftersom de är mindre än de minst 35 %, som baserat på blandningsfaktorn (se avsnit 2,5, denna del), krävs för att en förändring skall kunna detekteras vid ett femårigt provtagningsintervall.

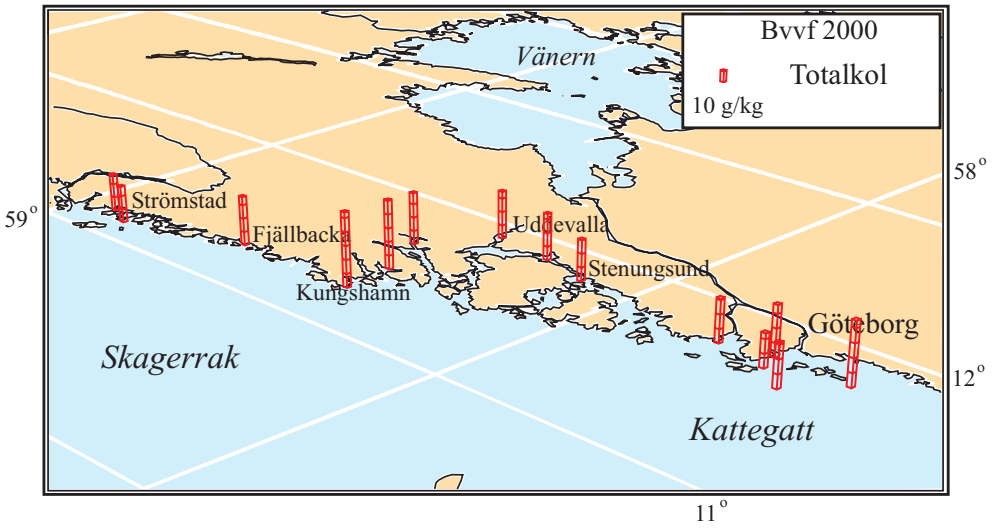


Fig. 2:17. Fördelningen av totalkol (g/kg ts) i ytsediment (0–1 cm) utmed Bohuskusten 2000.
The distribution of total carbon (g/kg dw) in 2000 in the surficial sediments (0–1 cm) of the Bohus Coast.

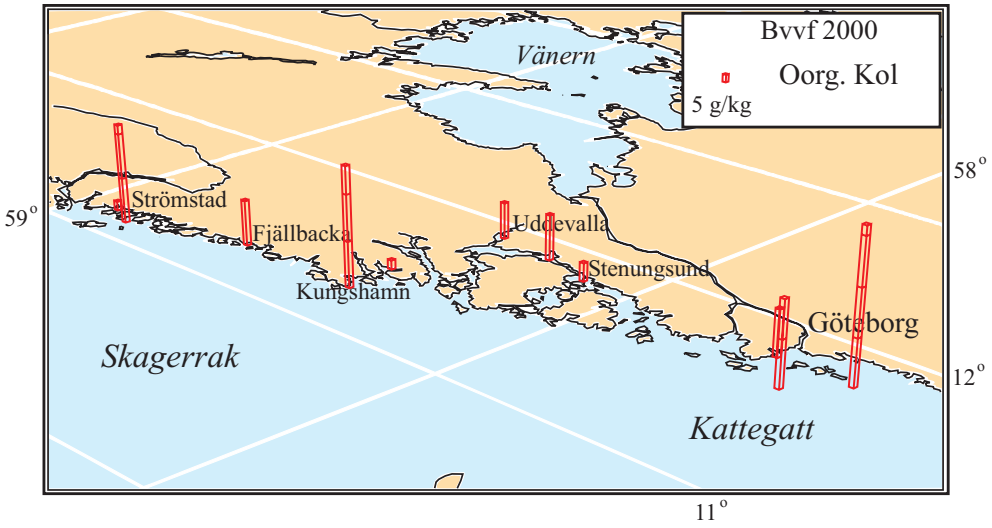


Fig. 2:18. Fördelningen av oorganiskt kol (g/kg ts) i ytsediment (0–1 cm) utmed Bohuskusten 2000.
The distribution of inorganic carbon (g/kg dw) in 2000 in the surficial sediments (0–1 cm) of the Bohus Coast.

På en station (Stenungsund) där halten oorganiskt kol och totalkol 1995 också undersökts på nivån 20–30 cm sedimentdjup visar resultaten på mellan 20 och 30 % lägre värden än vad som erhållits i ytan (0–1 cm) 2000. Detta kan bl.a. förklaras med mineraliseringsprocesser vad avser organiskt kol, samt en eventuell långsam karbonatupplösning.

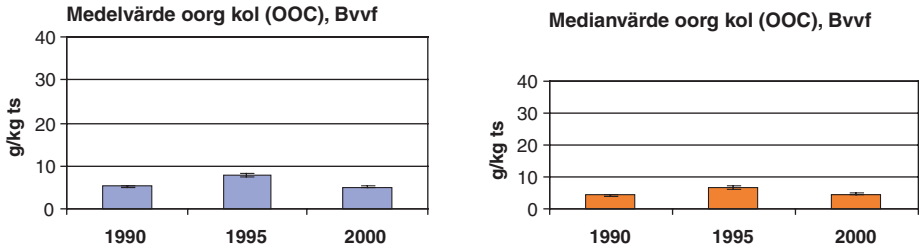


Fig. 2:19. Medelvärden (t.v.) och medianvärden (t.h.) för oorganiskt kol (OOC) i Bohuskustens ytsediment (0–1 cm) 1990–2000 (n = 14).
Mean (left) and median (right) values of inorganic carbon (OOC) in 1990–2000 in the surficial sediments (0–1 cm) of the Bohus Coast (n = 14).

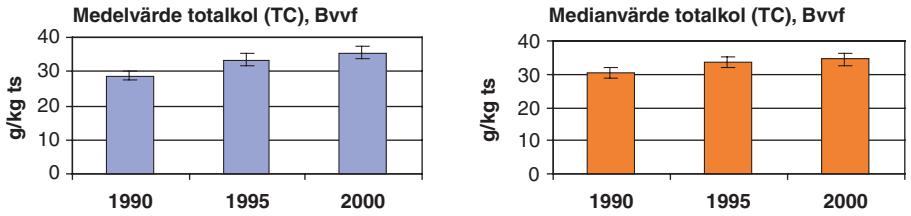


Fig. 2:20. Medelvärden (t.v.) och medianvärden (t.h.) för totalkol (TC) i Bohuskustens ytsediment (0–1 cm) 1990–2000 (n = 14).
Mean (left) and median (right) values of total carbon (TC) in 1990–2000 in the surficial sediments (0–1 cm) of the Bohus Coast (n = 14).

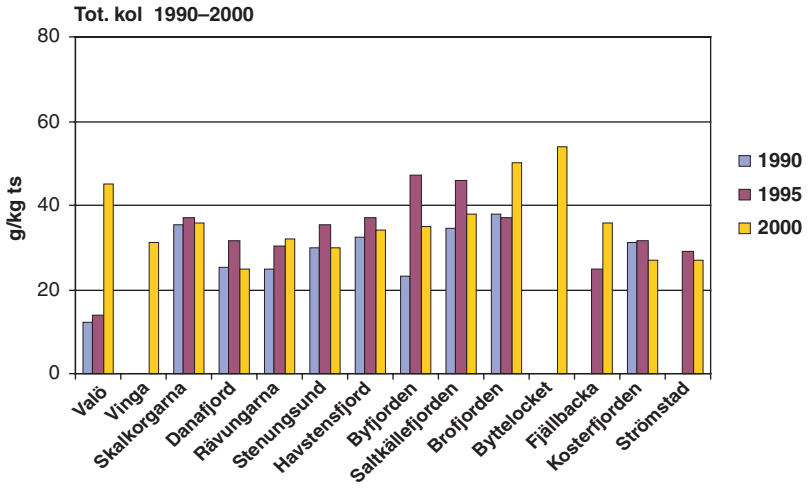


Fig. 2:21. Ytsedimentens (0–1 cm) totalkolhalt (g/kg ts) på respektive station utmed Bohuskusten 1990 och 1995.
The concentration of total carbon (g/kg dw) in the surficial sediment (0–1 cm) at each station along the Bohus Coast in 1990 and 1995 respectively.

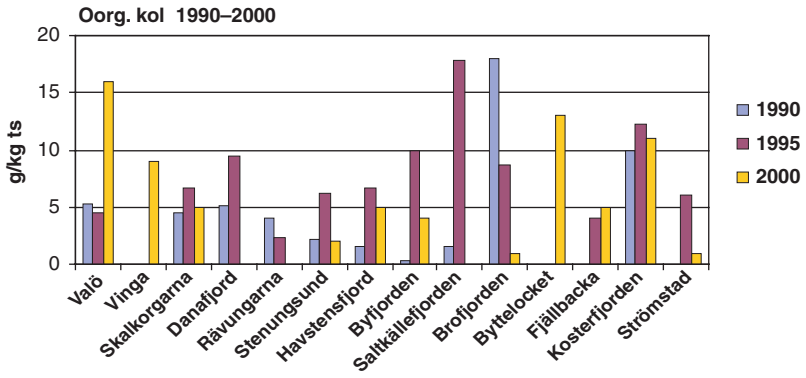


Fig. 2:22. Ytsedimentens (0–1 cm) koncentration av oorganiskt kol (g/kg ts) på respektive station utmed Bohuskusten 1990–2000.
The concentration of inorganic carbon (g/kg dw) in the surficial sediment (0–1 cm) at each station along the Bohus Coast in 1990–2000 respectively.

2.6.5 ORGANISKT KOL SAMT FÖRÄNDRINGAR EFTER 1990

Analysresultaten för 2000 avseende totalt organiskt kol (TOC) i ytsedimenten (0–1 cm) redovisas i tabell 2:5 tillsammans med motsvarande data från 1990 och 1995 års undersökningar. Halten TOC i ytsedimentet 2000 varierade mellan 16 och 49 g/kg ts med ett medelvärde och medianvärde på 31 respektive 30 g/kg ts (tabell 2:6). Koncentrationerna ligger inom ett för västkusten normalt intervall om de på organiskt material belastade recipienterna undantas (se tabell 2:9). Exempel på tidigare organiskt belastade områden, redovisade i tabell 2:9, var den situation som rådde i t.ex. Välen 1973 respektive i Idefjorden 1975. I det förra fallet har belastningen upphört, medan den sannolikt till stor del fortfarande återstår i Idefjorden.

Enligt Norsk klassificering av miljökvalitet i fjordar och kustvatten (Rygg & Thélinn 1993) faller 8 av stationerna i tillståndsklass I (”god”), fem stationer i tillståndsklass II (”mindre god”) och en station (Brofjorden) i tillståndsklass III (”nokså dårlig”). Svenska bedömningsgrunder för organiskt kol i kust- och havssediment saknas.

Den areella fördelningen av organiskt kol i Bohuskustens ytsediment (0–1 cm) för 2000 illustreras i figur 2:23.

I tabell 2:6 redovisas medelvärden och medianvärden för ytsedimentens innehåll av organiska kol vid de tre undersökningstillfällena 1990, 1995 och 2000. I figur 2:24 åskådliggörs dessa data. Trenden vad avser medelvärdet visar på en ökning med 16 % sedan 1995 och med 20 % sedan 1990. Förändringarna är statistiskt signifikanta eftersom variationskoefficienten för organiskt kol till följd av ytsediments (0–2 cm) inhomogenitet vid Bohuskusten har analyserats och beräknats till 3,8±2,8 % (Cato 1977).

Studerar man de enskilda stationerna visar det sig att halten organiskt kol har ökat kraftigast på stationerna Valö, Saltkällefjorden och Brofjorden, medan den minskat något på fyra stationer (Stenungsund, Havstensfjord, Byfjorden och Kosterfjorden (fig. 2:25). På övriga stationer är ökningen midre än 14 %. Den kraftiga ökningen på stationerna Valö och Brofjorden hänger samman med att dessa stationer år 2000 flyttats till depositionsbottnar, dvs. bottnar där finkorniga sedimentpartiklar och organiskt material sedimenterar i större utsträckning än på de två tidigare platserna. dvs. mindre än den belastningsförändring på 35 % som krävs för att en belastningsförändring med säkerhet skall kunna detekteras med ett femårigt provtagningsintervall.

Halten organiskt kol har 1995 undersökts på 20–30 cm sedimentdjup på station G2 utanför Stenungsund. Halten ligger ca 20 % lägre än i ytan, vilket till en del beror på nedbrytning och mineralisering av det organiska materialet, men en viss produktionsökning under de sista årtiondena kan inte uteslutas.

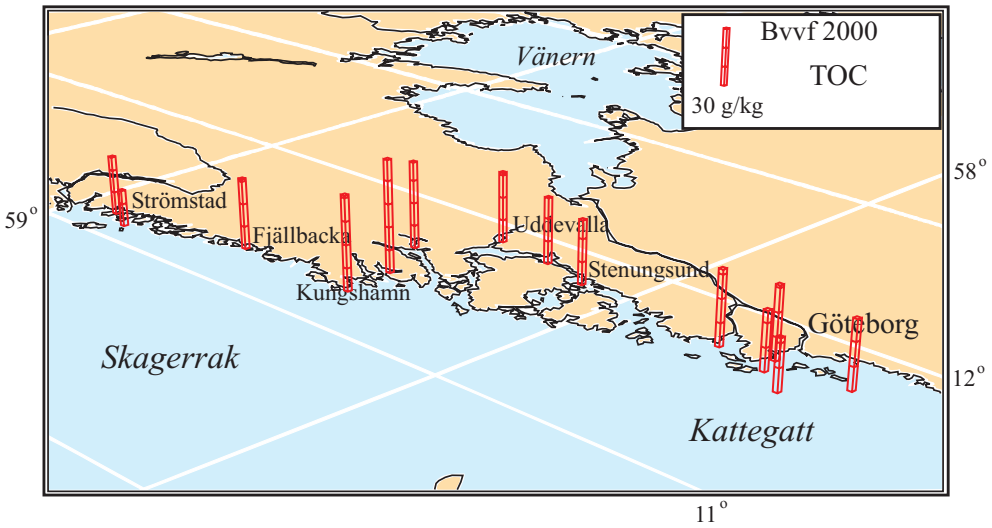


Fig. 2:23. Fördelningen av totalt organiskt kol (TOC, g/kg ts) i ytsediment (0–1 cm) utmed Bohuskusten 2000.
The distribution of total organic carbont (TOC, g/kg dw) in 2000 in the surficial sediments (0–1 cm) of the Bohus Coast.

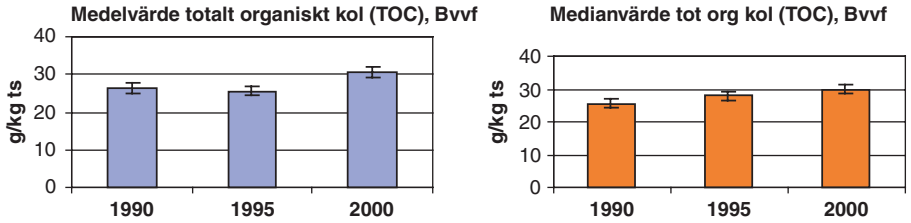


Fig. 2:24. Medelvärden (t.v.) och medianvärden (t.h.) för totalt organiskt kol (TOC) i Bohuskustens ytsediment (0–1 cm) 1990–2000 (n = 14).
Mean (left) and median (right) values of total organic carbon (TOC) in 1990–2000 in the surficial sediments(0–1 cm) of the Bohus Coast (n = 14).

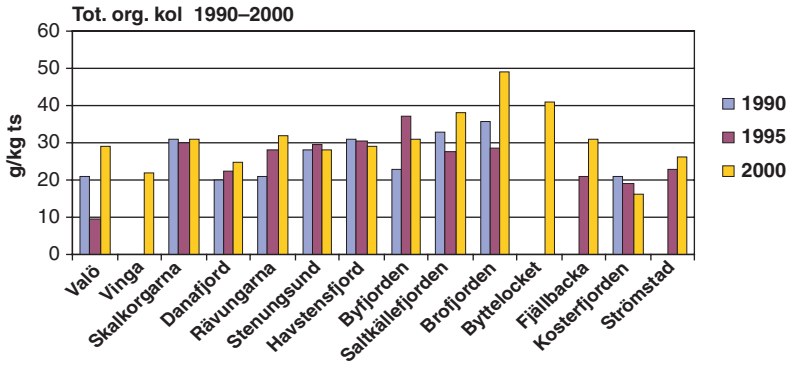


Fig. 2:25. Ytsedimentens (0–1 cm) halt av totalt organiskt kol (TOC, g/kg ts) på respektive station utmed Bohuskusten 1990–2000.
The concentration of total organic carbon (TOC, g/kg dw) in the surficial sediment (0–1 cm) at each station along the Bohus Coast in 1990–2000 respectively.

Tabell 2:9. Spridning och medelvärden för koncentrationen av organiskt kol i ytsediment från Skagerrak och Kattegatt.
Range and means of organic carbon concentrations in superficial sediments of the Skagerrak and Kattegat.

Område	År	Antal stationer (n)	Intervall TOC mg/g ts	MV TOC mg/g ts	Referens
Bvvf kustvattenkontr.	1990	10	20–35,6	26,5	Cato 1992
”	1995	12	9,4–37,1	25,5	Cato 1997
”	2000	14	16–49	30,6	Cato 2006
Kungsbackafjorden	1992	11	2,9–50,3	26,8	Andreasson m.fl. 1992
Askimsviken	1973	20	1,6–61,8	13,3	Cato m.fl. 1978
Inre Välen	1973	15	8,8–207	60,0	Cato 1977
Göta älv	1990	2	4–26	15	Cato 1992
”	1995	2	9,8–28,4	19,1	Cato 1997
”	2000	2	24–27	25,5	Cato 2006
Göteborgs skärgård	1982	32	6,1–36,6	21,8	Cato 1986
Stenungsund	1975	46	14–39	28,0	Edgren 1975
”	1981	41	12–42	31,0	Gustavsson 1982
”	1985	26	14–41	30,0	Cato 1986b
”	1995	17	11,6–36,3	26,5	Cato 1997
”	2000	14	15–30	25	Cato 2006
Orust–Tjörn fjordar	1970	29	16,3–70,6	31,1	Olausson 1975a
Byfjorden	1970–74	15	9,0–51	33,5	Olausson 1975b
Gullmarsfjorden	1980	12	8,0–40	31,4	Joslin 1982
”	1987	12	24–34	29,6	Bornmalm 1988
”	1995	2	25,3–28,7	27,1	Cato 1997
”	2000	1	29	29	Cato 2006
Brofjorden	1972	67	10,8–65,2	33,0	Cato 1977
”	1977	23	12,8–59,7	33,3	Göthberg & Johansson 1977
”	1984	17	25,3–61	36,3	Cato m.fl. 1986
”	1989	14	28,2–53,8	36,5	Cato 1990
”	1995	13	18,6–54	31,4	Cato 1997
”	2000	8	25–52	37,8	Cato 2006
Idefjorden	1975	11	30–180	81,4	Olausson opubl.
Hvaler–Koster	1989	32	4,4–24,7	18,6	Helland m.fl. 1990
Kattegatt	1970	66	4,0–24,7	11,2	Olausson 1975a
”	1987–91	32	3,7–37,4	17,7	Kuijpers m.fl. 1992
Skagerrak	1970	49	2,0–27,0	16,8	Olausson 1975a
”	1987–91	81	0,5–32,1	15,9	Kuijpers m.fl. 1992

2.6.6 TOTALKVÄVE SAMT FÖRÄNDRINGAR EFTER 1990

Analysresultaten från 2000 års sedimentundersökningar avseende totalkväve (TN) redovisas i tabell 2:5. Halten av totalkväve varierar mellan 2 och 5,3 g/kg ts med ett medelvärde och medianvärde på 3,4 g/kg ts (tabell 2:6). Koncentrationsintervallet överensstämmer med andra på organiskt material ej belastade recipienter längs västkusten (tabell 2:10), men enligt Norsk klassificering av miljökvalitet i fjordar och kustvatten (Rygg & Thélinn 1993) faller en station (Danafjord) i tillståndsklass I (”god”), 11 stationer i tillståndsklass II (”mindre god”) och två stationer (Saltkällefjorden och Brofjorden i klass III (”nokså dårlig”). Svenska bedömningsgrunder för totalkväve i kust- och havssediment saknas.

Den areella variationen av kväve i ytsedimentet (0–1 cm) illustreras i figur 2:26. Fördelningsmönstret uppvisar stora likheter med motsvarande fördelning av organiskt kol (se fig. 2:23). Detta beror på att kvävet i sedimenten till största delen är organiskt bundet (se t.ex. Cato 1977, Cato m.fl. 1986 b), vilket också framgår av det starka positiva sambandet som råder mellan totalkväve och totalt organiskt kol i området (fig.2:27). Korrelationskoefficienten (r^2) för sambandet är 0,81.

Vid en jämförelse med 1995 års undersökningar (tabell 2:5 och figur 2:28) kan konstateras att halterna av totalkväve har minkat på åtta och ökat på fyra stationer (Valö, Rävungarna, Brofjorden och Fjällbacka). Halterna har dock i genomsnitt ökat med närmare 3 % sedan 1995 och med 18 % sedan 1990 (fig. 2:29). Motsvarande förändring av medianvärdet är 6 respektive 18 %. Att utvecklingen uppvisar en omvänd trend för stationerna Valö och Brofjorden kan tillskrivas förflyttningen av dessa stationer till mer utpräglade depositionsbottnar (se ovan).

Variationskoefficienten för totalkväve till följd av ytsediments (0–2 cm) inhomogenitet vid Bohuskusten har analyserats och beräknats till 3,2±2,9 % (Cato 1977). Eftersom den genomsnittliga ökningen av totalkvävehalten sedan 1990 är nästan sex gånger större än berörda variationskoefficient och genom att den är genomgående på alla stationer kan 1995 och 2000 års ökade totalkvävehalter anses vara reella. Detta även beaktat vad som framhållits i avsnitt 2.5.

Totalkvävehalten har även undersökts 1995 på 20–30 cm sedimentdjup på station G2 utanför Stenungsund. Halten ligger ca 30 % lägre än i ytan, vilket till en del beror på nedbrytning och mineralisering av det organiska materialet, men en viss ökning av emissionen under de senaste årtiondena kan inte uteslutas.

Både halten av kväve och organiskt kol är ett mått på sedimentens humusinnehåll. Dock förekommer avvikelser, se nedan.

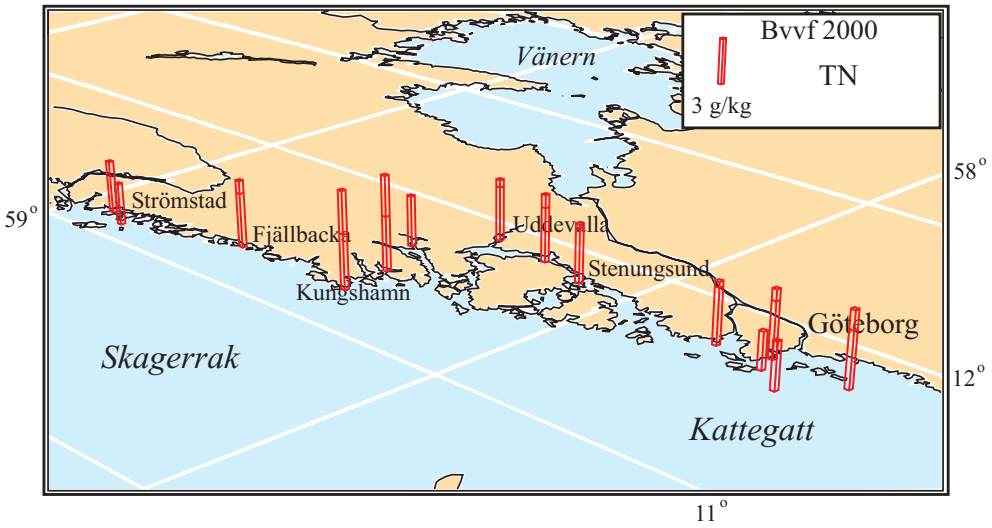


Fig. 2:26. Fördelningen av totalkväve (TN, g/kg ts) i ytsediment (0–1 cm) utmed Bohuskusten 2000.

The distribution of total nitrogent (TN, g/kg dw) in 2000 in the surficial sediments (0–1 cm) of the Bohus Coast.

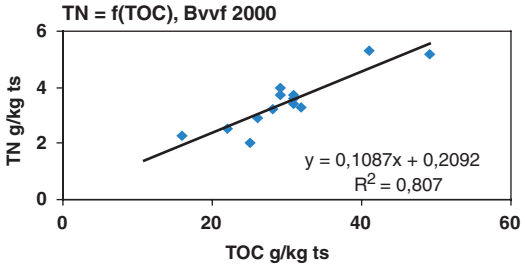


Fig. 2:27. Sambandet mellan totalkväve (TN) och totalt organiskt kol (TOC) i ytsedimenten (0–1 cm) utmed Bohuskusten 1995.

The relationship between total nitrogen and total organic carbon (TOC) in 1995 in the surficial sediments (0–1 cm) of the Bohus Coast.

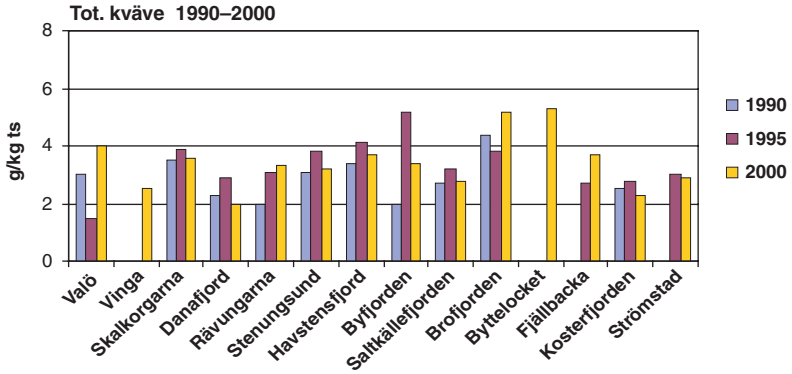


Fig. 2:28. Ytsedimentens (0–1 cm) halt av totalkväve (TN, g/kg ts) på respektive station utmed Bohuskusten 1990–2000.

The concentration of total nitrogen (TN, g/kg dw)in the surficial sediment (0–1 cm) at each station along the Bohus Coast in 1990–2000 respectively.

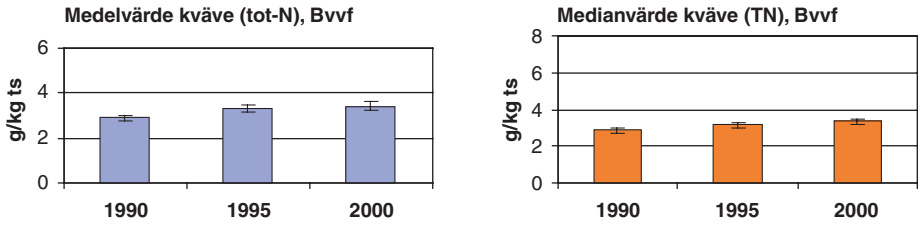


Fig. 2:29. Medelvärden (t.v.) och medianvärden (t.h.) för totalkväve (TN) i Bohuskustens ytsediment (0–1 cm) 1990–2000 (n = 14).
Mean (left) and median (right) values of total nitrogen (TN) in 1990–2000 in the surficial sediments (0–1 cm) of the Bohus Coast (n = 14).

Tabell 2:10. Spridning och medelvärden för koncentrationerna av totalkväve i ytsediment i Skagerrak och Kattegatt.
Range and means of total nitrogen concentrations in the superficial sediments of the Skagerrak and Kattegat.

Område	År	Antal stationer (n)	Intervall TN mg/g ts	MV TN mg/g ts	Referens
VF kustvattenkontroll	1990	10	2– 4,4	2,9	Cato 1992
”	1995	12	1,5–5,2	3,3	Cato 1997
”	2000	14	2–5,3	3,4	Cato 2006
Askimsviken	1973	19	0,26– 4,8	0,89	Cato m.fl. 1978
Välen	1973	15	0,75–12	4,0	Cato 1977
Göta älv	1990	2	0,39–2,2	1,3	Cato 1992
”	1995	2	<1–3,3	2,2	Cato 1997
”	2000	2	2,3–2,7	2,5	Cato 2006
Göteborgs skärgård	1982	32	1,2–5,9	2,8	Cato 1986
Orust–Tjörn fjordar	1970	29	2,1–4,8	3,0	Olausson 1975a
Stenungsund	1975	17	2,2–3,5	3,0	Edgren 1975
”	1995	17	1,8–5	3,4	Cato 1997
”	2000	14	1,8–3,6	3	Cato 2006
Byfjorden	1970–74	15	0,8–3,5	2,4	Olausson 1975b
Gullmarsfjorden	1980	12	0,79–3,4	2,9	Joslin 1982
”	1995	2	3,1–4	3,6	Cato 1997
”	2000	1	3,6	3,6	Cato 2006
Brofjorden	1972	67	0,60– 5,7	3,0	Cato 1977
”	1977	23	1,8–5,9	3,1	Göthberg & Johansson 1977
”	1984	17	3,0–8,4	3,8	Cato m.fl. 1986
”	1989	14	3,1–6,2	4,1	Cato 1990
”	1995	13	2,6–7,7	4,2	Cato 1997
”	2000	8	3,1–5,7	4,4	Cato 2006
Idefjorden	1975	11	1,7–5,6	4,2	Olausson opubl.
Hvaler–Koster området	1989	32	1,0–3,5	2,4	Helland m.fl. 1990
Kattegatt	1970	16	0,8–3,7	2,3	Olausson 1975a
”	1987–89	24	1,5–3,3	2,3	Kuijpers m.fl. 1989
Skagerrak	1970	5	0,5–2,4	1,4	Olausson 1975a
”	1987–89	15	0,86– 3,9	2,1	Kuijpers m.fl. 1992

2.6.7 KOL-KVÄVEKVOTEN (C/N) SAMT FÖRÄNDRINGAR EFTER 1990

De beräknade C/N-kvoterna i ytsedimenten 2000 och för det tidigare undersökningsåret 1990 och 1995 redovisas i tabell 2:5. Medelvärden och medianvärden för respektive år återges i tabell 2:6. C/N-kvotens areella fördelning i ytsedimentet (0–1 cm) för år 2000 illustreras i figur 2:30.

C/N-kvoten varierar år 2000 mellan 7 och 13,6 med ett medelvärde och medianvärde på respektive 9,1 och 8,8 (tabell 2:6). Kvoterna ligger inom det intervall som är känt från västkustens på organiskt material från land, icke belastade recipienter (se tabell 2:11).

Anmärkningsvärt är dock att samtliga stationer utom Danafjord och Saltkällefjorden uppvisar en C/N-kvot under 10. Den genomsnittliga utvecklingstrenden mellan 1990 och 2000 åskådliggörs i figur 2:31 och trenden på respektive station i figur 2:32.

Mellan 1990 och 1995 sjönk C/N-kvoten i medeltal med 18 %. På samtliga stationer hade kvoten sjunkit. Förändringen tyder på en ökning inom området av andelen sedimenterat marint (kväverikt) detritus under perioden ifråga. Ett förhållande som framgår av lutningskoefficienten för relationen mellan kväve och organiskt kol som ökat från 0,10 till 0,12 mellan 1990 och 1995. Att förändringen i huvudsak beror på ett ökat tillskott av kväverik marin detritus framgår av det svaga samband som råder mellan C/N-kvoten och halten kväve i sedimentet (r = 0,1). Motsvarande samband med totalt organiskt kol var också mycket svagt (r = 0,2). Orsaken till förändringarna av C/N-kvoten kopplades samman med en allmän eutrofiering av kustområdet som gynnar eller har gynnat produktionen av marint organiskt material (Cato 1997a). Motsvarande förändringar hade tidigare konstaterats i Göteborgs skärgård mellan 1966 och 1982 (Cato 1986 b), i Brofjorden mellan 1972 och 1989 (Cato 1990) och fram till 1995 (Cato 1997a), samt i Stenungsundsområdet mellan 1975 och 1995 (Cato 1997a).

Mellan 1995 och 2000 har kvoten ökat med i medeltal 20 %, men den är fortfarande 2,2 % under 1990 års nivå. Om de höga värdena från Saltkällefjorden och Danafjord exkluderas blir motsvarande siffror 14 % högre respektive 6 % lägre. Förändringarna är större än den variationskoefficient som beräknats för sedimentens inhomogenitet (se ovan). Resultaten kan tyda på att andelen producerat marint organiskt material kan ha minskat mellan 1995 och 2000 vilket i sin tur skulle kunna tyda på att eutrofieringen av Bohuskustens vatten minskat. Huruvida detta är riktigt eller ej får framtida undersökningar utvisa.

C/N kvoten på 20–30 cm djup har studerats 1995 på station G2 utanför Stenungsund. Den är 15 % högre än i ytan. Detta beror på de naturliga nedbrytningsprocesserna av det organiska materialet i sedimentet varvid kväve avgår snabbare från sedimentet än kol (t.ex. Cato 1977).

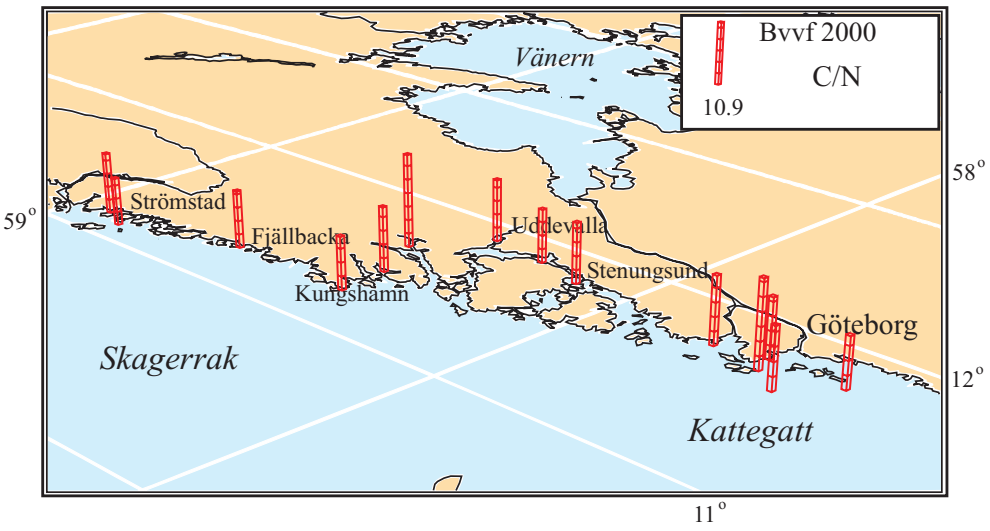


Fig. 2:30. Fördelningen av C/N kvoten i ytsediment (0–1 cm) utmed Bohuskusten 2000.
The distribution of C/N ratio in 2000 in the surficial sediments (0–1 cm) of the Bohus Coast.

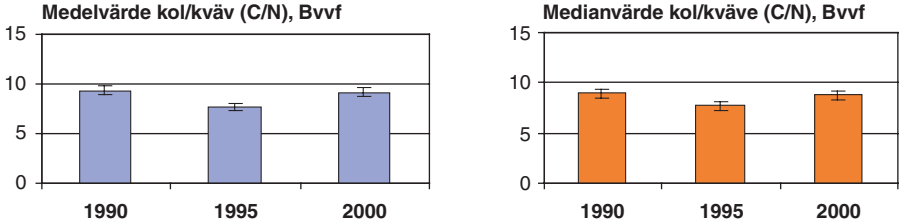


Fig. 2:31. Medelvärden (t.v.) och medianvärden (t.h) för C/N-kvoten i Bohuskustens ytsediment (0–1 cm) 1990–2000 (n = 14).
Mean (left) and median (right) values of the C/N-ratio in 1990–2000 in the surficial sediments (0–1 cm) of the Bohus Coast (n = 14).

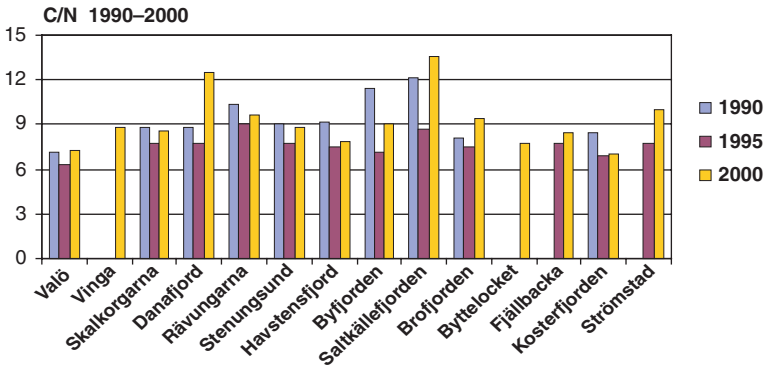


Fig. 2:32. Ytsedimentens (0–1 cm) C/N kvot på respektive station utmed Bohuskusten 1990–2000.
The concentration of C/N ratio in the surficial sediment (0–1 cm) at each station along the Bohus Coast in 1990–2000 respectively.

Tabell 2:11. Spridning och medelvärden för kvoten organiskt kol till kväve (C/N) i ytsediment från Skagerrak och Kattegatt.
Range and means of the ratio of organic carbon to nitrogen (C/N) in superficial sediments of the Skagerrak and Kattegatt.

Område	År	Antal stationer	Intervall C/N	MV C/N	Referens
VF kustvattenkontroll	1990	10	7,1–12	9,3	Cato 1992
”	1995	12	6,3–9,1	7,6	Cato 1997
”	2000	14	7–13,6	9,1	Cato 2006
Askimsviken	1973	20	6–15	10,6	Cato m.fl. 1978
Välen	1973	16	11–17	13,9	Cato 1977
Göta älv	1990	2	10,3–11,7	11	Cato 1992
”	1995	2	8,6–<9,8	9,2	Cato 1997
”	2000	2	10–10,4	10,2	Cato 2006
Göteborgs skärgård	1982	32	3,2–15	7,9	Cato 1986
Orust-Tjörn fjordar	1970	10	5,0–19	9,6	Olausson 1975a, Cato 1983
Stenungsundsområdet	1975	17	8,6–11,7	9,5	Edgren 1975
”	1995	17	6,4–9,7	7,7	Cato 1997
”	2000	14	7,3–9,1	8,4	Cato 2006
Byfjorden	1970–74	15	10–21	14,1	Olausson 1975b, opubl.
Gullmarsfjorden	1981	12	10–12	10,6	Joslin 1982
”	1995	2	7,2–8,2	7,7	Cato 1997
”	2000	1	8,1	8,1	Cato 2006
Brofjorden	1972	67	8,1–13,6	10,9	Cato 1977
”	1977	23	7,3–14,1	10,7	Göthberg & Johansson 1977
”	1984	17	7,2–11,8	9,7	Cato m.fl. 1986
”	1989	14	8,1– 9,9	9,0	Cato 1990
”	1995	13	6,9–9,3	7,4	Cato 1997
”	2000	8	7,3–9,4	8,5	Cato 2006
Idefjorden	1975	13	14–42	18,4	Olausson 1975a, opubl.
Hvaler-Koster området	1989	32	4,4– 8,8	7,5	Helland m.fl. 1990
Kattegat	1970	16	2,0–11	5,1	Olausson 1975a
”	1987–89	24	7,4– 8,8	8,2	Kuijpers m.fl. 1989
Skagerrak	1970	6	7,0–14	10,0	Olausson 1975a
”	1987–89	15	4,2– 8,8	7,6	Kuijpers m.fl. 1989

2.6.8 TOTALFOSFOR SAMT FÖRÄNDRINGAR EFTER 1990

Analysresultaten från 2000 års sedimentundersökningar avseende totalfosfor (Tot-P) redovisas i tabell 2:5 tillsammans med motsvarande data från 1990 och 1995 års undersökningar. Den areella variationen i ytsedimentet (0–1 cm) illustreras i figur 2:33. Totalfosforhalten inom undersökningsområdet varierar mellan 0,83 och 1,9 g/kg ts med ett medelvärde och medianvärde på 1,4 g/kg ts (tabell 2:6). Uppmätta halter ligger något högt inom det intervall som tidigare konstaterats för andra recipienter utmed västkusten (se tabell 2:12).

Förändringarna sedan 1990 och 1995 års undersökningar illustreras station för station i figur 2:34. På samtliga stationer utom i Havstensfjord har totalfosforhalten ökat år 2000. I medeltal är ökningen 27 % sedan 1995 och 102 % sedan 1990, dvs. en successiv och stark ökning under de senaste 10 åren (figur 2:35). Variationskoefficienten för totalfosfor till följd av ytsediments (0–2 cm) inhomogenitet vid Bohuskusten har analyserats och beräknats till 1,8±0,6 % (Cato 1977). Ökningen kan därför anses signifikant både i förhållande till detta och till vad som fastslagits under avsnitt 2.5 (ovan).

Till skillnad från 1990, men i likhet med 1995, är totalfosforhalten inte relaterad till den organiska halten i sedimentet. Korrelationskoefficienten (r) för sambandet mellan fosfor och organiskt kol i ytsedimenten är mycket låg, endast 0,3.

Anrikningsfaktorn, beräknad på bakgrunden (0,6 g/kg ts) hämtad från 30-32 cm sedimentdjup på station G2 utanför Stenungsund, varierar mellan 1,1 och 3,3. På fem stationer (Skalkorgarna, Stenungsund, Havstensfjord, Saltkällefjorden och Strömstad är anrikningsfaktorn >1,6.

Tabell 2:12. Spridning och medelvärden av totalfosfor i ytsediment från Skagerrak och Kattegatt.
Range and means of total phosphorous in superficial sediments of the Skagerrak and Kattegat.

Område	År	Antal stationer (n)	Intervall tot-P g/kg ts	MV tot-P g/kg ts	Referens
VF kustvattenkontroll	1990	13	0,43–0,94	0,64	Cato 1992
”	1995	12	0,65–2	1,07	Cato 1997
”	2000	14	0,83–1,9	1,4	Cato 2006
Askimsviken	1973	19	0,41–0,95	0,70	Cato m.fl. 1978
Välen	1973	15	0,77–2,72	1,54	Cato 1977
Göta älv	1990	2	0,48–0,61	0,55	Cato 1992
”	1995	2	0,51–1,1	0,8	Cato 1997
”	2000	2	0,9–1,7	1,3	Cato 2006
Göteborgs skärgård	1982	32	0,68–1,37	0,97	Cato 1986
Orust-Tjörn fjordar	1970	11	0,95–1,32	1,1	Olausson 1975a, Cato 1983
Stenungsundsområdet	1995	17	0,59–1,5	1,0	Cato 1997
”	2000	14	1,1–1,6	1,4	Cato 2006
Byfjorden	1970–74	13	0,62–1,08	0,86	Olausson 1975b, opubl.
Gullmarsfjorden	1980	12	0,63–1,50	0,97	Joslin 1982
”	1995	2	0,97–1,60	1,3	Cato 1997
”	2000	1	1,6	1,6	Cato 2006
Brofjorden	1972	66	0,47–1,24	0,92	Cato 1977
”	2000	8	1,3–1,7	1,5	Cato 2006
Kattegatt	1970	39	0,37–1,19	0,79	Olausson 1975a
Skagerrak	1970	26	0,30–1,07	0,69	Olausson 1975a

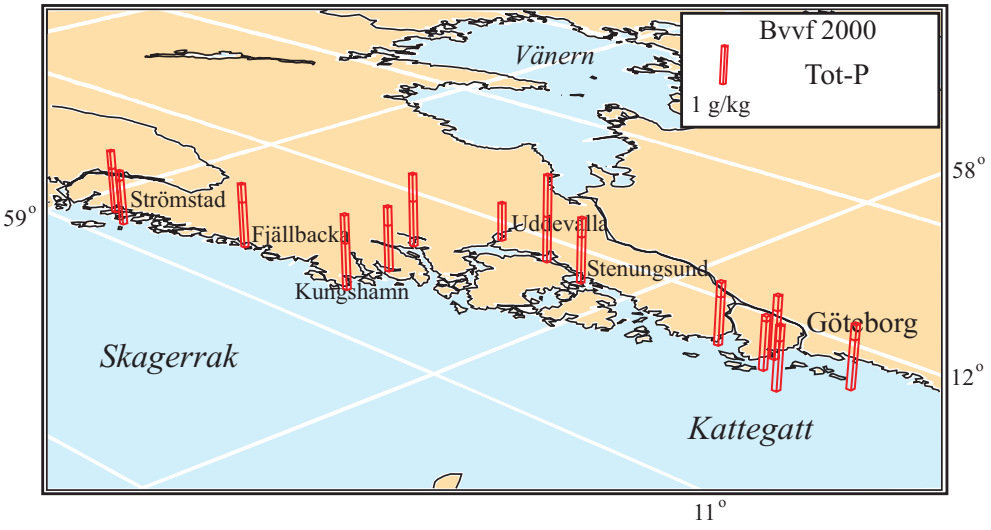


Fig. 2:33. Fördelningen av totalfosfor (Tot-P, g/kg ts) i ytsediment (0–1 cm) utmed Bohuskusten 2000.

The distribution of total phosphorous (Tot-P, g/kg dw) in 2000 in the surficial sediments(0–1 cm) of the Bohus Coast.

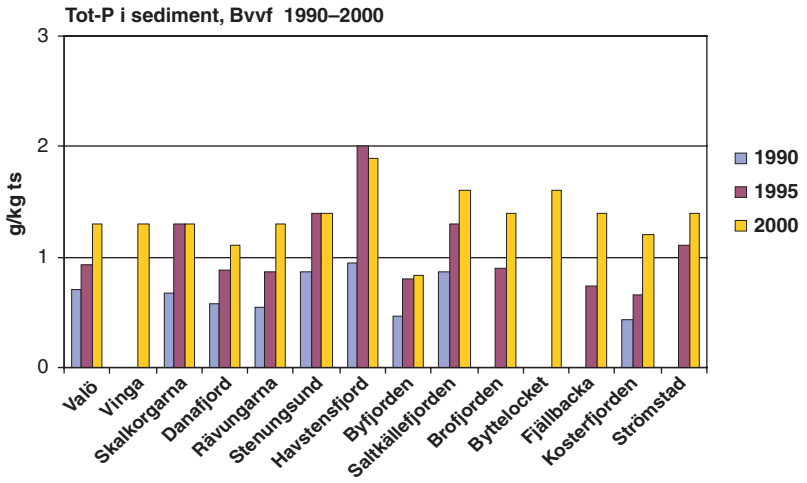


Fig. 2:34. Ytsedimentens (0–1 cm) halt av totalfosfor (TotP, g/kg ts) på respektive station utmed Bohuskusten 1990–2000.

The concentration of total phosphorous (TotP, g/kg dw) in the surficial sediment (0-1cm) at each station along the Bohus Coast in 1990–2000 respectively.

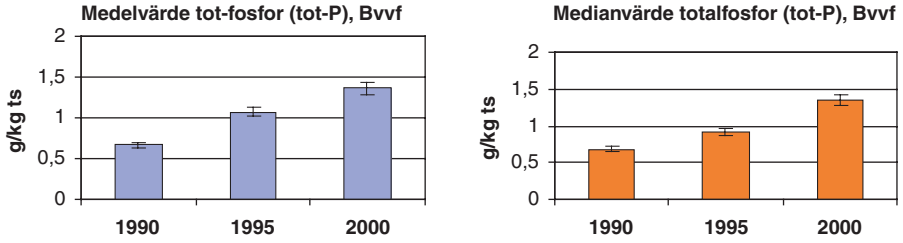


Fig. 2:35. Medelvärden (t.v.) och medianvärden (t.h) för totalfosforkoncentrationen (g/kg ts) i Bohuskustens ytsediment (0–1 cm) 1990–2000 (n = 14).

Mean (left) and median (right) values of the phosphorous concentrations in 1990–2000 in the surficial sediments (0–1 cm) of the Bohus Coast (n = 14).

2.6.9 TUNGMETALLER SAMT FÖRÄNDRINGAR EFTER 1990

Den geografiska variationen i ytsedimenten av metallerna arsenik (As), kadmium (Cd), krom (Cr), koppar (Cu), kvicksilver (Hg), nickel (Ni), bly (Pb), tenn (Sn), vanadin (V) och zink (Zn) illustreras i figurerna 2:36–2:41. Analysresultaten redovisas i tabell 2:13. Tungmetallerna uppvisar sinsemellan både likheter och olikheter i fördelningsmönstret, varför de nedan i korthet behandlas var för sig.

I de tabeller som presenteras nedan, där tungmetalldata från några områden i Skagerrak och Kattegatt sammanställts, har endast data framtagna med analysteknik enligt svensk standard (SIS) eller motsvarande använts. Detta i syfte att möjliggöra en korrekt jämförelse mellan de olika områdena.

2.6.9.1 Arsenik

Analysresultaten från 2000 års sedimentundersökningar avseende arsenik (As) redovisas i tabell 2:13 tillsammans med motsvarande data från 1990 och 1995 års undersökningar. Ytsedimentens innehåll av As år 2000 (om station Strömstad undantas) varierar mellan 6,8 och 18 mg/kg ts med ett medelvärde och medianvärde av 11 respektive 11,5 mg/kg ts (tabell 2:14). Den areella variationen av arsenik i ytsedimentet (0–1 cm) illustreras i figur 2:36. Ett extremt högt värde om 110 mg/kg ts påträffades utanför Strömstad. Detta är den högsta kända arsenikkoncentration som uppmätts i Skagerrak- och Kattegattområdet (tabell 2:15). Näst högst värde (18 mg/kg ts) återfinns i Havstensfjord. Denna station uppvisade den högsta halten vid 1990 och 1995 års undersökningar (Cato 1992, 1997a).

Enligt svenska bedömningsgrunder för kust- och havssediment (Naturvårdsverket 1999) uppvisar sedimenten med avseende på arsenik i Strömstad *mycket stor avvikelse* (klass 5) och i Havstensfjord *tydlig avvikelse*

(klass 3), medan övriga stationer uppvisar *ingen/obetydlig till liten avvikelse* (klasserna 1 och 2) från jämförvärdet, dvs. den naturliga nationella bakgrunden (se tabell 2:16). Med undantag för Strömstad där en kraftig försämring ägt rum sedan 1995 har miljökvaliteten förbättrats på flera stationer.

Förändringen på respektive station av sedimentens arsenikhalter mellan åren 1990 och 2000 illustreras i figur 2:37. På samtliga stationer utom Valö, Saltkällefjorden, Fjällbacka och Strömstad har arsenikhalterna minskat mellan åren 1995 och 2000. Baserat på medel- och medianvärdesförändringen är koncentrationsminskningen 25 respektive 14 % om station Strömstad exkluderas (tabell 2:14). Trenden över tiden illustreras i figur 2:38.

Den kraftiga minskningen av arsenik i ytsedimenten är reell eftersom variationskoefficienten för arsenik till följd av sedimentens inhomogenitet sannolikt ligger runt 10 % (jfr. övriga metaller nedan). Minskningen är dock mindre än de minst 35 %, som baserat på blandningsfaktorn (se avsnitt 2.5 ovan), krävs för att en förändring skall kunna detekteras vid ett femårigt provtagningsintervall.

Tabell 2:13. Arsenik (As), kadmium (Cd), krom (Cr), koppar (Cu), kvicksilver (Hg), mangan (Mn), nickel (Ni), bly (Pb), tenn (Sn), vanadin (V), och zink (Zn) i ytsedimenten (0–1 cm) längs Bohuskusten 1990, 1995 och 2000. Metallanalyser efter uppslutning med 7M salpetersyra. (-) = Data finns inte från alla år.

Arsenic (As), cadmium (Cd), chromium (Cr), copper (Cu), mercury (Hg), manganese (Mn), nickel (Ni), lead (Pb), ten (Sn) vanadium (V), and zinc (Zn) in the surficial sediments (0–1 cm) of the Bohus Coast in 1990, 1995 and 2000. Metal analyses after extraction with 7M nitric acid. (-) = Data are lacking for some years.

Station	År	As mg/kg	Cd mg/kg	Cr mg/kg	Cu mg/kg	Hg mg/kg	Mn mg/kg	Ni mg/kg	Pb mg/kg	Sn mg/kg	V mg/kg	Zn mg/kg
Valö	1990	9,2	0,25	19	13	0,44	-	15	28	0,8	29	77
	1995	10,2	0,16	15	6,6	0,07	276	7,52	17,5	1	27,3	49,8
	2000	13	1,1	40	22	0,069	370	25	42	3,5	77	97
Vinga	1990	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	1995	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	2000	16	0,12	41	19	0,14	710	25	41	3,6	71	83
Skalkorgarna	1990	13	0,18	44	30	0,39	-	22	44	1,4	59	133
	1995	20,1	0,18	42,8	33,9	0,47	388	21,9	41,1	3,3	66,7	148
	2000	11	0,18	39	30	0,26	370	22	37	3,9	64	100
Danafjord	1990	13	0,25	31	18	0,33	-	17	30	1,3	44	85
	1995	12,9	0,14	34,5	20,7	0,26	466	19,7	36,8	3,9	56,2	105
	2000	10	0,17	29	21	0,15	34	17	35	3,4	48	70
Rävungarna	1990	5	0,27	27	18	0,17	-	11	25	1,2	28	93
	1995	8,4	0,21	28,8	15,9	0,16	238	11,9	24,4	2,4	41,8	112
	2000	7,8	0,19	19	20	0,14	370	16	26	3,5	48	96
Stenungsund	1990	12	0,15	41	29	0,50	-	22	27	2,9	66	114
	1995	23,7	0,11	41,5	23,7	0,12	1150	22,7	29,5	3,7	81	140
	2000	13	0,12	41	24	0,064	670	24	28	4,9	75	90
Havstensfjord	1990	16	0,13	36	25	0,16	-	22	35	1,9	66	138
	1995	45,4	0,1	40,7	25,8	0,19	1160	23,8	35,6	5,1	92,3	166
	2000	18	0,13	39	24	0,066	830	24	35	5	85	140
Byfjorden	1990	7,9	0,31	36	35	0,20	-	20	27	1,7	54	128
	1995	12,2	0,35	28,9	23,1	0,12	258	17,4	24,7	9,9	55	160
	2000	6,8	0,6	35	36	0,15	400	20	32	4,7	59	120
Saltkällefjorden	1990	9,9	0,26	29	28	0,27	-	19	37	1,6	61	140
	1995	12,7	0,13	34,7	20,8	0,16	439	19,8	39,9	3,3	83,2	153
	2000	15	0,13	32	27	0,075	590	20	38	4	78	100
Brofjorden *	1989	9,7	0,16	36	20	0,13	-	24	36	1,4	56	110
*	1995	6,7	0,33	23	15,7	0,06	166	12,9	19,4	2	41,4	86,6
	2000	8,5	0,67	27	32	0,56	220	17	32	5	45	110
Byttelocket	1990	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	1995	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	2000	13	0,45	38	26	0,075	330	26	40	5,4	66	92
Fjällbacka	1990	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	1995	13,6	0,3	33,9	19,9	0,1	204	20,9	27,4	2,1	58,8	112
	2000	9,2	0,25	38	21	0,065	250	23	29	3,4	65	82
Kosterfjorden	1990	6,1	0,11	27	14	0,08	-	16	26	<0,2	42	66
	1995	12,6	0,08	31,3	16,6	0,11	276	19,6	31,3	2,1	50,9	95,9
	2000	7,6	0,097	33	17	0,057	540	23	33	2,9	54	69
Strömstad	1990	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	1995	13,7	0,11	27,9	27,9	0,27	185	16,9	36,7	5,3	50,8	98,5
	2000	110	0,12	26	26	0,16	200	16	35	5,8	32	67

* = Data från 1989 (Cato 1990). Data from 1989 (Cato 1990).

Tabell 2:14. Spridning. medelvärden och medianvärden för några grundämnen i ytsedimenten utmed Bohuskusten 1990–2000.
Range. means and medians of some elements in the surficial sediments of the Bohus Coast in 1990–2000.

Grundämne	Enhet	År	n	Intervall	Medelvärde MV	Medianvärde MD	Standardav-vikelse
Arsenik (As)	mg/kg	1990	10	5–16	10	9,8	3,4
		1995	12	6,7–45	16,0	13	10
		2000	13	6,8–18(110)	12	11	3,5
Kadmium (Cd)	mg/kg	1990	10	0,11–0,31	0,21	0,22	0,069
		1995	12	0,08–0,35	0,18	0,15	0,094
		2000	14	0,097–1,1	0,31	0,18	0,29
Krom (Cr)	mg/kg	1990	10	19–44	33	34	7,4
		1995	12	15–43	32	33	8,0
		2000	14	19–41	34	37	6,7
Koppar (Cu)	mg/kg	1990	10	13–35	23	23	7,4
		1995	12	6,6–34	21	21	6,9
		2000	14	17–36	25	24	5,3
Kvicksilver (Hg)	mg/kg	1990	10	0,08–0,50	0,27	0,24	0,14
		1995	12	0,06–0,47	0,17	0,14	0,11
		2000	14	0,057–0,56	0,15	0,11	0,13
Mangan (Mn)	mg/kg	1990	10	-	-	-	-
		1995	10	166–1160	290	276	350
		2000	14	34–830	420	370	221
Nickel (Ni)	mg/kg	1990	10	11–24	19	20	4,0
		1995	12	7,5–24	18	20	4,9
		2000	14	16–26	21	23	3,6
Bly (Pb)	mg/kg	1990	10	25–44	32	29	6,2
		1995	12	18–41	30	30	7,9
		2000	14	26–42	35	35	4,9
Tenn (Sn)	mg/kg	1990	10	0,2–2,9	1,4	1,4	0,70
		1995	12	1–9,9	3,7	3,3	2,3
		2000	14	2,9–5,8	4,2	4	0,9
Vanadin (V)	mg/kg	1990	10	28–66	51	55	14
		1995	12	27–92	59	56	19
		2000	14	32–85	62	65	15
Zink (Zn)	mg/kg	1990	10	66–140	108	112	27
		1995	12	50–166	119	112	35
		2000	14	67–140	94	94	20

Tabell 2:15. Spridning, medelvärden och medianvärden för koncentrationerna av arsenik (As) i ytsediment i Skagerrak och Kattegatt.
Range and means of arsenic (As) concentrations in the superficial sediments of the Skagerrak and Kattegat.

Område	År	Antal stationer (n)	Intervall As mg/kg	MV As mg/kg	Referens
Bakgrund		50		10	Naturvårdsverket 1999
VF kustvattenkontroll	1990	10	5–16	10	Cato 1992
”	1995	12	6,7–45	16	Cato 1997
”	2000	13	6,8–18(110)	12	Cato 2006
Stenungsundsområdet	1995	17	4,1–26	14	Cato 1997
”	2000	14	5,8–14	10,8	Cato 2006
VF Göta Älv	1990	2	3,0–8,6	5,8	Cato 1992
”	1995	2	1,3–10,3	5,8	Cato 1997
”	2000	1	2–8,9	5,6	Cato 2006
Brofjorden	2000	8	7–15	12	Cato 2006
Gullmarsfjorden	1995	2	11–16	13	Cato 1997
”	2000	1	24	24	Cato 2006

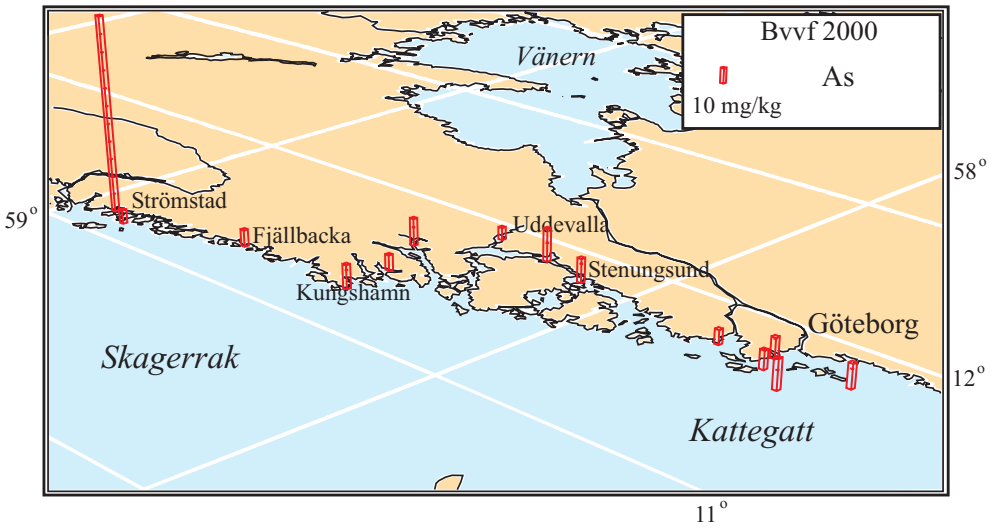


Fig. 2:36. Fördelningen av arsenik (As, mg/kg ts) i ytsediment (0–1 cm) utmed Bohuskusten 1995.

The distribution of arsenic (As, mg/kg dw) in 1995 in the surficial sediments (0–1 cm) of the Bohus Coast.

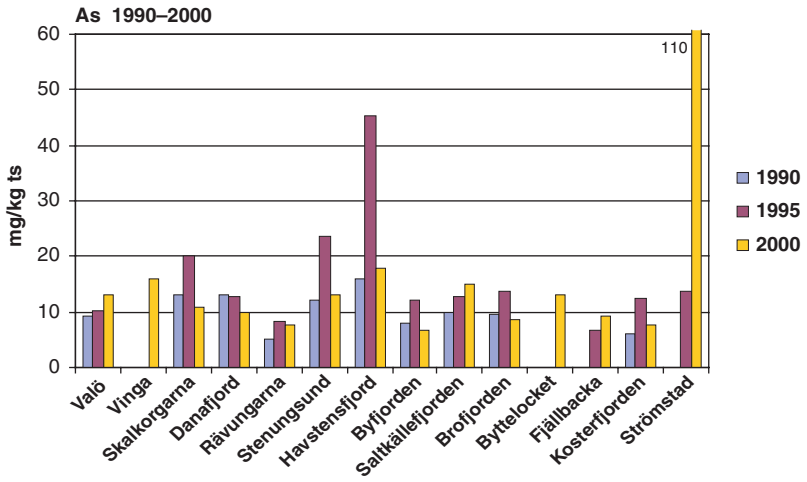


Fig. 2:37. Koncentrationen av arsenik (As, mg/kg ts) i ytsedimentet (0–1 cm) på respektive station utmed Bohuskusten 1990–2000.

The concentration of arsenic (As, mg/kg dw) in the surficial sediments (0–1 cm) at each station along the Bohus Coast in 1990–2000 respectively.

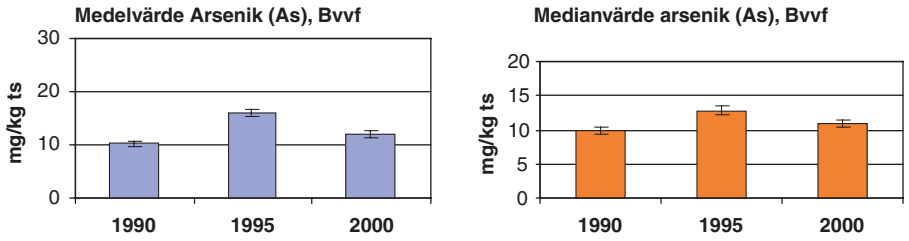


Fig. 2:38. Medelvärden (t.v.) och medianvärden (t.h) för koncentrationen av arsenik (As, mg/kg ts) i Bohuskustens ytsediment (0–1 cm) 1990–2000 (n = 13).

Mean (left) and median (right) values of the arsenic (As, mg/kg dw) concentrations in 1990–2000 in the surficial sediments (0–1 cm) of the Bohus Coast (n = 13).

Tabell 2:16. Ytsedimentens (0–1 cm) miljökvalitet utmed Bohuskusten 1990–2000 med avseende på arsenikhalten. Klassning enligt svenska bedömningsgrunder (Naturvårdsverket 1999).

The environmental quality of the surface sediments (0–1 cm) along the Bohus Coast with respect to arsenic content 1990–2000. Classification according to Swedish Environmental Quality Criteria (Naturvårdsverket 1999).

Station / År	As 1990	As 1995	As 2000
Valö	9,2	10,2	13
Vinga			16
Skalkorgarna	13	20,1	11
Danafjord	13	12,9	10
Rävungarna	5	8,4	7,8
Stenungsund	12	23,7	13
Havstensfjord	16	45,4	18
Byfjorden	7,9	12,2	6,8
Saltkällefjorden	9,9	12,7	15
Brofjorden	9,7	13,6	8,5
Byttelocket			13
Fjällbacka		6,7	9,2
Kosterfjorden	6,1	12,6	7,6
Strömstad		13,7	110

Metaller Avvikelse från jämförvärde	
Klass 1	Ingen obetydlig avvikelse
Klass 2	Liten avvikelse
Klass 3	Tydlig avvikelse
Klass 4	Stor avvikelse
Klass 5	Mycket stor avvikelse

2.6.9.2 Kadmium

Analysresultaten från 2000 års sedimentundersökningar avseende kadmium (Cd) redovisas i tabell 2:13 tillsammans med motsvarande data från 1990 och 1995 års undersökningar. Ytsedimentens innehåll av kadmium 2000 varierar mellan 0,1 och 1,1 mg/kg ts med ett medelvärde och medianvärde av 0,31 respektive 0,18 mg/kg ts (tabell 2:14). Den areella variationen av kadmium i ytsedimentet (0–1 cm) illustreras i figur 2:39. Högst värden påträffades vid Valö utanför Göteborg, i Byfjorden och Brofjorden. De två senare områdena uppvisade även de högsta halterna vid 1990 och 1995 års undersökningar (Cato 1992, 1997a). Resultaten visar att berörda tre områden i mer än ett decennium varit (och är) utsatt för emission av kadmium.

Enligt svenska bedömningsgrunder för kust- och havssediment (Naturvårdsverket 1999) uppvisar sedimenten med avseende på kadmium på stationerna Valö, Byfjorden och Brofjorden en *tydlig avvikelse* (klass 3), medan övriga stationer uppvisar *ingen/obetydlig till liten avvikelse* (klasserna 1 och 2) från jämförvärdet, dvs. den naturliga nationella bakgrunden (se tabell 2:17). I jämförelse med 1995 har miljökvaliteten blivit sämre på nämnda tre stationer.

Tabell 2:17. Ytsedimentens (0–1 cm) miljökvalitet utmed Bohuskusten 1990–2000 med avseende på kadmiumhalten. Klassning enligt svenska bedömningsgrunder (Naturvårdsverket 1999).

The environmental quality of the surface sediments (0–1 cm) along the Bohus Coast with respect to the cadmium content 1990–2000. Classification according to Swedish Environmental Quality Criteria (Naturvårdsverket 1999).

Station / År	Cd 1990	Cd 1995	Cd 2000
Valö	0,25	0,16	1,1
Vinga			0,12
Skalkorgarna	0,18	0,18	0,18
Danafjord	0,25	0,14	0,17
Rävungarna	0,27	0,21	0,19
Stenungsund	0,15	0,11	0,12
Havstensfjord	0,13	0,1	0,13
Byfjorden	0,31	0,35	0,60
Saltkällefjorden	0,26	0,13	0,13
Brofjorden	0,16	0,3	0,67
Byttelocket			0,45
Fjällbacka		0,33	0,25
Kosterfjorden	0,11	0,08	0,097
Strömstad		0,11	0,12

Metaller Avvikelse från jämförvärde	
Klass 1	Ingen obetydlig avvikelse
Klass 2	Liten avvikelse
Klass 3	Tydlig avvikelse
Klass 4	Stor avvikelse
Klass 5	Mycket stor avvikelse

Tabell 2:18. Spridning, medelvärden och medianvärden för koncentrationerna av kadmium (Cd) i ytsediment (0–1 cm) i Skagerrak och Kattegatt.

Range and means of cadmium (Cd) concentrations in the superficial sediments of the Skagerrak and Kattegat.

Område	År	Antal stationer (n)	Intervall Cd mg/kg	MV Cd mg/kg	Referens
Bakgrund		50		0,2	Naturvårdsverket 1999
VF kustvattenkontroll	1990	10	0,11–0,31	0,21	Cato 1992
”	1995	12	0,08–0,35	0,18	Cato 1997
	2000	14	0,1–1,1	0,31	Cato 2006
Kungsbackafjorden	1992	11	0,06–0,66	0,31	Andreasson m.fl. 1992
VF Göta Älv	1990	2	0,08–0,78	0,43	Cato 1992
”	1995	2	0,1–0,6	0,35	Cato 1997
	2000	2	0,35–0,51	0,43	Cato 2006
Göteborgs skärgård	1982	32	0,09–1,4	0,35	Cato 1986a
Stenungsund	1981	42	0,38–1,2	0,62	Edgren 1975
”	1985	26	0,07–2,1	0,61	Cato 1986b
”	1995	17	0,04–0,28	0,12	Cato 1997
	2000	14	0,1–0,21	0,14	Cato 2006
Gullmarsfjorden	1981	12	<0,5–0,7	<0,5	Joslin 1982
”	1987	12	0,09–0,41	0,18	Bornmalm 1987
”	1995	2	0,14–0,16	0,15	Cato 1997
	2000	1	0,13	0,13	Cato 2006
Brofjorden	1977	23	0,12–1,1	0,28	Göthberg & Johansson 1981
”	1989	18	0,36–1,5	0,85	Cato 1990
”	1995	13	0,02–0,82	0,32	Cato 1997
	2000	8	0,14–1,1	0,52	Cato 2006
Idefjorden	1975	11	0,56–14,4	5,8	Olausson opubl
Hvaler-Koster området	1989	32	0,04–0,21	0,13	Helland m.fl. 1990
Kattegatt	1987-91	24	0,07–0,16	0,11	Kuijpers m.fl. 1992
Skagerrak	1987-91	15	0,07–0,20	0,13	Kuijpers m.fl. 1992

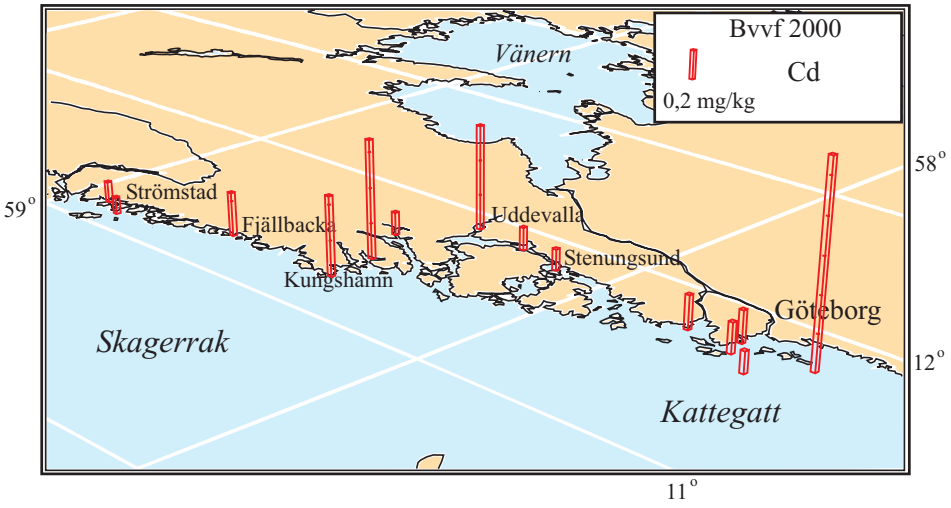


Fig. 2:39. Fördelningen av kadmium (Cd, mg/kg ts) i ytsediment (0–1 cm) utmed Bohuskusten 1995.

The distribution of cadmium (Cd, mg/kg dw) in 1995 in the surficial sediments (0–1 cm) of the Bohus Coast.

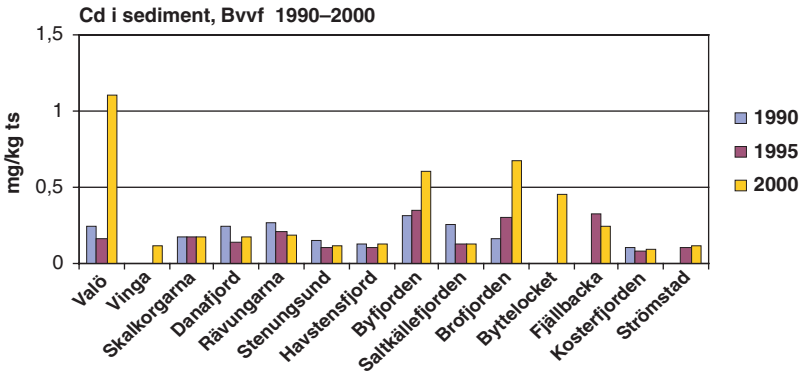


Fig. 2:40. Koncentrationen av kadmium (Cd, mg/kg ts) i ytsedimentet (0–1 cm)på respektive station utmed Bohuskusten 1990 och 2000.

The concentration of cadmium (Cd, mg/kg dw) in the surficial sediments at each station along the Bohus Coast in 1990 and 2000 respectively.

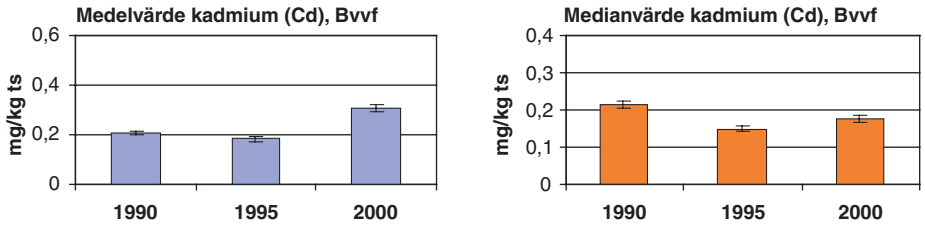


Fig. 2:41. Medelvärden (t.v.) och medianvärden (t.h) för koncentrationen av kadmium (Cd, mg/kg ts) i Bohuskustens ytsediment (0–1 cm) 1990–2000 (n = 14).

Mean (left) and median (right) values of the cadmium (Cd, mg/kg dw) concentrations in 1990–2000 in the surficial sediments (0–1 cm) of the Bohus Coast (n = 14).

Dock kan konstateras att halterna ligger förhållandevis lågt jämfört med andra områden längs Bohuskusten, Skagerrak och Kattegatt (se tabell 2:18).

Förändringarna av sedimentens kadmiumhalter mellan 1990, 1995 och 2000 års undersökningar illustreras i figur 2:40 (se ovan). På tre stationer (Valö, Byfjorden och Brofjorden) har kadmiumhalterna ökat kraftigt och på två stationer har den minskat (Rävungarna och Fjällbacka) mellan 1995 och 2000. På övriga stationer har en marginell ökning skett alternativt är koncentrationerna oförändrade. Haltökningen är i genomsnitt 69 % (fig. 2:41, tabell 2:14). Sedan 1990 har halterna i medeltal ökat med 49 %.

Båda siffrorna kan anses statistiskt signifikanta eftersom variationskoefficienten för kadmium, till följd av ytsedimentens (0–2 cm) inhomogenitet, har analyserats och beräknats till 4,3±2,7 % (Cato, opubl.). Ökningen är mer än de ca 35 %, som baserat på blandningsfaktorn (se avsnitt 2.5 ovan), krävs för att en förändring med säkerhet skall kunna detekteras vid ett femårigt respektive tioårigt provtagningsintervall.

Koncentrationsökningen på stationerna Valö och Brofjorden är endast till en mindre del betingad av att dessa stationer flyttats till en lämpligare sedimentationsbotten. Resultaten visar att kadmium fortfarande tillförs berörda delar av Bohuskusten.

2.6.9.3 Krom

Analysresultaten från 2000 års sedimentundersökningar avseende krom (Cr) redovisas i tabell 2:13 tillsammans med motsvarande data från 1990 och 1995 års undersökningar. Ytsedimentens innehåll av Cr 2000 varierar mellan 19 och 41 mg/kg ts med ett medelvärde och medianvärde av 34 respektive 37 mg/kg ts (tabell 2:14). Den areella variationen av krom i ytsedimentet (0–1 cm) illustreras i figur 2:42. Högst värde påträffades vid Stenungsund.

Dock kan konstateras att halterna ligger ligger i nivå med andra områden längs Bohuskusten, Skagerrak och Kattegatt (se tabell 2:19).

Enligt svenska bedömningsgrunder för kust- och havssediment (Naturvårdsverket 1999) uppvisar sedimenten på samtliga stationer med avseende på krom *ingen/obetydlig till liten avvikelse* (klasserna 1 och 2) från jämförvärdet, dvs. den naturliga nationella bakgrunden (se tabell 2:20). I jämförelse med 1995 har miljökvaliteten i detta avseende förbättrats utmed Bohuskusten.

Variationen i sedimentens kromhalter på respektive station mellan 1990, 1995 och 2000 års undersökningar illustreras i figur 2:43. På fyra stationer har kromhalten ökat och på övriga har den minskat något mellan 1995 och 2000 (tabell 2:13). I medeltal har halten ökat med 7 % sedan 1995 och med 6 % sedan 1990 (2:44). Ingen av siffrorna kan anses statistiskt signifikanta eftersom variationskoefficienten för krom, till följd av ytsedimentens (0–2 cm) inhomogenitet, uppgår till 9±2,7 % (Cato, opubl.).

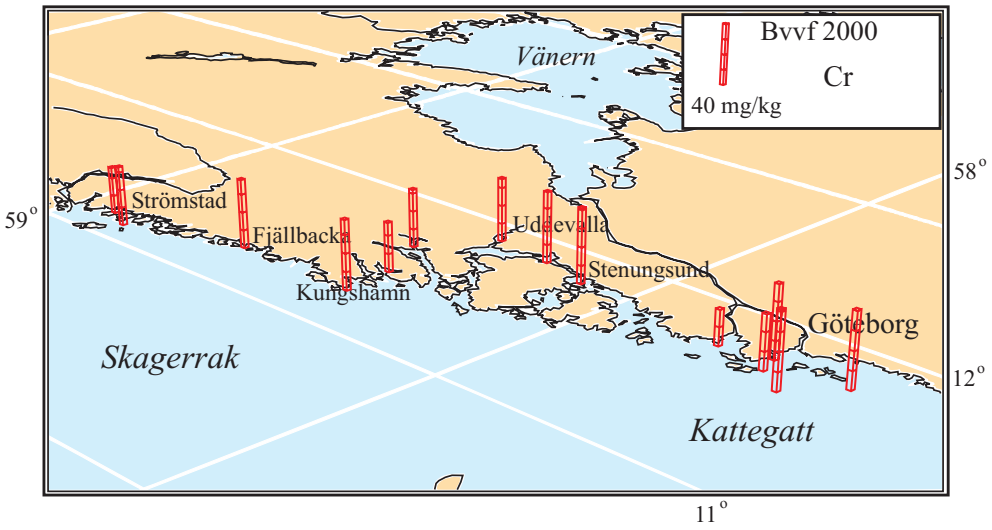


Fig. 2:42. Koncentrationen av krom (Cr, mg/kg ts) i ytsediment (0–1 cm) utmed Bohuskusten 2000.

The concentration of chromium (Cr, mg/kg dw) in 2000 in the surficial sediments (0–1 cm) of the Bohus Coast.

Tabell 2:19. Spridning, medelvärden och medianvärden för koncentrationerna av krom (Cr) i ytsediment i Skagerrak och Kattegatt.

Range and means of chromium (Cr) concentrations in the superficial sediments of the Skagerrak and Kattegat.

Område	År	Antal stationer (n)	Intervall Cr mg/kg	MV Cr mg/kg	Referens
Bakgrund		50		40	Naturvårdsverket 1999
VF kustvattenkontroll	1990	10	19–44	33	Cato 1992
”	1995	12	15–43	32	Cato 1997
”	2000	14	19–41	34	Cato 2006
Kungsbackafjorden	1992	11	3–38	22	Andreasson m.fl. 1992
VF Göta Älv	1990	2	21–37	29	Cato 1992
”	1995	2	11–41	26	Cato 1997
”	2000	2	24–40	32	Cato 2006
Stenungsund	1975	17	21–42	31	Edgren 1975
”	1981	17	21–51	39	Gustavsson 1982
”	1995	17	17–44	38	Cato 1997
”	2000	14	21–44	34	Cato 2006
Gullmarsfjorden	1981	12	14–55	41	Joslin 1982
”	1987	12	20–36	30	Bornmalm 1987
”	1995	2	35–38	37	Cato 1997
”	2000	1	31	31	Cato 2006
Brofjorden	2000	8	23–39	31	Cato 2006
Hvaler-Koster	1989	32	24–119	63	Helland m.fl. 1990
Kattegatt	1987–91	24	21–42	28	Kuijpers m.fl. 1992
Skagerrak	1987–91	15	11–33	24	Kuijpers m.fl. 1992

Tabell 2:20. Ytsedimentens (0–1 cm) miljökvalitet utmed Bohuskusten 1990–2000 med avseende på kromhalten. Klassning enligt svenska bedömningsgrunder (Naturvårdsverket 1999).

The environmental quality of the surface sediments (0–1 cm) along the Bohus Coast with respect to the chromium content 1990–2000. Classification according to Swedish Environmental Quality Criteria (Naturvårdsverket 1999).

Station / År	Cr 1990	Cr 1995	Cr 2000
Valö	19	15	40
Vinga			41
Skalkorgarna	44	42,8	39
Danafjord	31	34,5	29
Rävungarna	27	28,8	19
Stenungsund	41	41,5	41
Havstensfjord	36	40,7	39
Byfjorden	36	28,9	35
Saltkällefjorden	29	34,7	32
Brofjorden	36	33,9	27
Byttelocket			38
Fjällbacka		23	38
Kosterfjorden	27	31,3	33
Strömstad		27,9	26

Metaller Avvikelse från jämförvärde	
Klass 1	Ingen obetydlig avvikelse
Klass 2	Liten avvikelse
Klass 3	Tydlig avvikelse
Klass 4	Stor avvikelse
Klass 5	Mycket stor avvikelse

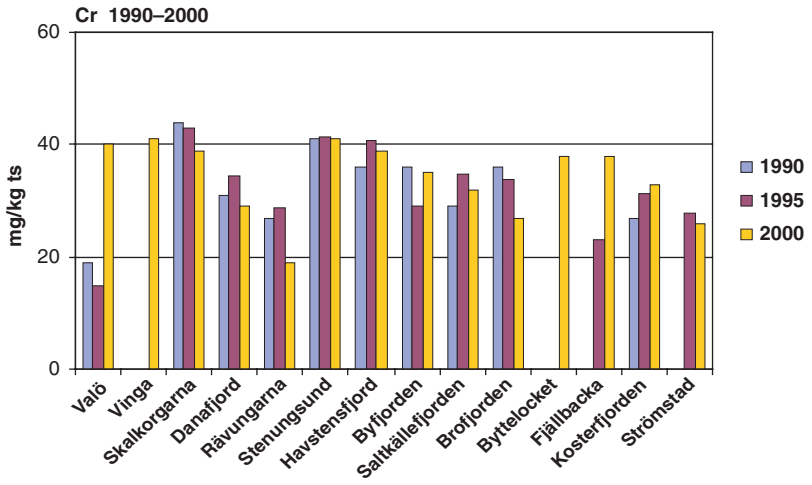


Fig. 2:43. Koncentrationen av krom (Cr, mg/kg ts) i ytsedimentet (0–1 cm) på respektive station utmed Bohuskusten 1990–2000.

The concentration of chromium (Cr, mg/kg dw) in the surficial sediments (0–1 cm) at each station along the Bohus Coast in 1990–2000 respectively.

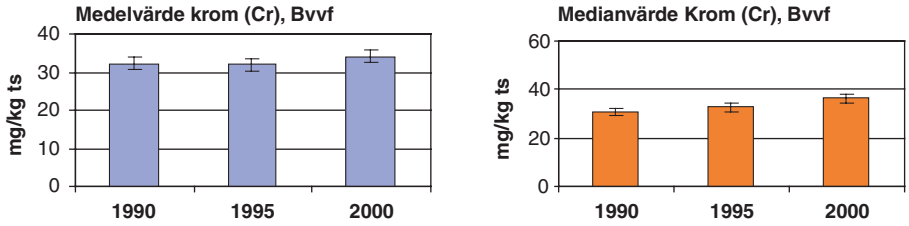


Fig. 2:44. Medelvärden (t.v.) och medianvärden (t.h) för koncentrationen av krom (Cr, mg/kg ts) i Bohuskustens ytsediment (0–1 cm) 1990–2000 (n = 14).

Mean (left) and median (right) values of the chromium (Cr, mg/kg dw) concentrations in 1990–2000 in the surficial sediments (0–1 cm) of the Bohus Coast (n = 14).

2.5.9.4 Koppar

Analysresultaten från 2000 års sedimentundersökningar avseende koppar (Cu) redovisas i tabell 2:13 tillsammans med motsvarande data från 1990 och 2000 års undersökningar. Ytsedimentens innehåll av Cu 2000 varierar mellan 17 och 36 mg/kg ts med ett medelvärde och medianvärde av 25 respektive 24 mg/kg ts (tabell 2:14). Den areella variationen av koppar i ytsedimentet (0–1 cm) illustreras i figur 2:45. Högst värden påträffades på stationerna Byfjorden och Brofjorden. Dessa stationer uppvisade även de högsta halterna vid 1990 och 1995 års undersökningar (Cato 1992, 1997a).

Dock kan konstateras att halterna ligger ligger i nivå med andra områden längs Bohuskusten, Skagerrak och Kattegatt (se tabell 2:21).

Enligt svenska bedömningsgrunder för kust- och havssediment (Naturvårdsverket 1999) uppvisar sedimenten på samtliga stationer med avseende på koppar *liten avvikelse* till *tydlig avvikelse* (klasserna 2 och 3) från jämförvärdet, dvs. den naturliga nationella bakgrunden (se tabell 2:22). I jämförelse med 1995 är miljökvaliteten i detta avseende i princip oförändrad utmed Bohuskusten.

Förändringarna av sedimentens kopparhalter mellan 1990, 1995 och 2000 års undersökningar illustreras i figur 2:46. På tre stationer (Skalkorgana, Havstensfjord och Strömstad) har kopparhalten minskat något sedan 1995. På övriga stationer har kopparhalterna ökat. Ökningen är i medeltal 18 % (fig. 2:47, tabell 2:14). Sedan 1990 har kopparhalten ökat med i medeltal 5 %. Förändringen mellan 1995 och 2000 är signifikant

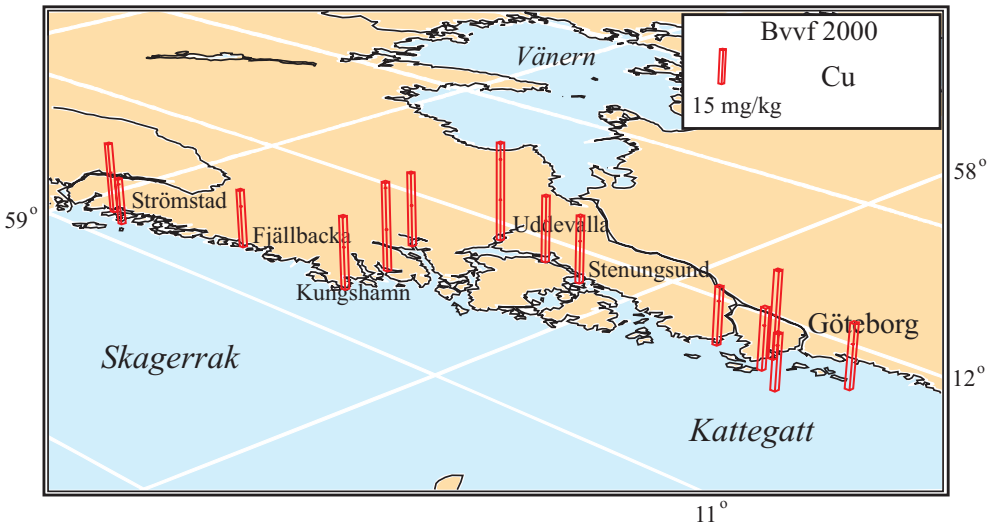


Fig. 2:45. Fördelningen av koppar (Cu, mg/kg ts) i ytsediment (0–1 cm) utmed Bohuskusten 2000.
The distribution of copper (Cu, mg/kg dw) in 2000 in the surficial sediments (0–1 cm) of the Bohus Coast.

eftersom variationskoefficienten för Cu, till följd av ytsedimentens (0–2 cm) inhomogenitet har analyserats och beräknats till 6,6±4,8 % (Cato 1977).

Koncentrationsökningen är dock mindre än de minst ca 35 %, som baserat på blandningsfaktorn (se avsnitt 2.5), krävs för att en förändring med säkerhet skall kunna detekteras vid ett femårigt provtagningsintervall.

Tabell 2:21. Spridning, medelvärden och medianvärden för koncentrationerna av koppar (Cu) i ytsediment i Skagerrak och Kattegatt.
Range and means of copper (Cu) concentrations in the superficial sediments of the Skagerrak and Kattegat.

Område	År	Antal stationer (n)	Intervall Cu mg/kg	MV Cu mg/kg	Referens
Bakgrund		50		15	Naturvårdsverket 1999
VF kustvattenkontroll	1990	10	13–35	23	Cato 1992
”	1995	12	6,6–34	21	Cato 1997
”	2000	14	17–36	25	Cato 2006
Kungsbackafjorden	1992	11	1,5–15	10	Andreasson m.fl. 1992
VF Göta Älv	1990	2	9,4–61	35	Cato 1992
”	1995	2	6,6–11	8.8	Cato 1997
”	2000	2	16–51	34	Cato 2006
Stenungsund	1975	46	18–180	40	Edgren 1975
”	1981	42	37–220	79	Edgren 1975
”	1985	26	13–140	34	Cato 1986b
”	1995	17	9–78	26	Cato 1997
”	2000	14	14–32	22	Cato 2006
Gullmarsfjorden	1981	12	5–27	22	Joslin 1982
”	1987	12	16–22	18	Bornmalm 1987
”	1995	2	20–39	29	Cato 1997
”	2000	1	16	16	Cato 2006
Brofjorden	1977	23	12–40	24	Göthberg & Johansson 1981
”	1989	18	9–33	23	Cato 1990
”	1995	13	11–29	21	Cato 1997
”	2000	8	19–32	24	Cato 2006
Idefjorden	1975	11	20–176	94	Olausson opubl
Hvaler-Koster området	1989	32	24–80	42	Helland m.fl. 1990
Kattegatt	1987–91	33	2–25	12	Kuijpers m.fl. 1992
Skagerrak	1987–91	80	1–40	11	Kuijpers m.fl. 1992

Tabell 2:22. Ytsedimentens (0–1 cm) miljökvalitet utmed Bohuskusten 1990–2000 med avseende på kopparhalten. Klassning enligt svenska bedömningsgrunder (Naturvårdsverket 1999).

The environmental quality of the surface sediments (0–1 cm) along the Bohus Coast with respect to the cupper content 1990–2000. Classification according to Swedish Environmental Quality Criteria (Naturvårdsverket 1999).

Station / År	Cu 1990	Cu 1995	Cu 2000
Valö	13	6,6	22
Vinga			19
Skalkorgarna	30	33,9	30
Danafjord	18	20,7	21
Rävungarna	18	15,9	20
Stenungsund	29	23,7	24
Havstensfjord	25	25,8	24
Byfjorden	35	23,1	36
Saltkällefjorden	28	20,8	27
Brofjorden	20	19,9	32
Byttelocket			26
Fjällbacka		15,7	21
Kosterfjorden	14	16,6	17
Strömstad		27,9	26

Metaller Avvikelse från jämförvärde	
Klass 1	Ingen obetydlig avvikelse
Klass 2	Liten avvikelse
Klass 3	Tydlig avvikelse
Klass 4	Stor avvikelse
Klass 5	Mycket stor avvikelse

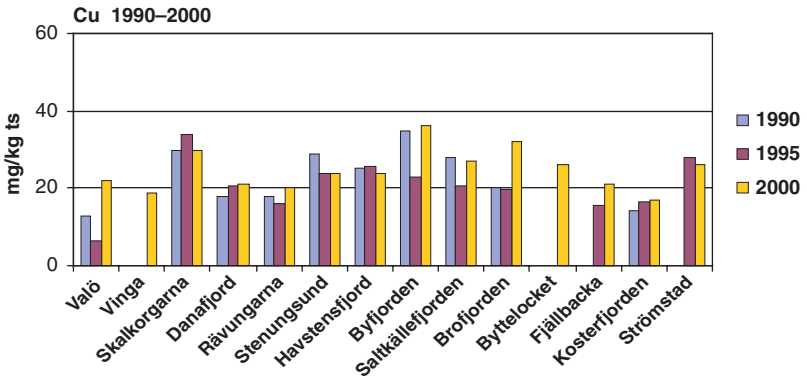


Fig. 2:46. Koncentrationen av koppar (Cu, mg/kg ts) i ytsedimentet (0–1 cm) på respektive station utmed Bohuskusten 1990–2000.

The concentration of copper (Cu, mg/kg dw) in the surficial sediments (0–1 cm) at each station along the Bohus Coast in 1990–2000 respectively.

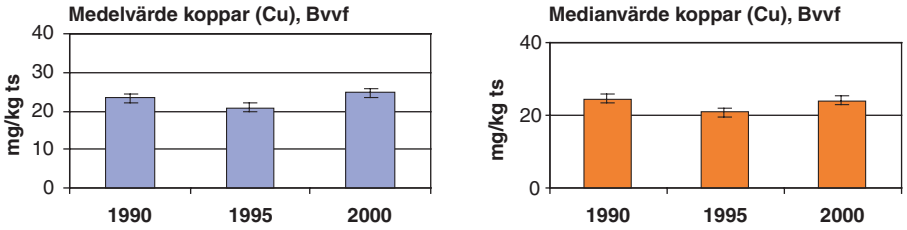


Fig. 2:47. Medelvärden (t.v.) och medianvärden (t.h) för koncentrationen av koppar (Cu, mg/kg ts) i Bohuskustens ytsediment (0–1 cm) 1990–2000 (n = 14).

Mean (left) and median (right) values of the copper (Cu, mg/kg dw) concentrations in 1990–2000 in the surficial sediments (0–1 cm) of the Bohus Coast (n = 14).

2.6.9.5 Kvicksilver

Analysresultaten från 2000 års sedimentundersökningar avseende kvicksilver (Hg) redovisas i tabell 2:13 tillsammans med motsvarande data från 1990 och 1995 års undersökningar. Ytsedimentens innehåll av Hg 2000 varierar mellan 0,06 och 0,56 mg/kg ts med ett medelvärde och medianvärde av 0,15 respektive 0,11 mg/kg ts (tabell 2:14). Den areella variationen av kvicksilver i ytsedimentet (0–1 cm) illustreras i figur 2:48. Högst värde påträffades i Brofjorden och vid Skalkorgarna. De höga halterna i sedimenten utanför Göteborg visar att den från år 1982 höga belastningen till viss del fortfarande kvarstår. År 1982 låg Hg-koncentrationen över 1 mg/kg ts på ca 1/3 av de 32 stationer som ingick i 1982 års undersökning (Cato 1986a).

Med undantag för Brofjorden kan dock konstateras att halterna utmed Bohuskusten ligger i paritet med de halter som uppmätts år 2000 inom andra områden utmed kusten samt utsjödata från Skagerrak och Kattegatt (tabell 2:23).

Tabell 2:23. Spridning, medelvärden och medianvärden för koncentrationerna av kvicksilver (Hg) i ytsediment i Skagerrak och Kattegatt. Range and means of mercury (Hg) concentrations in the superficial sediments of the Skagerrak and Kattegat.

Område	År	Antal stationer (n)	Intervall Hg mg/kg	MV Hg mg/kg	Referens
Bakgrund		50		0,04	Naturvårdsverket 1999
VF kustvattenkontroll	1990	10	0,08–0,50	0,27	Cato 1992
”	1995	12	0,06–0,47	0,17	Cato 1997
”	2000	14	0,06–0,56	0,15	Cato 2006
Kungsbackafjorden	1992	11	0,008–0,085	0,033	Andreasson m.fl. 1992
Askimsviken	1973	20	0,005–2,2	0,27	Cato m.fl. 1978
Inre Välen	1973	6	1,0–2,5	1,4	Cato 1977
VF Göta Älv	1990	2	0,05–1,2	0,63	Cato 1992
”	1995	2	0,02–0,75	0,39	Cato 1997
”	2000	2	0,06–0,97	0,51	Cato 2006
Göteborgs skärgård	1982	32	0,12–3,5	0,77	Cato 1986
Orust-Tjörn fjordar	1970	29	0,14–0,34	0,25	Olausson 1975a
Stenungsund	1972	17	0,1–0,48	0,24	Hasselroth 1972
”	1995	17	0,05–0,21	0,12	Cato 1997
”	2000	14	0,04–0,09	0,069	Cato 2006
Byfjorden	1970–74	58	0,005–1,2	0,18	Olausson 1975b
Gullmarsfjorden	1980	12	0,060–0,18	0,13	Joslin 1982
”	1987	12	0,019–0,085	0,049	Bornmalm 1988
”	1995	2	0,08–0,13	0,11	Cato 1997
”	2000	1	0,06	0,06	Cato 2006
Brofjorden	1972	67	0,031–0,29	0,16	Cato 1977
”	1989	14	0,10–0,55	0,17	Cato 1990
”	1995	13	0,06–0,13	0,1	Cato 1997
”	2000	8	0,06–0,56	0,14	Cato 2006
Idefjorden	1975	11	0,67–2,9	1,4	Olausson op
Hvaler-Koster området	1989	32	0,050–0,49	0,24	Helland m.fl. 1990
Kattegatt	1970	65	0,027–0,22	0,12	Olausson 1975a
”	1987-91	33	0,00 5–0,55	0,11	Kuijpers m.fl. 1992
Skagerrak	1970	49	0,027–0,20	0,078	Olausson 1975a
”	1987–91	78	0,005–0,86	0,11	Kuijpers m.fl. 1992

Enligt svenska bedömningsgrunder för kust- och havssediment (Naturvårdsverket 1999) uppvisar sedimenten i Brofjorden en *stor avvikelse* (klass 4) med avseende på kvicksilver och på övriga stationer *liten avvikelse* till *tydlig avvikelse* (klasserna 2 och 3) från jämförvärdet, dvs. den naturliga nationella bakgrunden (se tabell 2:24). I jämförelse med 1995 är, om Brofjorden undantas, miljökvaliteten i detta avseende något bättre utmed Bohuskusten. Dock kan konstateras att en stor del av Bohuskusten fortfarande är kontaminerat med avseende på kvicksilver.

Förändringarna av sedimentens kvicksilverhalter på varje enskild station mellan 1990, 1995 och 2000 års undersökningar illustreras i figur 2:49. På samtliga stationer utom i Byfjorden och Brofjorden har kvicksilverhalterna minskat mellan 1995 och 2000. Minskningen är i medeltal 17 % (fig. 2:50, tabell 2:14). Sedan 1990 har koncentrationerna minskat med 46 %. Siffror som kan anses statistiskt signifikanta eftersom variationskoefficienten för Hg, till följd av ytsedimentens (0–2 cm) inhomogenitet har analyserats och beräknats

till 5,8±3,1 % (Cato 1977). Minskningen sedan 1990 är också större än de minst ca 35 %, som baserat på blandningsfaktorn (se avsnitt 2.5 ovan), krävs för att en förändring med säkerhet skall kunna detekteras vid ett femårigt provtagningsintervall.

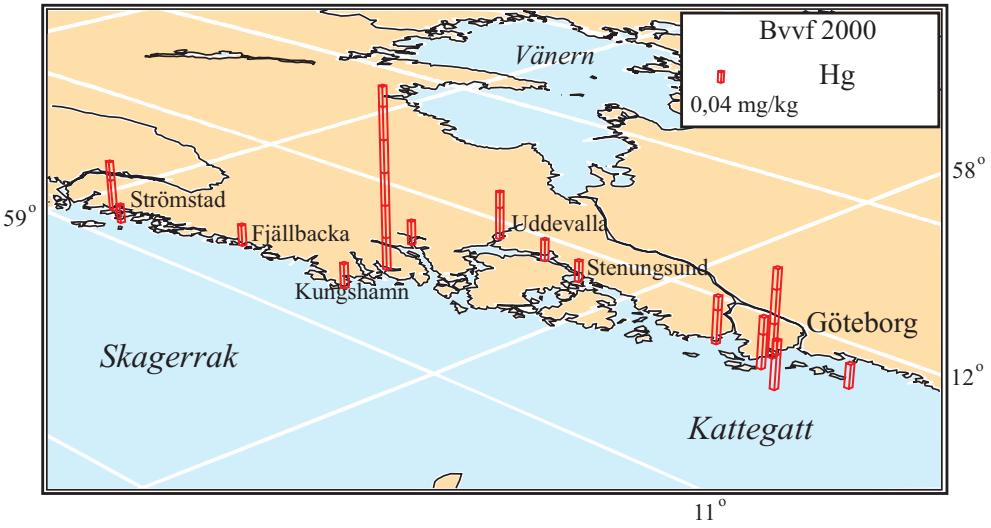


Fig. 2:48. Fördelningen av kvicksilver (Hg, mg/kg ts) i ytsediment (0–1 cm) utmed Bohuskusten 2000.

The distribution of mercury (Hg, mg/kg dw) in 2000 in the surficial sediments (0–1 cm) of the Bohus Coast.

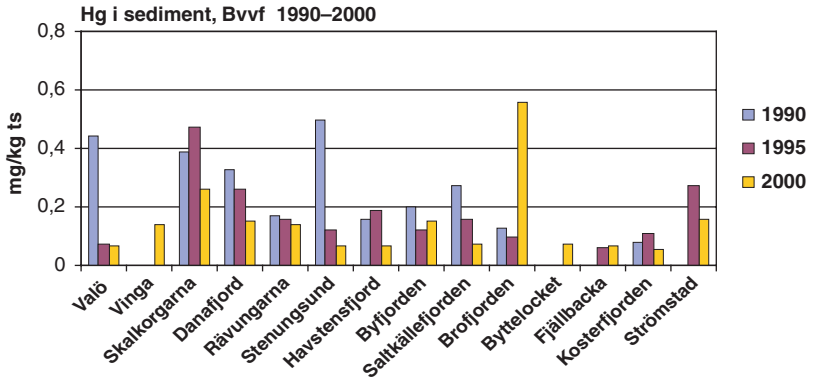


Fig. 2:49. Koncentrationen av kvicksilver (Hg, mg/kg ts) i ytsedimentet (0–1 cm) på respektive station utmed Bohuskusten 1990 och 2000.

The concentration of mercury (Hg, mg/kg dw) in the surficial sediments (0–1 cm) at each station along the Bohus Coast in 1990 and 2000 respectively.

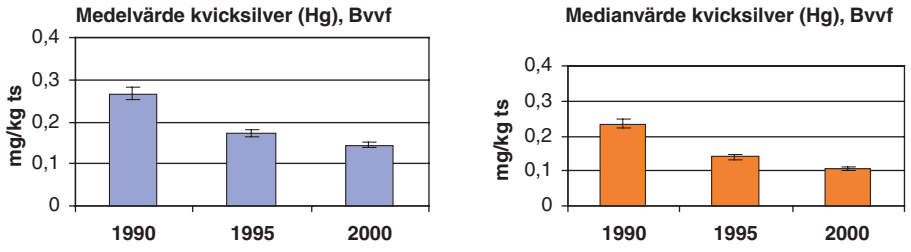


Fig. 2:50. Medelvärden (t.v.) och medianvärden (t.h) för koncentrationen av kvicksilver (Hg, mg/kg ts) i Bohuskustens ytsediment (0–1 cm) 1990–2000 (n = 14).

Mean (left) and median (right) values of the mercury (Hg, mg/kg dw) concentrations in 1990–2000 in the surficial sediments (0–1 cm) of the Bohus Coast (n = 14).

Tabell 2:24. Ytsedimentens (0–1 cm) miljökvalitet utmed Bohuskusten 1990–2000 med avseende på kvicksilverhalten. Klassning enligt svenska bedömningsgrunder (Naturvårdsverket 1999).

The environmental quality of the surface sediments (0–1 cm) along the Bohus Coast with respect to the mercury content 1990–2000. Classification according to Swedish Environmental Quality Criteria (Naturvårdsverket 1999).

Station / År	Hg 1990	Hg 1995	Hg 2000
Valö	0,44	0,07	0,069
Vinga			0,14
Skalkorgarna	0,39	0,47	0,26
Danafjord	0,33	0,26	0,15
Rävungarna	0,17	0,16	0,14
Stenungsund	0,50	0,12	0,064
Havstensfjord	0,16	0,19	0,066
Byfjorden	0,20	0,12	0,15
Saltkällefjorden	0,27	0,16	0,075
Brofjorden	0,13	0,10	0,56
Byttelocket			0,075
Fjällbacka		0,06	0,065
Kosterfjorden	0,08	0,11	0,057
Strömstad		0,27	0,16

Metaller Avvikelse från jämförvärde	
Klass 1	Ingen obetydlig avvikelse
Klass 2	Liten avvikelse
Klass 3	Tydlig avvikelse
Klass 4	Stor avvikelse
Klass 5	Mycket stor avvikelse

2.6.9.6 Mangan

Analysresultaten från 2000 års sedimentundersökningar avseende mangan (Mn) redovisas i tabell 2:13 tillsammans med motsvarande data från 1995 års undersökningar. Ytsedimentens innehåll av Mn 2000 varierar mellan 34 och 830 mg/kg ts med ett medelvärde och medianvärde av 420 respektive 370 mg/kg ts (tabell 2:14). Den areella variationen av mangan i ytsedimentet (0–1 cm) illustreras i figur 2:51a. Högst värden påträffades på stationerna Havstensfjord, Stenungsund och Vinga. Halterna på dessa platser var i stort sett dubbelt så höga som på övriga stationer. Detta tyder på en kraftig manganutfällning i den oxiderade sedimentytan.

Tabell 2:25. Spridning, medelvärden och medianvärden för koncentrationerna av mangan (Mn) i ytsediment i Skagerrak och Kattegatt. * = Totalhalter.

*Range and means of manganesel (Mn) concentrations in the superficial sediments of the Skagerrak and Kattegat. * = Total content.*

Område	År	Antal stationer (n)	Intervall Mn mg/kg	MV Mn mg/kg	Referens
Bakgrund*		70	320–4 960	490	Cato 1977b
VF kustvattenkontroll	1995	12	166–1 160	290	Cato 1997
	2000	14	34–830	420	Cato 2006
VF Göta Älv	1995	2	199–367	243	Cato 1997
	2000	2	240–400	320	Cato 2006
Stenungsund	2000	14	210–1 100	496	Cato 2006
Gullmarsfjorden	1995	2	328–13 200		Cato 1997
	2000	1	9 400	9400	Cato 2006
Brofjorden	2000	8	130–480	280	Cato 2006
Kattegatt–Skagerrak*	1987–91	213	140–29 430	770	Cato 1997b

Normalt frigörs mangan i djupare liggande sedimentlager, till följd av rådande reducerande förhållanden en bit ned i sedimentet. Det lösta manganet rör sig sedan genom bl.a. diffusiva krafter upp mot sedimentytan där det åter fälls ut under oxiderade förhållanden i sedimentytan. Denna förklaring är dock inte tillräcklig för att ensamt förklara de höga manganhalterna på berörda tre stationer. En starkt bidragande orsak kan också vara att mangan frigörs från sedimenten i Byfjorden med sitt anoxiska vatten och med strömmarna transporteras ut ur fjorden för att avsätta sig i utanförliggande bottnar med oxiskt bottenvatten.

Mangan är inte att betrakta som ett miljöhot utan skall närmast betraktas som en indikator på redoxförhållandena vid sedimentytan.

Dock kan konstateras att halterna ligger förhållandevis lågt jämfört med t.ex. Gullmarsfjorden, Skagerrak och Kattegatt (tabell 2:25).

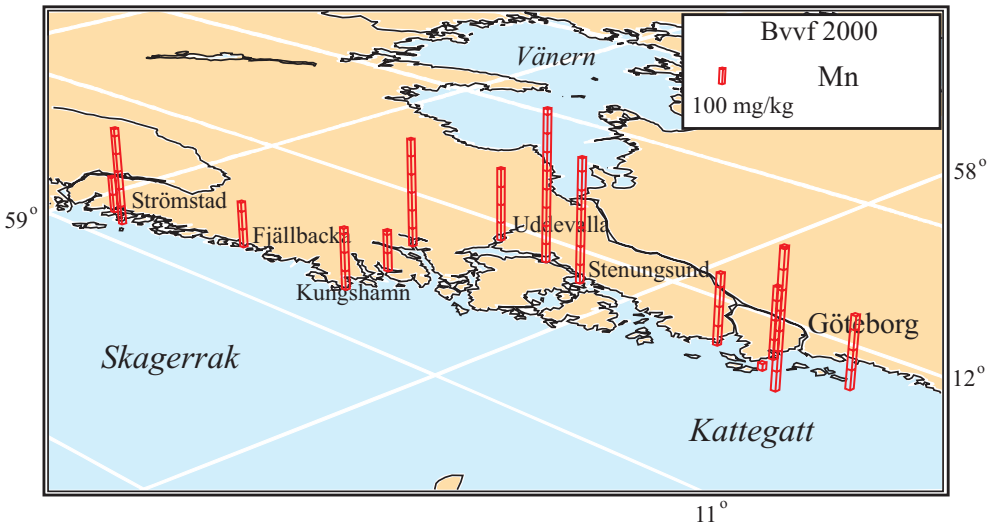


Fig. 2:51a. Fördelningen av mangan (Mn, mg/kg ts) i ytsediment (0–1 cm) utmed Bohuskusten 2000.
The distribution of manganese (Mn, mg/kg dw) in 2000 in the surficial sediments (0–1 cm) of the Bohus Coast.

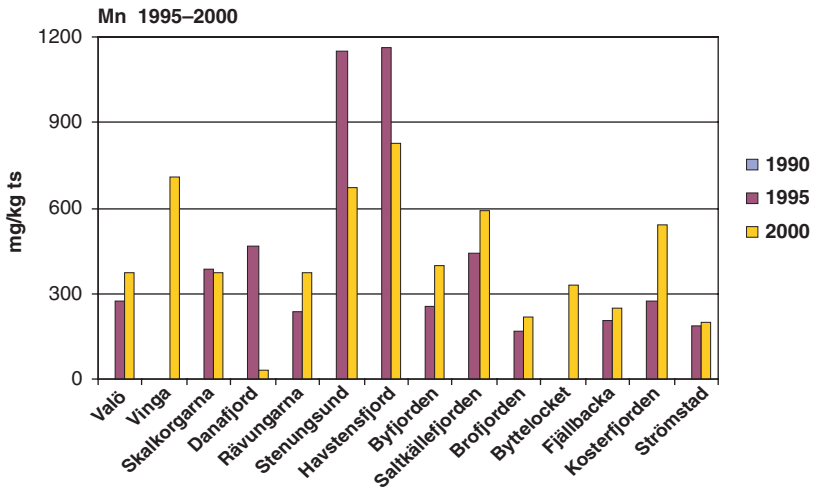


Fig. 2:51b. Koncentrationen av mangan (Mn, mg/kg ts) i ytsedimentet (0–1 cm) på respektive station utmed Bohuskusten 1995 och 2000.
The concentration of manganese (Mn, mg/kg dw) in the surficial sediments (0–1 cm) at each station along the Bohus Coast in 1995 and 2000 respectively.

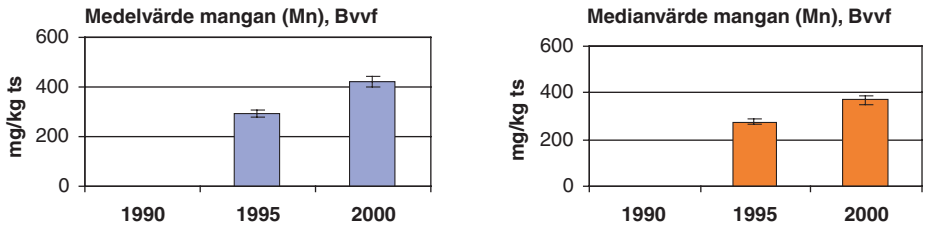


Fig. 2:51c. Medelvärden (t.v.) och medianvärden (t.h) för koncentrationen av mangan (Mn, mg/kg ts) i Bohuskustens ytsediment (0–1 cm) 1995–2000 (n = 14).
Mean (left) and median (right) values of the manganese (Mn, mg/kg dw) concentrations in 1995–2000 in the surficial sediments (0–1 cm) of the Bohus Coast (n = 14).

Förändringarna av sedimentens manganhalter mellan 1995 och 2000 års undersökningar illustreras i figur 2:51b. På samtliga stationer utom i Byfjorden och Havstensfjorden har manganhalterna ökat mellan 1995 och 2000. Minskningen är i medeltal 3 % (fig. 2:51c, tabell 2:14). En siffra som inte kan anses statistiskt signifikanta eftersom variationskoefficienten för Mn, till följd av ytsedimentens (0–2 cm) inhomogenitet har analyserats och beräknats till 16±3 % (Cato opubl.).

Koncentrationsminskningen sedan 1995 är också mindre än de minst ca 35 %, som baserat på blandningsfaktorn (se avsnitt 2.5), krävs för att en förändring med säkerhet skall kunna detekteras vid ett femårigt provtagningsintervall.

2.6.9.7 Nickel

Analysresultaten från 2000 års sedimentundersökningar avseende nickel (Ni) redovisas i tabell 2:13 tillsammans med motsvarande data från 1990 och 1995 års undersökningar. Ytsedimentens innehåll av Ni 1995 varierar mellan 16 och 26 mg/kg ts med ett medelvärde och medianvärde av 21 respektive 23 mg/kg ts (tabell 2:14). Den areella variationen av nickel i ytsedimentet (0–1 cm) illustreras i figur 2:52. Halterna ligger inom ett normalt intervall för Bohuskusten, Kattegatt och Skagerrak (tabell 2:26).

Enligt svenska bedömningsgrunder för kust- och havssediment (Naturvårdsverket 1999) uppvisar, med avseende på nickel, sedimenten utmed Bohuskusten *ingen/obetydlig avvikelse* (klass 1) från jämförvärdet, dvs. den naturliga nationella bakgrunden (se tabell 2:27). I jämförelse med 1990 och 1995 är miljökvaliteten i detta avseende oförändrat god.

Förändringarna av sedimentens nickelhalter mellan 1990, 1995 och 2000 års undersökningar illustreras i figur 2:53. På tre stationer (Danafjord, Brofjorden och Strömstad kan en svag minskning av halten noteras mellan 1995 och 2000. Övriga stationer uppvisar en ökning. Koncentrationsökningen är i medeltal 19 % sedan 1995 och 15 % sedan 1990 (fig. 2:54, tabell 2:14). Siffror som kan anses statistiskt signifikanta eftersom variationskoefficienten för Ni, till följd av ytsedimentens (0–2 cm) inhomogenitet har analyserats och beräknats till 8,4±4,8 % (Cato 1977). Förändringarna är dock mindre än de minst ca 35 %, som baserat på blandningsfaktorn (se avsnitt 2.5 ovan), krävs för att en förändring med säkerhet skall kunna detekteras vid ett femårigt provtagningsintervall.

Tabell 2:26. Spridning, medelvärden och medianvärden för koncentrationerna av nickel (Ni) i ytsediment i Skagerrak och Kattegatt.
Range and means of nickel (Ni) concentrations in the superficial sediments of the Skagerrak and Kattegat.

Område	År	Antal stationer (n)	Intervall Ni mg/kg	MV Ni mg/kg	Referens
Bakgrund		50		30	Naturvårdsverket 1999
VF kustvattenkontroll	1990	10	11–24	19	Cato 1992
”	1995	12	7,5–24	18	Cato 1997
”	2000	14	16–26	21	Cato 2006
Kungsbackafjorden	1992	11	2–25	15	Andreasson m.fl. 1992
VF Göta Älv	1990	2	11–18	15	Cato 1992
”	1995	2	5,7–21	13	Cato 1997
”	2000	2	9,6–22	16	Cato 2006
Stenungsund	1975	17	14–25	19	Edgren 1975
”	1995	17	9–26	21	Cato 1997
”	2000	14	14–26	21	Cato 2006
Gullmarsfjorden	1981	12	11–47	34	Joslin 1982
”	1987	12	12–27	23	Bornmalm 1987
”	1995	2	19–22	21	Cato 1997
”	2000	1	21	21	Cato 2006
Brofjorden	1977	23	8–22	17	Göthberg & Johansson 1981
”	1989	18	10–34	22	Cato 1990
”	1995	13	12–23	19	Cato 1997
”	2000	8	17–25	21	Cato 2006
Kattegatt	1987–91	24	13–32	22	Kuijpers m.fl. 1992
Skagerrak	1987–91	15	6–30	18	Kuijpers m.fl. 1992

Tabell 2:27. Ytsedimentens (0–1 cm) miljökvalitet utmed Bohuskusten 1990–2000 med avseende på kvicksilverhalten. Klassning enligt svenska bedömningsgrunder (Naturvårdsverket 1999).

The environmental quality of the surface sediments (0–1 cm) along the Bohus Coast with respect to the mercury content 1990–2000. Classification according to Swedish Environmental Quality Criteria (Naturvårdsverket 1999).

Station / År	Ni 1990	Ni 1995	Ni 2000
Valö	15	7,52	25
Vinga			25
Skalkorgarna	22	21,9	22
Danafjord	17	19,7	17
Rävungarna	11	11,9	16
Stenungsund	22	22,7	24
Havstensfjord	22	23,8	24
Byfjorden	20	17,4	20
Saltkällefjorden	19	19,8	20
Brofjorden	24	20,9	17
Byttelocket			26
Fjällbacka		12,9	23
Kosterfjorden	16	19,6	23
Strömstad		16,9	16

Metaller Avvikelse från jämförvärde	
Klass 1	Ingen obetydlig avvikelse
Klass 2	Liten avvikelse
Klass 3	Tydlig avvikelse
Klass 4	Stor avvikelse
Klass 5	Mycket stor avvikelse

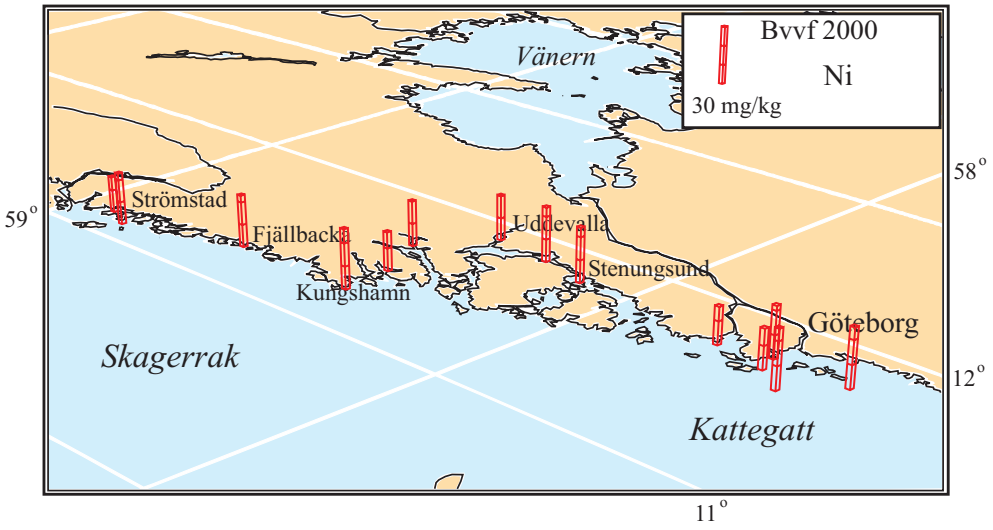


Fig. 2:52. Fördelningen av nickel (Ni, mg/kg ts) i ytsediment (0–1 cm) utmed Bohuskusten 2000.

The distribution of nickel (Ni, mg/kg dw) in 2000 in the surficial sediments (0–1 cm) of the Bohus Coast.

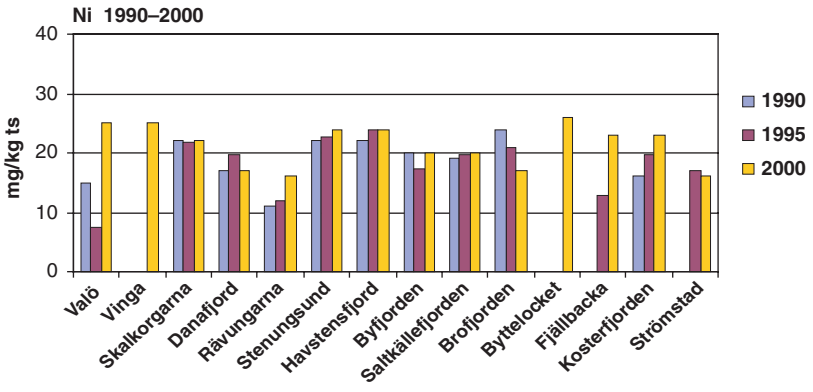


Fig. 2:53. Koncentrationen av nickel (Ni, mg/kg ts) i ytsedimentet (0–1 cm) på respektive station utmed Bohuskusten 1990–2000.

The concentration of nickel (Ni, mg/kg dw) in the surficial sediments (0–1 cm) at each station along the Bohus Coast in 1990–2000 respectively.

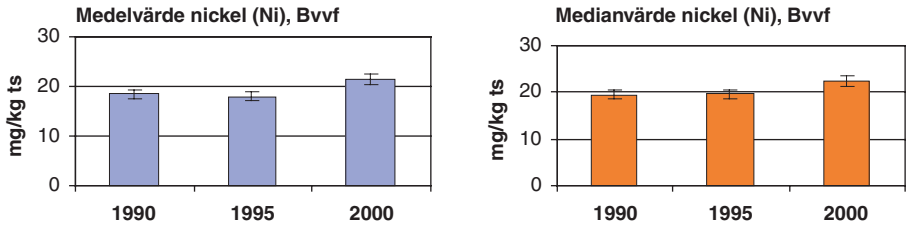


Fig. 2:54. Medelvärden (t.v.) och medianvärden (t.h) för koncentrationen av nickel (Ni, mg/kg ts) i Bohuskustens ytsediment (0–1 cm) 1990–2000 (n = 14).

Mean (left) and median (right) values of the nickel (Ni, mg/kg dw) concentrations in 1990–2000 in the surficial sediments (0–1 cm) of the Bohus Coast (n = 14).

2.6.9.8 Bly

Analysresultaten från 2000 års sedimentundersökningar avseende bly (Pb) redovisas i tabell 2:13 tillsammans med motsvarande data från 1990 och 1995 års undersökningar. Ytsedimentens innehåll av bly 2000 varierar mellan 26 och 42 mg/kg ts med ett medelvärde och medianvärde av 35 mg/kg ts (tabell 2:14). Den areella variationen av bly i ytsedimentet (0–1 cm) illustreras i figur 2:55. Högst värden påträffades utanför Göteborg (Valö, Vinga) och Kungshamn (Byttelocket). Göteborg (Skalkorgarna) uppvisade även de högsta halterna vid 1990 och 1995 års undersökningar (Cato 1992, 1997a).

Halterna ligger i nivå med andra områden längs Bohuskusten, men högre än i Skagerrak och Kattegatt (se tabell 2:28).

Tabell 2:28. Spridning och medelvärden för koncentrationerna av bly i ytsediment i Skagerrak och Kattegatt.

Range and means of bly concentrations in the superficial sediments of the Skagerrak and Kattegat.

Område	År	Antal stationer (n)	Intervall Pb mg/kg	MV Pb mg/kg	Referens
Bakgrund		50		25	Naturvårdsverket 1999
VF kustvattenkontroll	1990	10	25–44	32	Cato 1992
”	1995	12	18–41	30	Cato 1997
”	2000	14	26–42	35	Cato 2006
Göta älv	1990	2	11–56	34	Cato 1990
”	1995	2	9,7–42	26	Cato 1997
”	2000	2	19–43	31	Cato 2006
Kungsbackafjorden	1992	11	2–16	8.6	Andreasson m.fl. 1992
Stenungsund	1975	46	12–50	32	Edgren 1975
”	1981	42	11–54	32	Edgren 1975
”	1985	26	13–77	30	Cato 1986b
”	2000	14	12–36	25	Cato 2006
Gullmarsfjorden	1981	12	20–50	39	Joslin 1982
”	1987	12	21–32	27	Bornmalm 1987
”	1995	2	29–33	31	Cato 1997
”	2000	1	29	29	Cato 2006
Brofjorden	1977	23	18–88	40	Göthberg & Johansson 1981
”	1989	18	4–63	29	Cato 1990
”	1995	13	9,2–38	28	Cato 1997
”	2000	8	17–44	33	Cato 2006
Idefjorden	1975	11	53–210	115	Olausson opubl
Hvaler-Koster området	1989	32	18–80	39	Helland m.fl. 1990
Kattegatt	1987–91	33	5–37	20	Kuijpers m.fl. 1992
Skagerrak	1987–91	80	2–33	18	Kuijpers m.fl. 1992

Enligt svenska bedömningsgrunder för kust- och havssediment (Naturvårdsverket 1999) uppvisar sedimenten utanför Göteborg (Valö och Byttelocket) och Kungshamn (Byttelocket) en *tydlig avvikelse* (klass 3) med avseende på kvicksilver och på övriga stationer *ingen/obetydlig avvikels* till *liten avvikelse* (klasserna 1 och 2) från jämförvärdet, dvs. den naturliga nationella bakgrunden (se tabell 2:29). I jämförelse med 1990 och 1995 är miljökvaliteten i detta avseende något sämre på berörda stationer medan den är relativt oförändrad på övriga stationer.

Förändringarna av sedimentens blyhalter mellan 1990, 1995 och 2000 års undersökningar illustreras i figur 2:56. På cirka hälften av stationerna har blyhalten minskat och på övriga har blyhalten ökat mellan 1995 och 2000. I medeltal har halterna ökat med 14 % (fig. 2:57, tabell 2:14) sedan 1995 och 7 % sedan 1990. Siffror som kan anses statistiskt signifikanta eftersom variationskoefficienten för Pb, till följd av ytsedimentens (0–2 cm) inhomogenitet har analyserats och beräknats till 6,1±5,9 % (Cato 1977). Förändringen är dock mindre än de minst ca 35 %, som baserat på blandningsfaktorn (se avsnitt 2.5), krävs för att en förändring med säkerhet skall kunna detekteras vid ett femårigt provtagningsintervall.

Tabell 2:29 Ytsedimentens (0–1 cm) miljökvalitet utmed Bohuskusten 1990–2000 med avseende på blyhalten. Klassning enligt svenska bedömningsgrunder (Naturvårdsverket 1999).

The environmental quality of the surface sediments (0–1 cm) along the Bohus Coast with respect to the lead content 1990–2000. Classification according to Swedish Environmental Quality Criteria (Naturvårdsverket 1999).

Station / År	Pb 1990	Pb 1995	Pb 2000
Valö	28	17,5	42
Vinga			41
Skalkorgarna	44	41,1	37
Danafjord	30	36,8	35
Rävungarna	25	24,4	26
Stenungsund	27	29,5	28
Havstensfjord	35	35,6	35
Byfjorden	27	24,7	32
Saltkällefjorden	37	39,9	38
Brofjorden	36	27,4	32
Byttelocket			40
Fjällbacka		19,4	29
Kosterfjorden	26	31,3	33
Strömstad		36,7	35

Metaller Avvikelse från jämförvärde	
Klass 1	Ingen obetydlig avvikelse
Klass 2	Liten avvikelse
Klass 3	Tydlig avvikelse
Klass 4	Stor avvikelse
Klass 5	Mycket stor avvikelse

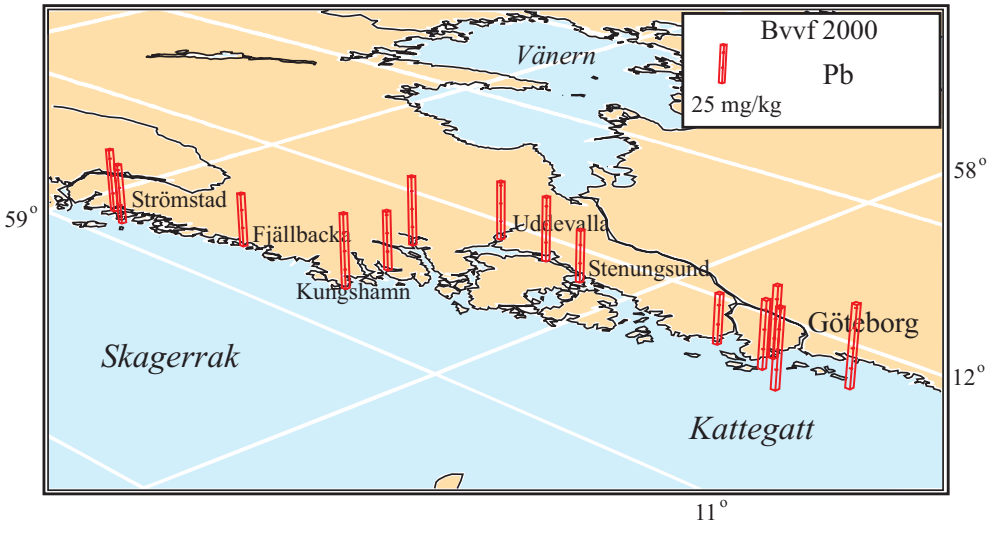


Fig. 2:55. Fördelningen av bly (Pb, mg/kg ts) i ytsediment (0–1 cm) utmed Bohuskusten 2000.

The distribution of lead (Pbi, mg/kg dw) in 2000 in the surficial sediments (0–1 cm) of the Bohus Coast.

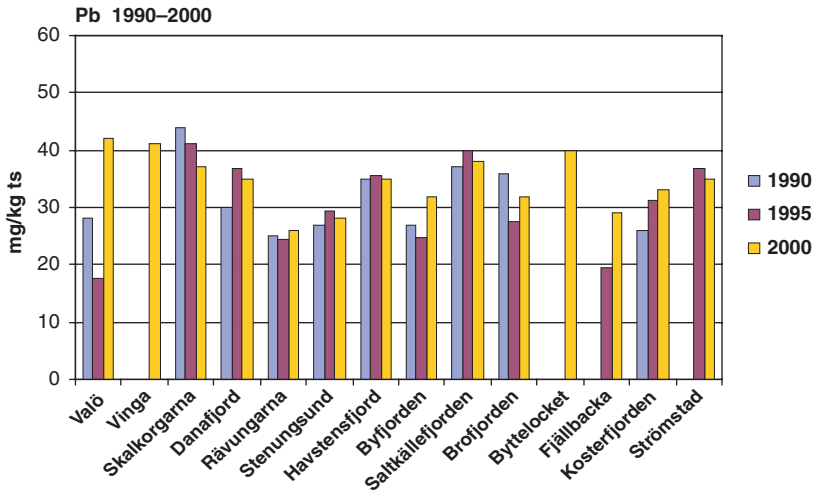


Fig. 2:56. Koncentrationen av bly (Pb, mg/kg ts) i ytsedimentet (0–1 cm) på respektive station utmed Bohuskusten 1990–2000.
The concentration of lead (Pb, mg/kg dw) in the surficial sediments (0–1 cm) at each station along the Bohus Coast in 1990–2000 respectively.

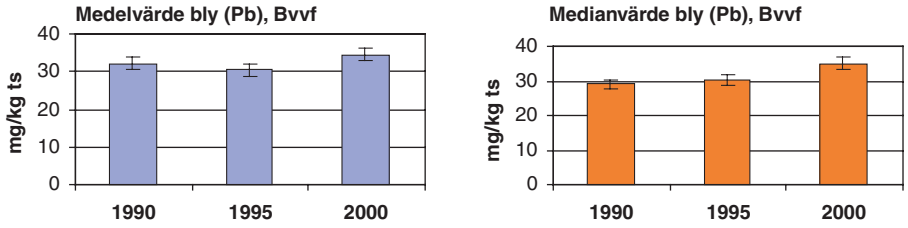


Fig. 2:57. Medelvärden (t.v.) och medianvärden (t.h) för koncentrationen av bly (Pb, mg/kg ts) i Bohuskustens ytsediment (0–1 cm) 1990–2000 (n = 14).
Mean (left) and median (right) values of the lead (Pb, mg/kg dw) concentrations in 1990–2000 in the surficial sediments (0–1 cm) of the Bohus Coast (n = 14).

2.6.9.9 Tenn

Analysresultaten från 2000 års sedimentundersökningar avseende tenn (Sn) redovisas i tabell 2:13 tillsammans med motsvarande data från 1990 och 1995 års undersökningar. Ytsedimentens innehåll av tenn 2000 varierar mellan 2,9 och 5,8 mg/kg ts med ett medelvärde och medianvärde av 4,2 respektive 4,0 mg/kg ts (tabell 2:14). Den areella variationen av tenn i ytsedimentet (0–1 cm) illustreras i figur 2:58. Högst värden påträffades på stationerna Stenungsund, Havstensfjorden, Brofjorden och Strömstad. Flera av dessa stationer uppvisade också de högsta halten vid 1990 och 1995 års undersökningar (Cato 1992, 1997a).

Svenska bedömningsgrunder i kust- och havssediment saknas för tenn. Dock kan konstateras att halterna ligger i nivå med andra områden utmed Bohuskusten, men högre än öppna Skagerrak och Kattegatt (se tabell 2:30).

Tabell 2:30. Spridning och medelvärden för koncentrationerna av tenn i ytsediment i Skagerrak och Kattegatt.
Range and means of tin concentrations in the superficial sediments of the Skagerrak and Kattegat.

Område	År	Antal stationer (n)	Intervall Sn mg/kg	MV Sn mg/kg	Referens
Bakgrund		70	0,97–5,8	1,1	Konitzer in prep
VF kustvattenkontroll	1990	10	0,2–2,9	1,4	Cato 1992
”	1995	12	1–9,9	3,7	Cato 1997
”	2000	14	2,9–5,8	4,2	Cato 2006
Göta älv	1990	2	<0,2–2,6	<1,4	Cato 1997
”	1995	2	1–5,2	3,1	Cato 1997
”	2000	2	<1–5,9	3,5	Cato 2006
Stenungsund	1995	17	1,9–6	4,5	Cato 1997
”	2000	14	2,0–4,8	3,9	Cato 2006
Gullmarsfjorden	1995	2	2,4–3,0	2,7	Cato 1997
”	2000	1	2,9	2,9	Cato 2006
Brofjorden	1989	7	<0,4–1,8	1,2	Cato 1990
”	2000	8	2,2–5	3,5	Cato 2006
Skagerrak-Kattegatt	1987–91	149	0,95–4,5	1,25	Cato 1997b

Förändringarna av sedimentens tennhalter mellan 1990, 1995 och 2000 års undersökningar illustreras i figur 2:59. På samtliga stationer, utom Danafjord och Byfjorden, har tennhalten ökat mellan 1995 och 2000. Ökningen är i medeltal 15 % (fig. 2:60, tabell 14). Sedan 1990 har tennhalten ökat 215 %. Det är dock inte troligt att ökningen i det senare fallet beror på ökad tillförsel av tenn. Därtill är skillnaderna alltför stora. Mer troligt är att skillnaderna till största delen beror på skillnader i analysteknik vid de två laboratorier som utfört tennanalyserna vid 1990 respektive 1995 och 2000 års undersökningar. Alternativt har båtbottenfärger innehållande TBT ökat i sedimenten.

Skillnaden mellan 1995 och 2000 kan anses statistiskt signifikant eftersom variationskoefficienten för Sn, till följd av ytsedimentens (0–2 cm) inhomogenitet torde vara högst 10±2 % om man jämför med övriga metaller. Förändringen är dock mindre än de minst ca 35 %, som baserat på blandningsfaktorn (se avsnitt 2.5 ovan), krävs för att en förändring med säkerhet skall kunna detekteras vid ett femårigt provtagningsintervall. En säkrare bedömning av trenden vad avser tenn kan inte göras förrän efter nästa provtagningsomgång. I nuvarande läge råder alltför stor osäkerhet om 1990 års data.

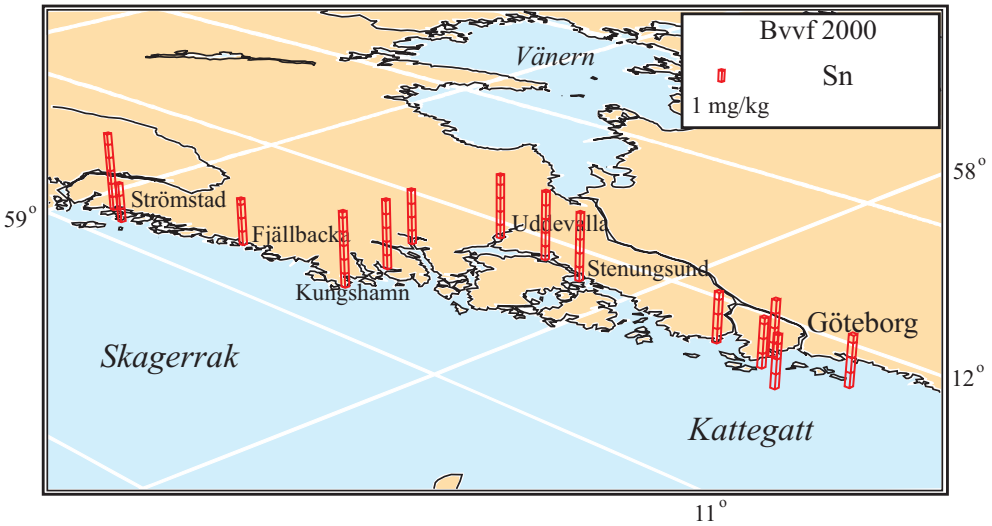


Fig. 2:58. Fördelningen av tenn (Sn, mg/kg ts) i ytsediment (0–1 cm) utmed Bohuskusten 2000.
The distribution of tin (Sn, mg/kg dw) in 2000 in the surficial sediments (0–1 cm) of the Bohus Coast.

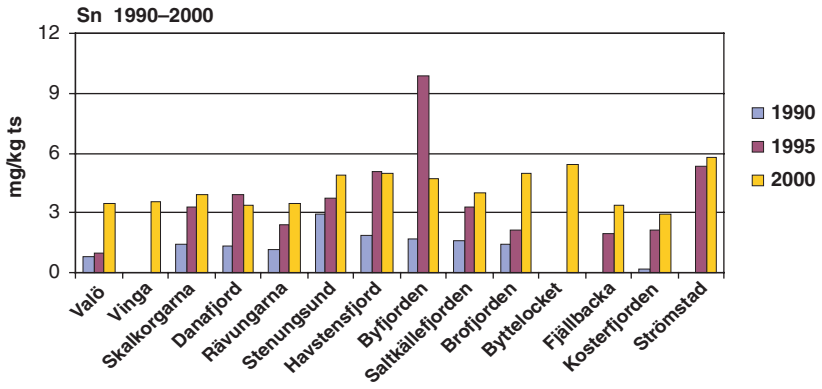


Fig. 2:59. Koncentrationen av tenn (Sn, mg/kg ts) i ytsedimentet (0–1 cm) på respektive station utmed Bohuskusten 1990–2000.
The concentration of tin (Sn, mg/kg dw) in the surficial sediments (0–1 cm) at each station along the Bohus Coast in 1990–2000 respectively.

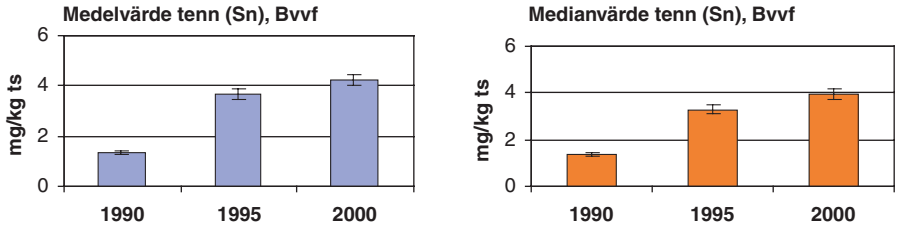


Fig. 2:60. Medelvärden (t.v.) och medianvärden (t.h) för koncentrationen av tenn (Sn, mg/kg ts) i Bohuskustens ytsediment (0–1 cm) 1990–2000 (n = 14).
Mean (left) and median (right) values of the tinl (Sn, mg/kg dw) concentrations in 1990–2000 in the surficial sediments (0–1 cm) of the Bohus Coast (n = 14).

2.6.9.10 Vanadin

Analysresultaten från 2000 års sedimentundersökningar avseende vanadin (V) redovisas i tabell 2:13 tillsammans med motsvarande data från 1990 och 1995 års undersökningar. Ytsedimentens innehåll av vanadin 1995 varierar mellan 32 och 85 mg/kg ts med ett medelvärde och medianvärde av 62 respektive 65 mg/kg ts (tabell 2:14). Den areella variationen av vanadin i ytsedimentet (0–1 cm) illustreras i figur 2:61. Högst värden påträffades på stationerna i Havstensfjorden och Saltkällefjorden. Dessa fjordar uppvisade även de högsta halterna vid 1990 och 1995 års undersökningar (Cato 1992, 1997a).

Svenska bedömningsgrunder i kust- och havssediment saknas för vanadin. Dock kan konstateras att halterna ligger i nivå med andra områden utmed Bohuskusten (se tabell 2:31).

Förändringarna av sedimentens vanadininnehåll mellan 1990, 1995 och 2000 års undersökningar illustreras i figur 2:62. På samtliga stationer utom Valö och Stenungsund ökade vanadinhalterna mellan 1990 och 1995. Denna ökning har fortsatt på fem stationer mellan 1995 och 2000 samtidigt som några stationer uppvisar en koncentrationsminskning. Ökningen mellan 1995 och 2000 är i medeltal 5 % (fig. 2:63, tabell 2:14). Sedan 1990 har vanadinhalten ökat med 18 %. Den senare siffran kan anses statistiskt signifikant eftersom variationskoefficienten för vanadin, till följd av ytsedimentens (0–2 cm) inhomogenitet, bör motsvara övriga tungmetallers variation i detta avseende, dvs. ligga under 10 % (jfr Cato 1977). Förändringen är dock mindre än de minst ca 35 %, som baserat på blandningsfaktorn (se avsnitt 2.5 ovan), krävs för att en förändring med säkerhet skall kunna detekteras vid ett femårigt provtagningsintervall.

Tabell 2:31. Spridning och medelvärden för koncentrationerna av vanadin (V) i ytsediment i Skagerrak och Kattegatt.

Range and means of vanadium (V) concentrations in the superficial sediments of the Skagerrak and Kattegat.

Område	År	Antal stationer (n)	Intervall V mg/kg	MV V mg/kg	Referens
VF kustvattenkontroll	1990	10	28–66	51	Cato 1992
”	1995	12	27–92	59	Cato 1997
”	2000	14	32–85	62	Cato 2006
VF Göta Älv	1990	2	36–39	38	Cato 1992
”	1995	2	24–62	43	Cato 1997
”	2000	2	28–54	41	Cato 2006
Gullmarsfjorden	1981	12	24–220	132	Joslin 1982
”	1987	12	37–93	66	Bornmalm 1987
”	1995	2	74–87	81	Cato 1997
”	2000	1	26	26	Cato 2006
Stenungsund	1985	26	17–58	47	Cato 1986b
”	1995	17	35–82	69	Cato 1997
”	2000	14	39–83	60	Cato 2006
Brofjorden *	1972	16	10–25	18	Cato m.fl. 1986
” *	1984	18	10–62	25	Cato m.fl. 1986
” *	1989	18	33–120	91	Cato 1990
”	1995	13	35–70	57	Cato 1997
”	2000	8	45–65	53	Cato 2006
Skagerrak-Kattegatt**	1989–92	213	18–183	89	Cato 1997b

* = ej analyserat enligt SIS. Not analysed according to SIS.
**= Totalanalys. Total analysis.

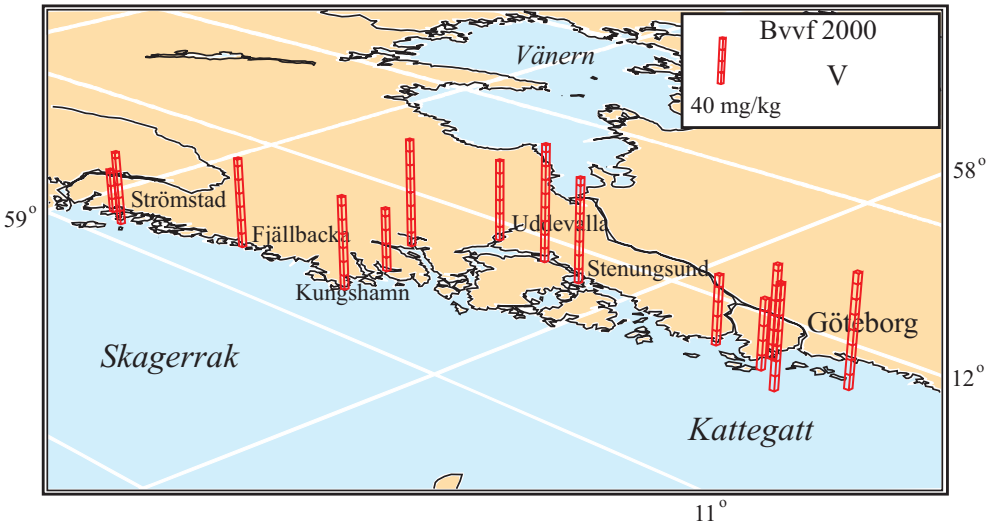


Fig. 2:61. Fördelningen av vanadin (V, mg/kg ts) i ytsediment (0–1 cm) utmed Bohuskusten 2000.

The distribution of vanadium (V, mg/kg dw) in 2000 in the surficial sediments (0–1 cm) of the Bohus Coast.

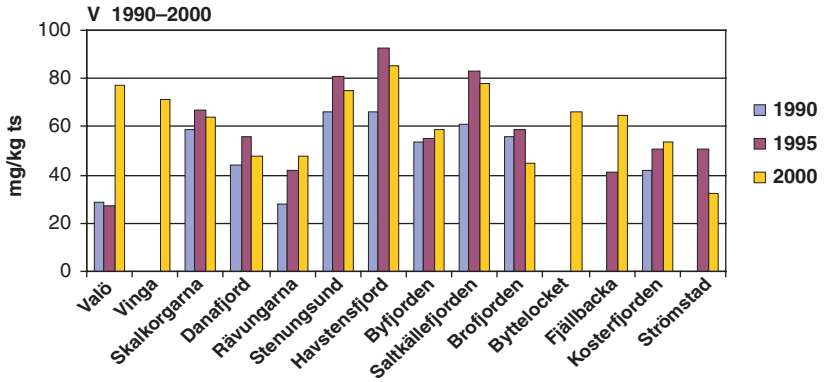


Fig. 2:62. Koncentrationen av vanadin (V, mg/kg ts) i ytsedimentet (0–1 cm) på respektive station utmed Bohuskusten 1990–2000.

The concentration of vanadium (V, mg/kg dw) in the surficial sediments (0–1 cm) at each station along the Bohus Coast in 1990–2000 respectively.

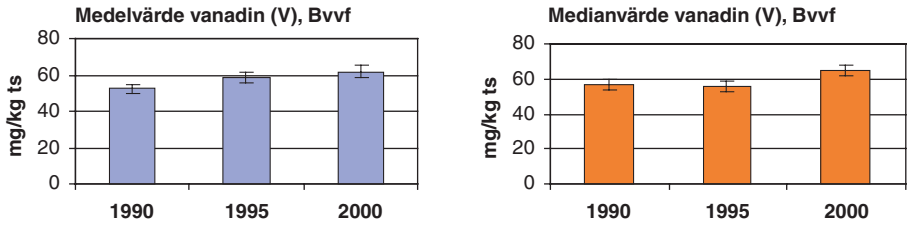


Fig. 2:63. Medelvärden (t.v.) och medianvärden (t.h) för koncentrationen av vanadin (V, mg/kg ts) i Bohuskustens ytsediment (0–1 cm) 1990–2000 (n = 14).

Mean (left) and median (right) values of the vanadiuml (V, mg/kg dw) concentrations in 1990–2000 in the surficial sediments (0–1 cm) of the Bohus Coast (n = 14).

2.6.9.11 Zink

Analysresultaten från 2000 års sedimentundersökningar avseende zink (Zn) redovisas i tabell 2:13 tillsammans med motsvarande data från 1990 och 1995 års undersökningar. Ytsedimentens innehåll av zink 2000 varierar mellan 67 och 140 mg/kg ts med ett medelvärde och medianvärde av 94 mg/kg ts (tabell 14). Den areella variationen av zink i ytsedimentet (0–1 cm) illustreras i figur 2:64. Högst värden påträffades på stationerna Havstensfjord, Byfjorden och Brofjorden. Dessa stationer uppvisade även de högsta halterna vid 1990 och 1995 års undersökningar (Cato 1992, 1997a).

Enligt svenska bedömningsgrunder för kust- och havssediment (Naturvårdsverket 1999) uppvisar sedimenten i Havstensfjord en *tydlig avvikelse* (klass 3) med avseende på zink och på övriga stationer *ingen/obetydlig avvikelse* till *liten avvikelse* (klasserna 1 och 2) från jämförvärdet, dvs. den naturliga nationella bakgrunden (se tabell 2:31). I jämförelse med 1990 och 1995 är miljökvaliteten i detta avseende oförändrad på berörda station medan en viss förbättring kan noteras på övriga stationer. Dock kan konstateras att halterna ligger i nivå med andra områden längs Bohuskusten, men högre än i Skagerrak och Kattegatt (se tabell 2:32).

Förändringarna av sedimentens zinkhalter mellan 1990, 1995 och 2000 års undersökningar illustreras i figur 2:65. På samtliga stationer utom i Valö och Brofjorden har zinkhalterna ökat mellan 1990 och 1995. Mellan 1995 och 2000 har halterna minskat på samtliga stationer utom Valö. Minskningen är i medeltal 21 % (fig. 2:66, tabell 2:14). Sedan 1990 har halterna sjunkit med 17 %. Siffror som kan anses statistiskt signifikant eftersom variationskoefficienten för Zn, till följd av ytsedimentens (0–2 cm) inhomogenitet har analyserats och beräknats till 5,3±3,4 % (Cato 1977). Förändringen är dock mindre än de minst ca 35 %, som baserat på blandningsfaktorn (se avsnitt 2.5), krävs för att en förändring med säkerhet skall kunna detekteras vid ett femårigt provtagningsintervall.

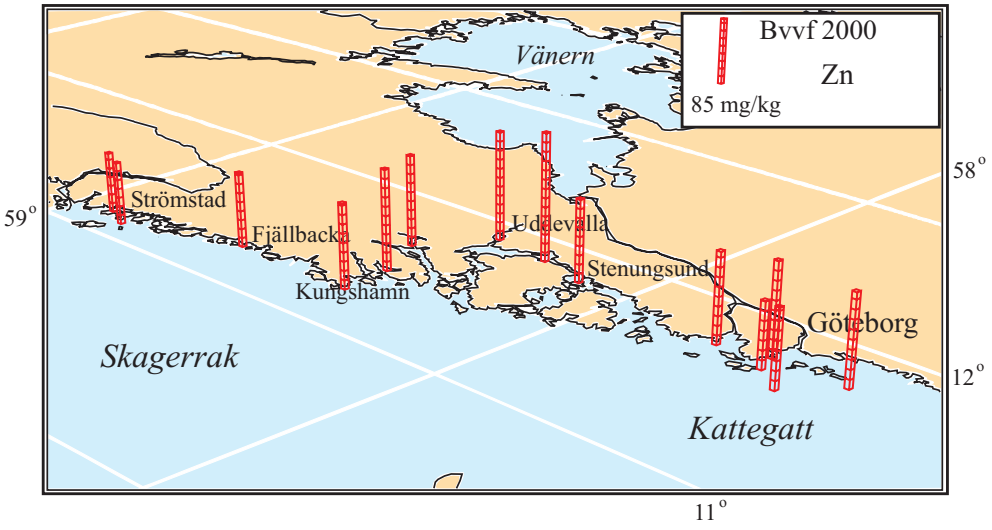


Fig. 2:64. Fördelningen av zink (Zn, mg/kg ts) i ytsediment (0–1 cm) utmed Bohuskusten 2000.

The distribution of zinc (Zn, mg/kg dw) in 2000 in the surficial sediments (0–1 cm) of the Bohus Coast.

Tabell 2:31 Ytsedimentens (0–1 cm) miljökvalitet utmed Bohuskusten 1990–2000 med avseende på zinkhalten. Klassning enligt svenska bedömningsgrunder (Naturvårdsverket 1999).

The environmental quality of the surface sediments (0–1 cm) along the Bohus Coast with respect to the zinc content 1990–2000. Classification according to Swedish Environmental Quality Criteria (Naturvårdsverket 1999).

Station / År	Zn 1990	Zn 1995	Zn 2000
Valö	77	50	97
Vinga			83
Skalkorgarna	133	148	100
Danafjord	85	105	70
Rävungarna	93	112	96
Stenungsund	114	140	90
Havstensfjord	138	166	140
Byfjorden	128	160	120
Saltkällefjorden	140	153	100
Brofjorden	110	112	110
Byttelocket			92
Fjällbacka		87	82
Kosterfjorden	66	96	69
Strömstad		99	67

Metaller Avvikelse från jämförvärde	
Klass 1	Ingen obetydlig avvikelse
Klass 2	Liten avvikelse
Klass 3	Tydlig avvikelse
Klass 4	Stor avvikelse
Klass 5	Mycket stor avvikelse

Tabell 2:32. Spridning och medelvärden för koncentrationerna av zink i ytsediment i Skagerrak och Kattegatt.

Range and means of zinc concentrations in the superficial sediments of the Skagerrak and Kattegat.

Område	År	Antal stationer (n)	Intervall Zn mg/kg	MV Zn mg/kg	Referens
Bakgrund		50		85	Naturvårdsverket 1999
VF kustvattenkontroll	1990	10	66–140	108	Cato 1992
”	1995	12	50–166	119	Cato 1997
”	2000	14	67–140	94	Cato 2006
VF Göta Älv	1990	2	64–203	134	Cato 1992
”	1995	2	64–203	134	Cato 1997
”	2000	2	90–130	110	Cato 2006
Kungsbackafjorden	1992	11	18–142	84	Andreasson m.fl. 1992
Gullmarsfjorden	1981	12	40–190	134	Joslin 1982
”	1987	12	105–168	138	Bornmalm 1987
”	1995	2	123–152	138	Cato 1997
”	2000	1	70	70	Cato 2006
Stenungsund	1975	17	100–160	144	Edgren 1975
”	1995	17	61–155	127	Cato 1997
”	2000	14	49–98	77	Cato 2006
Brofjorden	1977	23	61–220	137	Göthberg & Johansson 1981
”	1989	18	66–210	122	Cato 1990
”	1995	13	76–150	118	Cato 1997
”	2000	8	71–110	88	Cato 2006
Idefjorden	1975	11	107–1380	535	Olausson opubl
Kattegatt	1987–91	33	30–142	80	Kuijpers m.fl. 1992
Skagerrak	1987–91	80	9–190	75	Kuijpers m.fl. 1992

2.6.10 TUNGMETALLBELASTNINGEN OCH DESS FÖRÄNDRING EFTER 1990

Det är speciellt det organiska materialet, vilket förr eller senare deponeras på botten, som normalt har en mycket stor förmåga att koncentrera och binda tungmetaller (se del 1, avsnitt 1.3). Detta innebär att en hög metallkoncentration på en station kan vara orsakad enbart av en hög organisk halt i sedimenten, vilket i sin tur ofta återspeglar sedimentationsmiljön. Det organiska materialet sedimenterar företrädesvis i områden skyddade från kraftiga strömmar och kraftig vågomröring samt utanför flodmynningar. I det senare fallet bottenfälls det organiska materialet genom att det i suspension, från floder och avlopp, uttransporterade materialet flockuleras i mötet med det salta havsvattnet.

För att eliminera dessa naturliga variationer i syfte att på ett objektivt sätt utröna tungmetallbelastningen på vattenvårdsförbundets sedimentstationer för kustvattenkontroll och om denna belastning har förändrats

sedan 1990 och 1995 års undersökning har den s.k. Gradientmetoden utnyttjats (Cato 1977, 1989, se även del 1, avsnitt 1.3). Observera att nya beräkningar gjorts på 1990 års material till följd av förändringarna i stationsnätet, dvs. de gradientdata som presenterades i föregående sedimentrapport (Cato 1992) är inte aktuella i denna jämförande studie eftersom vissa stationer utgått och andra kommit till. I syfte att skapa största möjliga jämförbarhet nu och framöver har därför enbart beräkningar gjorts utifrån de stationer som ingick i 1995 års kontrollprogram och senare.

Tabell 2:33. Korrelationskoefficienter (r) för det linjära sambandet mellan några tungmetaller och totalt organiskt kol (TOC) i ytsediment (0–1 cm) från Bohuskusten åren 1990–2000, samt motsvarande samband till kornstorleksfraktionen <63 µm.

The linear correlation coefficients (r) for the relationship between some heavy metals and total organic carbon (TOC), and the corresponding relationship to the grain-size fraction <63 µm in the surficial sediments (0–1 cm) of the Bohus Coast in the years 1990–2000.

Metall	1990 TOC n = 10 r	1995 TOC n = 12 r	2000 TOC n = 14	1995 <63 µm n = 12 r	2000 <63 µm n = 14 r
As	0,45	0,36	0,03	0,37	0,3
Cd	0,28	0,30	0,70	0,03	0,21
Cr	0,56	0,67	0,19	0,82	0,34
Cu	0,45	0,68	0,77	0,67	0,25
Hg	0,45	0,27	0,80	0,29	0,04
Ni	0,79	0,62	0,19	0,71	0,38
Pb	0,76	0,36	0,02	0,54	0,08
Sn	0,44	0,68	0,64	0,42	0,49
V	0,76	0,62	0,02	0,72	0,57
Zn	0,74	0,91	0,78	0,88	0,67

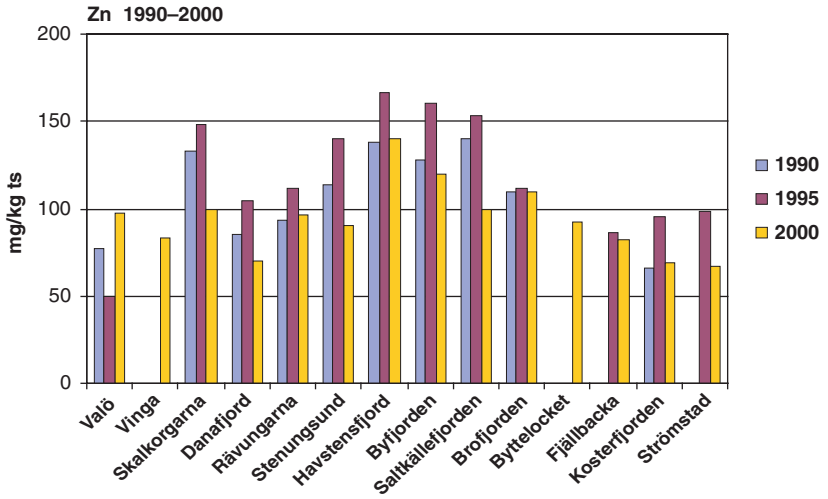


Fig. 2:65. Koncentrationen av zink (Zn, mg/kg ts) i ytsedimentet (0–1 cm) på respektive station utmed Bohuskusten 1990–2000.

The concentration of zinc (Zn, mg/kg dw) in the surficial sediments (0–1 cm) at each station along the Bohus Coast in 1990–2000 respectively.

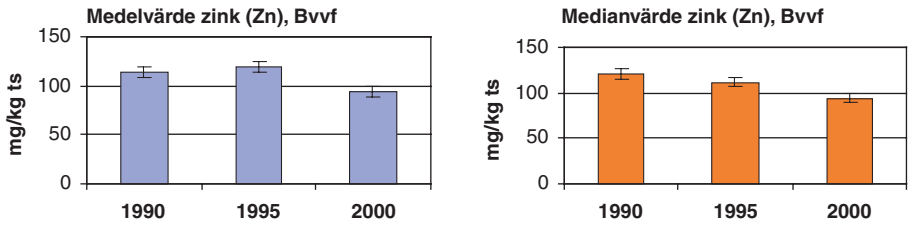


Fig. 2:66. Medelvärden (t.v.) och medianvärden (t.h) för koncentrationen av zink (Zn, mg/kg ts) i Bohuskustens ytsediment (0–1 cm) 1990 2000 (n = 14).

Mean (left) and median (right) values of the zinc (Zn, mg/kg dw) concentrations in 1990–2000 in the surficial sediments (0–1 cm) of the Bohus Coast (n = 10).

Resultaten från undersökningarna 2000 visar att Cd, Cu, Hg, Sn och Zn är associerade med det organiska materialet (uttryckt som totalt organiskt kol). Korrelationskoefficienterna för de positiva och approximativt linjära sambanden med godtagbar signifikans finns redovisade i tabellerna 2:33 och 2:34. I tabellerna redovisas motsvarande data från de tidigare undersökningsomgångarna.

Tabell 2:34. De linjära sambanden mellan några tungmetaller och organiskt kol i ytsedimenten (0–2 cm) från Bohuskusten 1990, 1995 och 2000. Observerad t-fördelning (t_s) med (n–2) frihetsgrader. P är den observerade sannolikheten. r är korrelationskoefficienten.

The linear relationships between some heavy metals and organic carbon in the surficial sediments (0–2 cm) along the Bohus Coast. Sweden in 1990, 1995 and 2000. Observed t-distribution (t_s) with (n–2) degrees of freedom. P is the observed probability and r the correlation coefficient.

y mg/kg	År	x g/kg	Linjärt samband	r	n	t_s	p
As	1990	org C	y=0,26x+3,3	0,45	10	1,425	0,05<p<0,1
	1995		y=0,53x+2,5	0,36	12	1,22	0,1<p<0,25
	2000		y=−0,07x+12	−0,03	14	0,104	p<0,25
Cd	1990	org C	y=0,52x+23	0,28	10	0,825	0,1<p<0,25
	1995		y=0,004x+0,08	0,30	12	0,994	0,1<p<0,25
	2000		y=0,16x−0,25	0,70	14	3,396	0,001<p<0,005
Cr	1990	org C	y=0,71x+14	0,56	10	1,912	0,025<p<0,05
	1995		y=0,76x+13	0,67	12	2,854	0,005<p<0,01
	2000		y=−0,16x+39	−0,19	14	0,670	p<0,25
Cu	1990	org C	y=0,57x+8	0,45	10	1,425	0,05<p<0,1
	1995		y=0,67x+3,8	0,68	12	2,933	0,005<p<0,01
	2000		y=0,40x+12	0,77	14	4,181	p<0,001
Hg	1990	org C	y=0,0096x	0,45	10	1,425	0,05<p<0,1
	1995		y=0,0044x+0,06	0,27	12	0,887	0,1<p<0,25
	2000		y=0,014x00,26	0,80	14	4,619	p<0,001
Ni	1990	org C	y=0,54x+4,5	0,79	10	3,644	0,001<p<0,005
	1995		y=0,42x+7,1	0,62	12	2,499	0,01<p<0,025
	2000		y=−0,085x+24	−0,19	14	0,670	p<0,25
Pb	1990	org C	y=0,81x+10	0,76	10	3,307	0,001<p<0,005
	1995		y=0,40x+20	0,36	12	1,22	0,1<p<0,25
	2000		y=−0,014x+35	0,02	14	0,0693	p<0,25
Sn	1990	org C	y=0,052x+0,05	0,44	10	1,386	0,05<p<0,1
	1990		y=0,23x−2,1	0,68	12	2,933	0,005<p<0,01
	2000		y=0,62x+2,2	0,64	14	2,885	0,01<p<0,005
V	1995	org C	y=1,82x+2,5	0,76	10	3,307	0,001<p<0,005
	1990		y=1,67+16	0,62	12	2,499	0,01<p<0,025
	2000		Y=−0,012x+62	−0,02	14	0,0693	<0,25
Zn	1990	org C	y=3,3x+20	0,74	10	3,112	0,005<p<0,01
	1995		y=4,5x+5	0,91	12	6,941	p<0,001
	2000		y=1,2x+50	0,78	14	4,318	p<0,001

När det gäller As, Cr, Ni, Pb och V så föreligger, till skillnad från tidigare år, inga samband år 2000. I tabell 2:33 redovisas också korrelationen till kornstorleksfraktionen <63 µm vad avser undersökningen år 2000. Av tabellen framgår det att styrkan på sambanden med organiskt kol varierar mellan de olika åren och mellan de olika metallerna. Detta beror ofta på något enstaka värde som avviker i metallpopulationen. I några fall (kadmium och tenn) är sambanden starkare mellan metallerna och fraktionen <63 µm, än mellan metallerna och organiskt kol 2000. Detta beror på en kombination av dels det samband som föreligger mellan organiskt material och kornstorleksfraktionen <63 µm, vilket ger en sekundäreffekt som förstärker sambandet, dels på att vissa metaller ingår med en större andel i sedimentkornens mineralgitter. I figurerna 2:67 och 2:68 a och b illustreras två exempel vardera på relationen mellan tungmetall och organiskt kol respektive tungmetall och kornstorleksfraktionen <63 µm i ytsedimenten (0–1 cm) utmed Bohuskusten 1995.

De beräknade belastningsgradienterna för respektive metall och undersökningsår redovisas i tabell 2:35. Den i flera fall negativa korrelationen mellan metall och organiskt material har medfört att ingen gradient har varit möjlig att beräkna för dessa metaller (As, Cr, Ni, Pb och V).

I den högra kolumnen i tabellen redovisas referensgradienter hämtade från ytsediment i Brofjorden. För kvicksilver och vanadin baseras denna på undersökningar som utfördes i Brofjorden 1972, dvs. före etableringen av oljeraffinaderiet Scanraff. Dessa gradienter kan därför betraktas som en naturlig, antropogent opåverkad gradient för vanadin respektive en endast diffust påverkad gradient vad gäller kvicksilver. Gradienter större än dessa visar således på antropogen belastning. För övriga metaller saknas bakgrundsgradienter

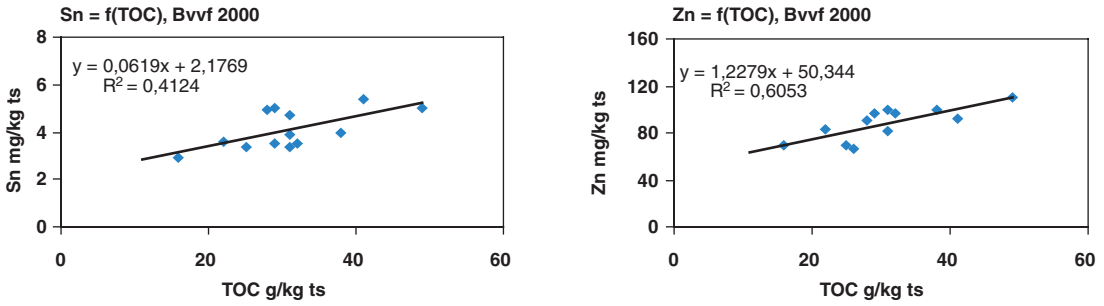


Fig. 2:67 a och b. Sambandet mellan tenn (Sn) och totalt organiskt kol (TOC) respektive zink (Zn) och totalt organiskt kol (TOC) i Bohuskustens ytsediment 2000.

The relationship between tenn (Sn) and total organic carbon (TOC), and zinc (Zn) and total organic carbon (TOC) respectively in the surficial sediments of the Bohus Coast in 2000.

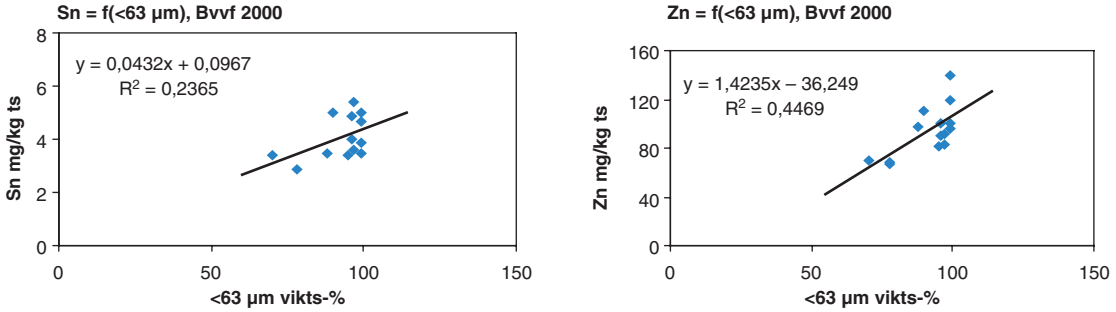


Fig. 2:68 a och b. Sambandet mellan tenn (Sn) och kornstorleksfraktionen <63 µm respektive zink (Zn) och kornstorleksfraktionen <63 µm i Bohuskustens ytsediment 2000.

The relationship between tin (Sn) and the grain-size fraction <63 µm, and zinc (Zn) and the grain-size fraction <63 µm respectively in the surficial sediments of the Bohus Coast in 2000.

från detta år beräknade utifrån analyser enligt svensk standard (SIS). Dock kan gradienterna beräknade för Brofjorden 1977, dvs. tre år efter raffinaderietableringen i området, betraktas som obetydligt påverkade utöver diffus belastning (atmosfäriskt nedfall). Dessa kan därför i brist på annat tjäna som referensgradienter. För arsenik, krom och tenn saknas referensdata från Brofjorden. Belastningsgradienterna visar att kadmium och kvicksilver ligger över referensgradienterna, medan koppar och zink ligger lika med eller under dessa. Gradienterna för de senare metallerna har således fallit från ett antropogent belastad situation till i närheten av ett tillstånd som enbart motsvarar diffus påverkan.

Tabell 2:35. Belastningsgradienter (kontamineringsgrader) vad avser några tungmetaller i ytsediment från Bohuskusten åren 1990–1995. n.d. = ej undersökt.

The load (degree of contamination) of some heavy metals in the surficial sediments of the Bohus Coast in the years 1990–1995. n.d. = not detected.

Metall	Belastningsgradient 1990	Belastningsgradient 1995	Belastningsgradient 2000	Belastningsgradient Referens
As	0,26	0,52	-	n.d.
Cd	0,52	0,004	0,016	0,004**
Cr	0,71	0,76	-	n.d.
Cu	0,57	0,67	0,40	0,39**
Hg	0,01	0,004	0,01	0,005*
Ni	0,54	0,42	-	0,34**
Pb	0,81	0,4	-	0,65**
Sn	0,052	0,23	0,06	n.d.
V	1,8	1,7	-	0,39*
Zn	3,3	4,5	1,2	2,5**

* Från Brofjorden 1972.
** Från Brofjorden 1977.

2.6.11 ANRIKNINGSFAKTORER OCH LOKALA BAKGRUNDSDATA FÖR TUNGMETALLER

För att kunna beräkna anrikningsfaktorn av respektive metall i ytsedimentet, dvs. anrikningen i förhållande till den naturliga bakgrunden från preindustriell tid, krävs såväl koncentrationsdata från ytsediment (recent avsatta) som djupare liggande sedimentlager (>150–200 år gamla). Företrädesvis väljer man preindustriella bakgrundsdata från undersökningsområdet, eftersom lokala/regionala variationer förekommer till följd av kemiska variationer i sedimentens källbergarter.

Som naturlig bakgrund för hela Bohuskusten har medianvärdet för respektive tungmetall från 20–30 cm sedimentdjup på fem stationer (A3, C4, F3, H3 och K2) i Stenungsundsområdet framtagits. Medianvärdena redovisas i tabell 2:36. Vid en jämförelse med det s.k. nationella jämförvärde, som presenteras i svenska bedömningsgrunder för kust- och havssediment (Naturvårdsverket 1999), kan konstateras att överensstämmelsen mellan dessa och de data som tagits fram för Stenungsundsområdet är relativt god. Svenska jämförvärden för tenn och vanadin saknas.

I tabell 2:37 redovisas de beräknade anrikningsfaktorerna (f) för respektive metall på respektive station. För krom (Cr), nickel (Ni) och till viss del för vanadin (V) är anrikningen mindre än 1, vilket tyder på att nyttjat bakgrundsvärde varit för högt. Utan antropogen belastning skall värdet normalt ligga i närheten av 1, dvs. ingen anrikning alls. Detta förutsätter emellertid stationära förhållanden i övrigt, dvs. att kornstorlek, organisk halt och mineralsammansättning inte skiljer sig åt mellan ytsedimentet och det sediment som nyttjas som bakgrund. För vissa ämnen, t.ex. Mn, sker dessutom stora koncentrationsförändringar mellan ytsedimentet och djupare sedimentlager till följd av diagenetiska omvandlingar (se t.ex. Cato 1977).

Arsenik (As) och koppar (Cu) är i medeltal svagt anrikat (1,4 gånger) medan kadmium (Cd), kvicksilver (Hg), bly (Pb) och tenn (Sn) är anrikat ca 2,5 gånger i ytsedimentet.

Tabell 2:36. Den lokala bakgrunden för några tungmetaller i Stenungsundsområdet 1995 och svenskt jämförvärde för kust- och havssediment (Naturvårdsverket 1999).

The local background of some hevy in 1995 in the Stenungsund area and the Swedish comperative value of coast- and sea sediment (Naturvårdsverket 1999).

Element	Medianvärde (n = 5) från 20–30 cm sedimentdjup	Jämförvärde (Naturvårdsverket 1999)
As	13	10
Cd	0,11	0,2
Cr	43	40
Cu	17	15
Hg	0,07	0,04
Ni	25	30
Pb	14	25
Sn	2	-
V	76	-
Zn	92	85

Tabell 2:37. Anrikningen (f) i förhållande till den preindustriella bakgrunden vid 12 stationer utmed Bohuskusten 2000.

The enrichment relative the preindustriel background at 12 stations from the Bohus Coast in 2000.

Område	As f	Cd f	Cr f	Cu f	Hg f	Ni f	Pb f	Sn f	V f	Zn f
1 Valö	1	10	0,9	1,3	1	1	3	1,8	1	1,1
30 Vinga	1,2	1,1	1,0	1,1	2	1	2,9	1,8	0,9	0,9
2 Skalkorgarna	0,8	1,6	0,9	1,8	3,7	0,9	2,6	2	0,8	1,1
3 Danafjord	0,8	1,5	0,7	1,2	2,1	0,7	2,5	1,7	0,6	0,8
5 Rävungarna	0,6	1,7	0,4	1,2	2	0,6	1,9	1,8	0,6	1
G2 Stenungsund	1	1,1	1,0	1,4	0,9	1	2	2,5	1	1
19 Havstensfjord	1,4	1,2	0,9	1,4	0,9	1	2,5	2,5	1,1	1,5
18 Byfjorden	0,5	5,5	0,8	2,1	2,1	0,8	2,3	2,4	0,8	1,3
12 Saltkällefjorden	1,2	1,2	0,7	1,6	1,1	0,8	2,7	2	1	1,1
319 Brofjorden	0,7	6,1	0,6	1,9	8	0,7	2,3	2,5	0,6	1,2
17 Byttelocket	1	4,1	0,9	1,5	1,1	1	2,9	2,7	0,9	1
24 Fjällbacka	0,7	2,3	0,9	1,2	0,9	0,9	2,1	1,7	0,9	0,9
16 Kosterfjorden	0,6	0,9	0,8	1,0	0,8	0,9	2,4	1,5	0,7	0,8
23 Strömstad	8,5	1,1	0,6	1,5	2,3	0,6	2,5	2,9	0,4	0,7
Medelanrikning	1,4	2,8	0,8	1,4	2,1	0,9	2,5	2,1	0,8	1

Medelvärdet och medianvärdet för totalt organiskt kol (TOC) på kustvattenkontrollens stationer är 30,5 respektive 30 g/kg ts (avsnitt 2.6.5). Motsvarande värden för den nivå i sedimentet där metallernas naturliga bakgrund hämtats är 22 respektive 23 g/kg. Beroende på om medelvärde eller medianvärde nyttjas motsvarar denna skillnad en anrikningsfaktor av 1,1 respektive 1,2. Motsvarande faktorer för kornstorleksfraktionen <63 µm är i båda fallen 0,9. Sammantaget innebär detta att en genomsnittlig anrikningsfaktor mellan 0,9 och 1,2 inte nödvändigtvis behöver bero på ändrade emissionsförhållanden i avrinningsområdet. Mot denna bakgrund och det faktum att lokala variationer förekommer tas endast anrikningsfaktorer lika med eller större än 1,4 som en indikation på ökad tillförsel genom emission orsakad av människan (se tabell 32).

Av tabell 2:38 framgår att kadmium, kvicksilver, bly och tenn är anrikat på nästan samtliga stationer. På mellan 70 och 90 % av stationerna är ökningen långt mer än 100 % och som extremast vid Brofjorden och Strömstad, där ökningen gentemot bakgrunden är ca 800 % för Hg respektive As. Emissionen av flera metaller har skett och sker delvis genom luftutsläpp, vilket medfört/medför en omfattande spridning, men lokala källor ger också utslag. Detta är märkbart vid t.ex. Göteborg, Uddevalla och Strömstad. I det senare fallet är det sannolikt att långvariga kvicksilverutsläpp från Glommaområdet och Idefjorden slår igenom. Kvicksilverbelastningen utanför Göteborg är känd sedan tidigare (Cato 1986 och 1992).

I medeltal är anrikningen gentemot den lokala preindustriella bakgrunden drygt 100 % för Hg och Sn, 150–180 % för Pb och Cd. Arsenik och koppar är anrikat ca 40 % över bakgrunden medan övriga metaller inte är anrikade alls.

Tabell 2:38. Respektive stations tungmetallanrikning >1,4 1995 och 2000.
Heavy metal enrichment >1.4 at each station in 1995 and 2000.

Station	Tungmetallanrikning >1,4 1995	Tungmetallanrikning >1,4 2000
Valö	Cd,	Cd, Sn
Vinga	-	Hg, Pb, Sn
Skalkorgarna	As, Cd, Cu, Hg, Pb, Sn, Zn	Cd, Cu, Hg, Pb, Sn
Danafjord	Cd, Hg, Pb, Sn	Cd, Hg, Pb, Sn
Rävungarna	Cd, Hg, Pb	Cd, Hg, Pb, Sn
Stenungsund	As, Cu, Hg, Pb, Sn, Zn	Pb, Sn
Havstensfjord	As, Cu, Hg, Pb, Sn, Zn	Pb, Sn, Zn
Byfjorden	Cd, Cu, Hg, Pb, Zn	Cd, Cu, Hg, Pb, Sn
Saltkällefjorden	Hg, Pb, Sn, Zn	Cu, Pb, Sn
Brofjorden	Cd, Pb	Cd, Cu, Hg, Pb, Sn
Byttelocket	-	Cd, Cu, Pb, Sn
Fjällbacka	Cd, Hg, Pb	Cd, Pb, Sn
Kosterfjorden	Hg, Pb	Pb, Sn
Strömstad	Cu, Hg, Pb, Sn	Cd, Hg, Pb, Sn

2.6.12 TOTALANALYS AV TUNGMETALLER

De i föregående avsnitt beskrivna metalldata är analyserade enligt svensk standard (SIS), dvs. genom ett lakning- eller extraktionsförfarande. Metoden är selektiv, vilket innebär att till mineralen hårt bundna metaller inte omfattas av analysen. Internationella havsforskningsrådet (the International Council for the Exploration of the Sea, ICES) rekomenderar numera att metallanalyser på sediment utförs på totalprovet, dvs. att hela provet upplöses genom t.ex. fluorvätesyra (HF) inför analysen. Därigenom skapar man en bättre jämförbarhet mellan prover från olika områden som innehåller sediment med varierande mineralsammansättning.

Vid 1990 års kustvattenkontroll analyserades sedimentproverna enligt SIS-metoden. För att skapa jämförbarhet mellan 1990, 1995 och 2000 års undersökningar har SIS-metoden även använts 1995 och 2000. Som ett komplement har dock ytsediment från fem stationer (Danafjord, Rävungarna, Byfjorden, Fjällbacka och Strömstad) och ett prov (Stenungsund, G2) från djupare liggande sedimentlager (30–32 cm) också analyserats enligt totalanalysmetoden 1995. År 2000 analyserades även stationerna Danafjord, Stenungsund, Brofjorden och Fjällbacka enligt totalanalysmetoden. Resultaten presenteras i tabell 2:39 och är markerade med HF (fluorvätesyra). Arsenik, kvicksilver och tenn har inte analyserats enligt den senare metoden 1995.

I tabell 2:40 redovisas i procent hur mycket utbytet av metaller med SIS metoden är av totalinnehållet enligt HF-metoden. För krom, kvicksilver, mangan och vanadin är utbytet mellan 53 och 69 %. För övriga metaller (bly undantaget 2000) är utbytet bättre än 70 %. Detta visar att merparten av arsenik, kadmium, koppar, (Ni), (bly), tenn och zink är löst bundet till sedimentpartiklarna och i flera fall främst adsorberat till det organiska materialet i sedimenten.

Tabell 2:39. Arsenik (As), kadmium (Cd), krom (Cr), koppar (Cu), kvicksilver (Hg), mangan (Mn), nickel (Ni), bly (Pb), tenn (Sn), vanadin (V), och zink (Zn) i ytsedimenten längs Bohuskusten 1995 och 2000. Metallanalyser efter uppslutning med fluorvätesyra (HF). (-) = data finns inte från alla år.

Arsenic (As), cadmium (Cd), chromium (Cr), copper (Cu), mercury (Hg), manganese (Mn), nickel (Ni), lead (Pb), ten (Sn) vanadium (V), and zinc (Zn) in the surficial sediments of the Bohus Coast in 1995 and 2000. Metal analyses after extraction with fluss acid (HF). (-) = data are lacking for some years.

Station (HF-upplösning)	År	As mg/kg	C d mg/kg	Cr mg/kg	Cu mg/kg	Hg mg/kg	Mn mg/kg	Ni mg/kg	Pb mg/kg	Sn mg/kg	V mg/kg	Zn g/kg
Danafjord (HF)	1995	-	0,17	72	23,5	-	659	43,9	37,6		96,1	123
	2000	12	0,24	55	26	0,22	500	24	130	7,1	100	100
Rävungarna (HF)	1995	-	0,25	70	17,9	-	454	19,3	32,1	-	60	132
	2000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Stenungsund (HF)	1995	-	0,11	107	22,1	-	1656	31,1	36,4	-	120	162
	2000	17	0,17	62	29	0,13	760	28	40	6,2	120	130
Byfjorden (HF)	1995	-	0,44	40	22,7	-	372	20	23,6	-	63	165
	2000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Brofjorden (HF)	1995	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	2000	10	0,82	42	36	0,12	290	20	48	5,5	88	140
Fjällbacka (HF)	1995	-	0,34	42	20,2	-	368	25,5	33,9	-	84,2	126
	2000	12	0,34	60	32	0,16	330	28	44	4,9	120	120
Strömstad (HF)	1995	-	0,12	36	22,8	-	372	22,7	45,5	-	76,6	111
	2000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Tabell 2:40. Genomsnittligt utbyte i procent för SIS metoden 1995 (n = 6) och 2000 (n = 4).

The average exchange in percentages of the SIS method in 1995 (n = 6) and in 2000 (n = 4).

SIS	As	Cd	Cr	Cu	Hg	Mn	Ni	Pb	Sn	V	Zn
Utbyte 1995	-	84 %	59 %	100 %	-	61 %	66 %	87 %	-	69 %	89 %
Utbyte 2000	80 %	74 %	62 %	80 %	53 %	62 %	81 %	57 %	72 %	54 %	70 %

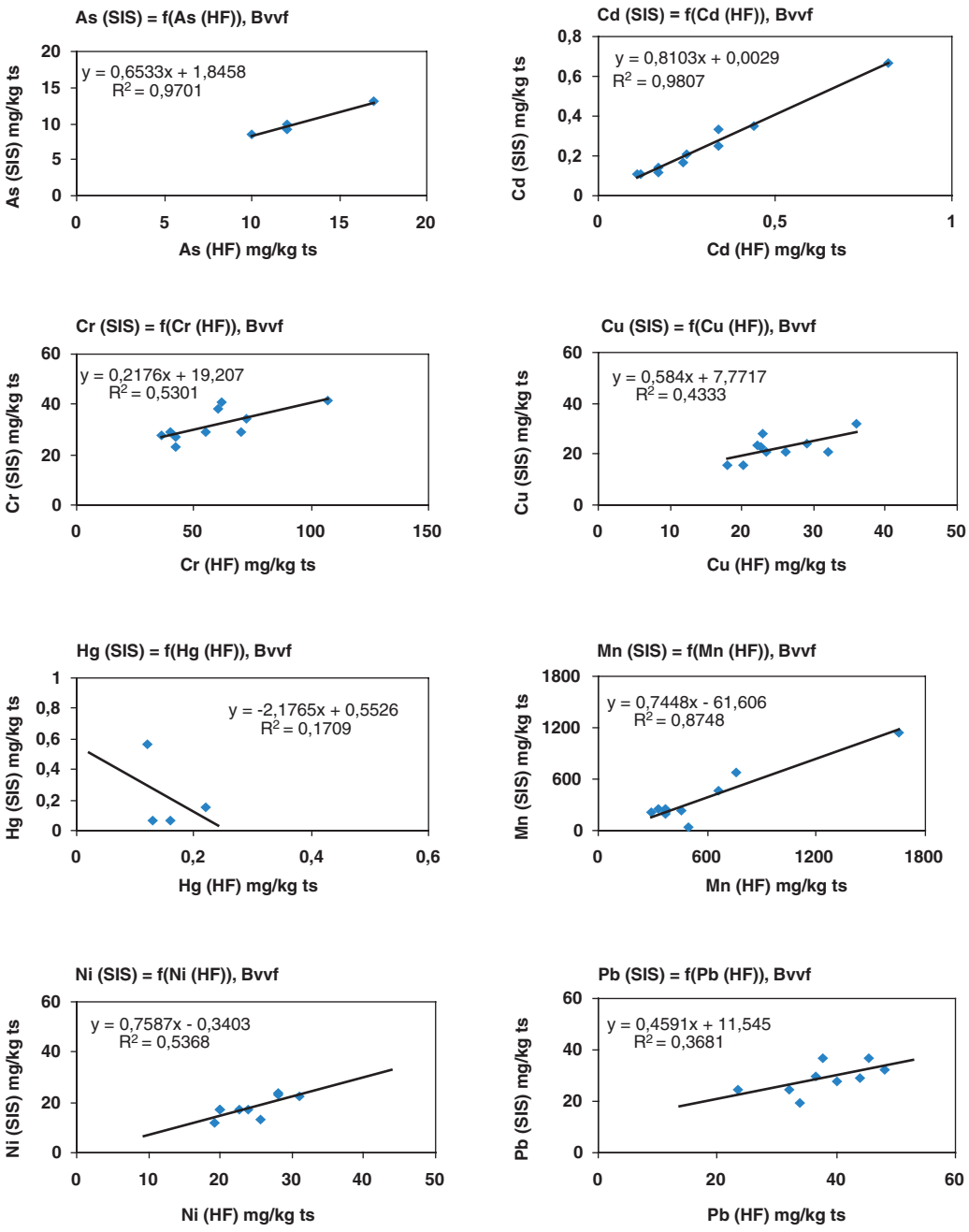
Tabell 2:41. De linjära sambanden mellan några tungmetaller analyserade enligt SIS- och HF-metoderna i ytsedimenten (0–1 cm) från Bohuskusten 1995–2000. Observerad t-fördelning (t_s) med (n–2) frihetsgrader. P är den observerade sannolikheten. r är korrelationskoefficienten.

The linear relationships between some heavy metals analysed according to the SIS- and the HF methods in the surficial sediments (0–1 cm) along the Bohus Coast. Sweden in 1995–2000. Observed t-distribution (t_s) with (n–2) degrees of freedom. P is the observed probability and r the correlation coefficient.

y mg/kg HF	x mg/kg SIS	Linjärt samband	r	n	t_s	Observerat p
As	As	y = 0,65x + 1,8	0,98	4	8,002	0,01<p<0,005
Cd	Cd	y = 0,81x + 0,003	0,99	9	18,52	p<0,001
Cr	Cr	y = 0,22x + 19	0,73	9	2,817	0,01<p<0,005
Cu	Cu	y = 0,58x + 7,8	0,66	9	2,319	0,05<p<0,025
Hg	Hg	-	-	4		
Mn	Mn	y = 0,74x - 62	0,93	9	7,89	p<0,001
Ni	Ni	y = 0,76x – 0,34	0,73	9	2,847	0,025<p<0,01
Pb	Pb	y = 0,46x + 11	0,61	9		0,025<p<0,05
Sn	Sn	-	-	4		
V	V	y = 0,47x + 13	0,77	9	3,182	0,01<p<0,005
Zn	Zn	y = 1,3x - 67	0,91	9	5,839	p<0,001

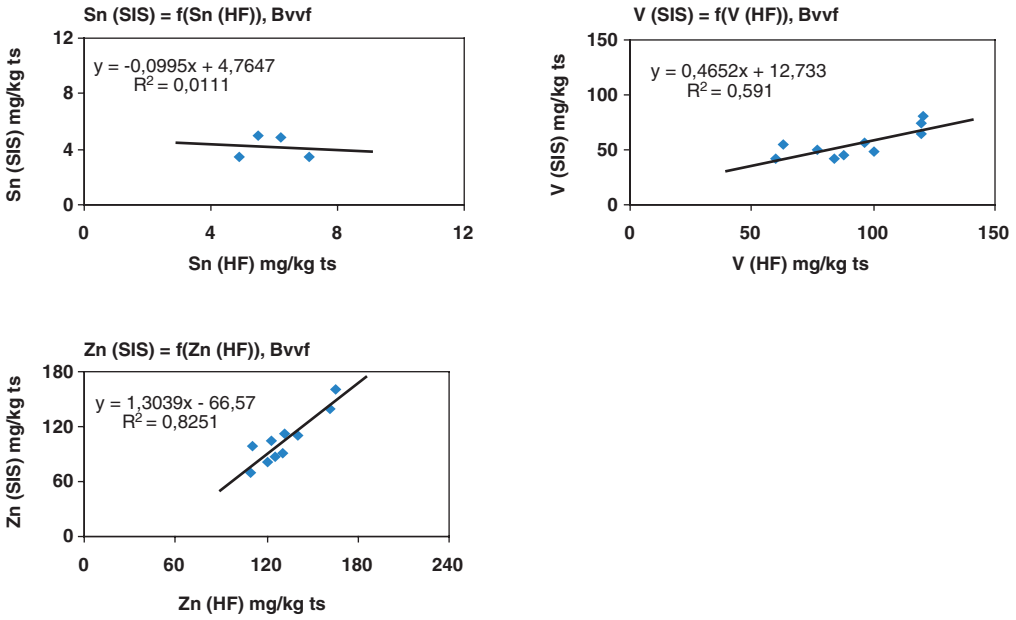
I medeltal är anrikningen gentemot den lokala preindustriella bakgrunden drygt 100 % för Hg och Sn, 150–180 % för Pb och Cd. Arsenik och koppar är anrikat ca 40 % över bakgrunden medan övriga metaller inte är anrikade alls.

I figur 2:69a–b illustreras sambandet mellan de två analysmetoderna och i tabell 2:41 presenteras de empiriskt framtagna matematiska sambanden samt sannolikheten för detta. Sambanden kan utnyttjas som ett grovt verktyg om data från Bohuskusten behöver transformeras mellan metoderna. Det skall dock framhållas att framtagna uppgifter baseras på endast 9 prover, vilket ur statistisk synpunkt är litet. Osäkerheter föreligger därför, vilket också framgår av sannolikhetsvärdena (p).



Figur 2:69a. Sambandet mellan några tungmetaller analyserade enligt SIS- (7M salpetersyra) och HF- (totalupplösning) metoderna i ytsediment från Bohuskusten 1995–2000.

The relationship between some heavy metals analysed according to the SIS (7M nitric acid) and HF (total digestion) methods in surficial sediments from the Bohus Coast in 1995–2000.



Figur 2:69b. Forts. Sambandet mellan några tungmetaller analyserade enligt SIS- (7M salpetersyra) och HF- (totalupplösning) metoderna i ytsediment från Bohuskusten 1995–2000.

Cont. The relationship between some heavy metals analysed according to the SIS (7M nitric acid) and HF (total digestion) methods in surficial sediments from the Bohus Coast in 1995–2000.

2.6.13 TOTALKOLVÄTEN SAMT FÖRÄNDRINGAR EFTER 1990

Analysresultaten från 2000 års sedimentundersökningar avseende totalkolväten (THC) redovisas i tabell 2:42 tillsammans med motsvarande data från 1990 och 2000 års undersökningar. Ytsedimentens (0–1 cm) koncentration av totalkolväte 1995 varierar från 10 till 73 mg/kg ts med ett medelvärde och medianvärde på 33 respektive 28 mg/kg ts (tabell 2:43). Den areella variationen illustreras i figur 2:70. Byfjorden, Brofjorden och Skalkorgarna uppvisar de högsta koncentrationerna. I de två senare fallen är det knappast förvånande med tanke på att Preemraff Lysekils oljeraffinaderianläggning är beläget i Brofjorden och Preem AB i Göteborg omedelbart norr om Skalkorgarna. Byfjorden uppvisade den högsta halten vid 1990 års undersökningar (Cato 1992).

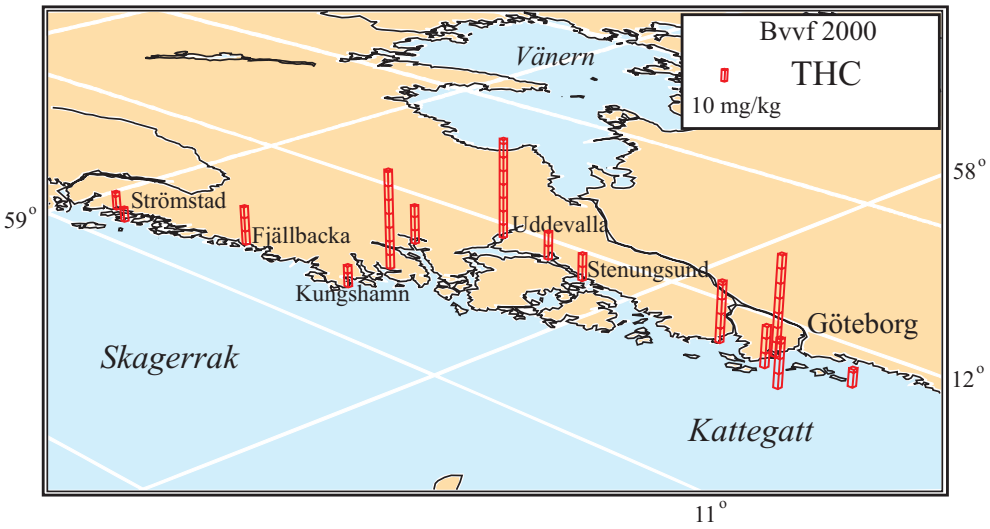


Fig. 2:70. Fördelningen av totalkolväten (THC, mg/kg) i Bohuskusten ytsediment (0–1 cm) 2000.

The distribution of total hydrocarbons (THC, mg/kg) in 2000 in surficial sediments (0–1 cm) of the Bohus Coast.

I tabell 2:44 redovisas THC-halter i ytsedimenten från några områden utmed Bohuskusten, Skagerrak och Kattegatt. En jämförelse med föreliggande undersökning visar att THC-halterna på vattenvårdsförbundets stationer är mycket låga och i nivå med andra data från Bohuskusten år 2000. Svenska bedömningsgrunder för THC i kust- och havssediment saknas. Enligt norskt förslag till miljöklassificeringskriterier för THC (Konieczny & Juliussen 1995) faller samtliga stationer tillståndsklass II (”mindre god”). Detta innebär att hela Bohuskusten är att betrakta som moderat förorenat vad avser THC såväl 1995 som 2000.

Förändringen av sedimetens THC innehåll mellan 1990, 1995 och 2000 års undersökningar illustreras i figur 2:71. Mellan 1995 och 2000 har halterna i medeltal stigit med 56 %. Sedan 1990 har dock halterna sjunkit kraftigt på samtliga stationer. I medeltal har koncentrationen sjunkit med närmare 66 % sedan 1990 (fig. 2:72). En förändring som är större än de minst ca 35 %, som baserat på blandningsfaktorn (se avsnitt 2.5 ovan), krävs för att en förändring med säkerhet skall kunna detekteras vid ett femårigt provtagningsintervall.

Tabell 2:42. Totalkolväte (THC) och summa polycykliska aromatiska föreningar (∑ PAH) i ytsediment (0–1 cm) utmed Bouhuskusten 1990–2000.

Total hydrocarbon (THC) and the sum of polycyclic aromatic hydrocarbons (∑ PAH) in surfical sediments (0–1 cm) along the Bohus Coast in 1990–2000.

Station	År	THC mg/kg
Valö	1990	48
	1995	16
	2000	12
Vinga	1990	-
	1995	-
	2000	33
Skalkorgarna	1990	220
	1995	24
	2000	69
Danafjord	1990	53
	1995	26
	2000	28
Rävungarna	1990	83
	1995	19
	2000	42
Stenungsund (G2)	1990	53
	1995	17
	2000	19
Havstensfjord	1990	39
	1995	27
	2000	20
Byfjorden	1990	230
	1995	<0,63
	2000	73
Saltkällefjorden	1990	66
	1995	29
	2000	28
Brofjorden (319)***	1989	110
	1995	65
(324)	2000	71
Byttelocket	1990	-
	1995	-
	2000	15
Fjällbacka	1990	-
	1995	7,3
	2000	28
Kosterfjorden	1990	14
	1995	5,0
	2000	10
Strömstad	1990	-
	1995	18
	2000	13

GC/FID-kromatogrammen (redovisade i Alcontrol 2004) från området uppvisar med några undantag en typisk flack sedimentprofil skild ifrån den typiska mineraloljeprofilen som bl.a. konstaterades i Brofjorden (se fig. 2:73). Identifierade kolväten ligger i stort sett inom kokpunktsintervallet n-C_{15} till n-C_{40} alkaner (270–520 °C). På stationerna i Brofjorden, Saltkällefjorden, Byfjorden och Byttelocket förekommer emellertid

en ”bulle” i kromatogrammet bestående av en ”unresolved complex mixture” (UCM), som utgörs av en stor mängd grenade, omättade, cykliska och aromatiska kolväten. Denna bulle bildas då det förekommer ett stort antal isomerer och molekyler med likartad strukturformel inom samma kokpunktsintervall (Rudling 1976, Clark & Brown 1977, Farrington 1980, Sletter m.fl. 1980) och indikerar petroleumursprung.

Vid en direkt jämförelse mellan kromatogrammen från 1990, 1995 och 2000 års undersökningar framkommer att stora likheter råder mellan åren på respektive stationer utom för Skalkorgarna, Rävungarna och Byfjorden. På dessa stationer har den s.k. UCM-bullen minskat avsevärt, vilket antyder mindre tillförsel av petroleumprodukter.

THC är svagt associerat till det organiska materialet i sedimenten (r = 0,44), varför någon utvärdering enligt gradientmetoden inte är möjlig.

Tabell 2:43. Spridning, medelvärden och medianvärden för totalkolväten (THC) i ytsedimenten utmed Bohuskusten 1990–2000.
Range, means and medians of total hydrocarbons (THC) in the surficial sediments of theBohus Coast in 1990–2000.

Summaparameter /förening mg/kg	År	Intervall	Medel-värde MV	Medianvärde MD	Standardavvikelse s
THC (n = 10)	1990	14–230	91	60	75
THC (n = 12)	1995	<063–65	21	19	16
THC (n = 14)	2000	10–73	33	28	22

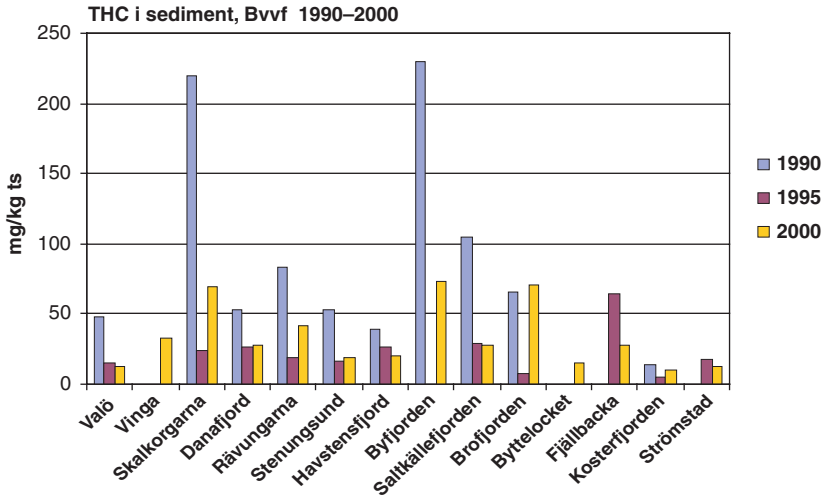


Fig. 2:71. Ytsedimentens (0–1 cm) halt av totalkolväte (THC, mg/kg ts) på respektive station utmed Bohuskusten 1990 och 1995.
The concentration of total hydrocarbon (THC, mg/kg dw) in the surficial sediment (0–1 cm) at each station along the Bohus Coast in 1990 and 1995 respectively.

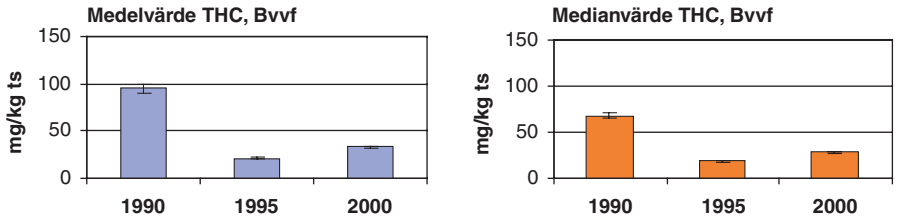


Fig. 2:72. Medelvärden (t.v.) och medianvärden (t.h.) för totalkolväte (THC) i Bohuskustens ytsediment (0–1 cm) mellan 1990–2000.
Mean (left) and median (right) values of total hydrocarbon (THC) between 1990–2000 in the surficial sediments (0–1 cm) of theBohus Coast.

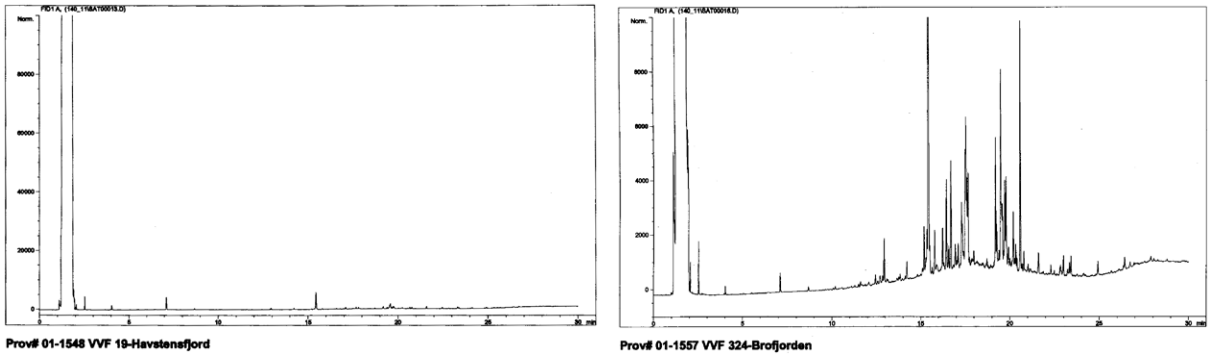


Fig 2:73. Jämförelse av GC-kromatogram från Havstensfjordens (t.v.) och Brofjordens (t.h.) ytsediment (0–1 cm) 2000. Den senare profilen visar tydlig petroleumkontaminering.

Comparison between GC-chroma-togramme from the Havstensfjorden (left) and the Brofjorden (right) surficial sediments (0–1 cm) in 2000. The latter profile shows a typical petroleum contamination.

Tabell 2:44. Spridning och medelvärden för koncentrationerna av totalkolväte (THC) i ytsediment i Skagerrak och Kattegatt.
Range and means of total hydrocarbon (THC) concentrations in the superficial sediments of the Skagerrak and Kattegat.

Område	År	Antal stationer n	Intervall THC mg/kg	MV THC mg/kg	Referens
Bakgrund (Färöarna)	1991	1		8,8	SNV Västerhavsproj. opubl.
VF kustvattenkontroll	1990	13	14–650	126	Cato 1992
”	1995	12	<0,63–65	21	Cato 1997
”	2000	14	10–73	33	Cato 2006
Göta älv	1990	2	14–650	332	Cato 1990
”	1995	2	4,5–192	98	Cato 1997
”	2000	2	28–58	43	Cato 2006
Stenungsund	1995	18	<0,63–580	125	Cato 1997
”	2000		6,6–23	13	Cato 2006
Gullmarsfjorden	1995	2	5,6–28	17	Cato 1997
”	2000	1	13	13	Cato 2006
Brofjorden *	1977	5	44–82	59	Göthberg & Johansson 1981
”	1984	15	120–420 (5900)	202	Cato m.fl. 1986
”	1989	18	16–890	148	Cato 1990
”	1995	13	<0,63–392	62	Cato 1997
”	2000	8	5,3–211	44	Cato 2006
Kattegatt	1990	3	33–61	44	Cato 1992
Skagerrak	1990	8	23–45	36	Cato 1992
Tyska Bukten	1990	1		189	Cato 1992

* Parentetiskt anges ett extremvärde uppmätt i sedimenten utanför Scanraffs spillvattenutsläpp.
Within brackets an extreme value analysed in sediments close to waste-water discharge of Scanraff.

2.6.14 POLYCYKLISKA AROMATISKA KOLVÄTEN SAMT FÖRÄNDRINGAR EFTER 1990

Analysresultaten avseende såväl enskilda som summan av 16 identifierade polycykliska aromatiska kolväten (∑NPD + ∑PAH) från den s.k. EPA-listan redovisas i tabell 2:45 och 2:46 tillsammans med data från 1990 och 1995 års undersökningar. 1990 års ∑16 PAH och ∑11 PAH är inte helt jämförbara med de två senare undersökningsomgångarnas summaparametrar, eftersom inte exakt samma föreningar analyserades 1990 som 1995 och 2000. Detta innebär att en helt korrekt jämförelse endast kan göras vad avser de åtta enskilda föreningar som analyserades vid samtliga tillfällen. Därför redovisas också en särskilt framtagen summaparameter (∑8 PAH) för alla tre provtagningsomgångarna. ∑16 PAH och ∑11 PAH från 1990 kan trots detta ändå nyttjas i en jämförelse eftersom skillnaden mot 1995 och 2000 data främst rör de föreningar som förekommer i mycket låga halter och således endast marginellt kan påverka berörda summaparametrar.

Tabell 2:45. Enskilda polycykliska aromatiska kolväteföreningar i Bohuskustens ytsediment (0–1 cm) 1990–2000.
Individual polycyclic aromatic hydrocarbons in the surficial sediments (0–1 cm) of the Bohus Coast in 1990–2000.

Station / µg/kg	År	Valö	Vinga	Skalkorgarna	Danafjord	Rävungarna	Stenungsund	Havstensfjord
Naftalen	1990	-	-	-	-	-	-	-
	1995	6,2	-	26	31	6	25	12
	2000	19	33	13	31	14	<10	12
Acenaftylen	1990	-	-	-	-	-	-	-
	1995	2	-	7,3	21	2,2	11	5,1
	2000	<10	<10	<10	15	<10	<10	<10
Acenaften	1990	-	-	-	-	-	-	-
	1995	1,4	-	8,1	7,8	1,4	6	3,1
	2000	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10
Fluoren	1990	-	-	-	-	-	-	-
	1995	3,0	-	14	16	2,8	14	6,4
	2000	<10	18	<10	15	<10	<10	<10
Fenantren	1990	30	-	60	30	40	30	40
	1995	18	-	66	71	8,7	55	34
	2000	42	86	26	<10	52	<10	32
Antracen	1990	-	-	-	-	-	-	-
	1995	7,1	-	25	23	16	17	9,7
	2000	30	20	<10	31	14	<10	<10
Fluoranten	1990	100	-	130	100	150	100	160
	1995	50	-	160	140	79	140	95
	2000	68	140	33	190	120	<10	65
Pyren	1990	70	-	160	80	100	100	130
	1995	35	-	143	122	66	104	71
	2000	51	110	30	170	96	<10	51
Benso(a)antracen	1990	40	-	80	40	60	40	60
	1995	26	-	101	63	35	66	48
	2000	32	81	13	110	65	<10	28
Krysen	1990	30	-	100	50	60	60	70
	1995	35	-	131	78	40	107	66
	2000	46	100	21	110	75	<10	41
Benso(b+k)- fluorant.	1990	-	-	-	-	-	-	-
	1995	94	-	270	172	69	252	219
	2000	194	351	41	327	191	<10	170
Benso(a)pyren	1990	50	-	100	50	60	50	90
	1995	32	-	110	69	33	70	65
	2000	44	110	14	120	65	<10	39
Indeno(1,2,3-cd)pyren	1990	20	-	60	20	20	20	180
	1995	68	-	156	141	36	150	165
	2000	120	260	19	190	110	<10	120
Benso(ghi)-perylen	1990	70	-	100	60	50	70	150
	1995	72	-	160	145	35	146	161
	2000	86	170	14	130	76	<10	79
Dibenso(a,h)-antracen	1990	-	-	-	-	-	-	-
	1995	36	-	105	88	26	88	88
	2000	12	30	<10	27	15	<10	12
11 PAH	1990	1000*	-	1400*	700*	900*	800*	1400*
	1995	407	-	1322	1027	420	1107	933
	2000	683	1428	211	1478	864	<10	625
16 PAH	1990	1000*	-	1400*	700*	900*	800*	1400*
	1995	487	-	1475	1191	457	1251	1047
	2000	710	1500	220	1600	890	200	650

Tabell 2:46. Enskilda polycykliska aromatiska kolväteföreningar i Bohuskustens ytsediment (0–1 cm) 1990–2000.
Individual polycyclic aromatic hydrocarbons in the surficial sediments (0–1 cm) of the Bohus Coast in 1990–2000.

Station / µg/kg	År	Byfjorden	Saltkällefjorden	Brofjorden	Byttelocket	Fjällbacka	Kosterfjorden	Strömstad
Naftalen	1990	-	-	-	-	-	-	-
	1995	5,3	15	1,9	-	13	12	18
	2000	<10	20	20	33	18	22	19
Acenaftylen	1990	-	-	-	-	-	-	-
	1995	8,2	5,6	0,95	-	1,3	1,3	2,4
	2000	<10	<10	38	16	<10	<10	16
Acenaften	1990	-	-	-	-	-	-	-
	1995	9,3	11	1,0	-	5,9	5,2	3,5
	2000	<10	<10	24	<10	<10	<10	<10
Fluoren	1990	-	-	-	-	-	-	-
	1995	8,2	14	1,5	-	71	71	24
	2000	<10	11	42	16	<10	<10	12
Fenantren	1990	180	270	60	-	-	30	-
	1995	39	62	28	-	9,4	24	190
	2000	27	88	290	100	48	54	86
Antracen	1990	-	-	-	-	-	-	-
	1995	8,7	15	2,2	-	6,8	5,7	110
	2000	<10	19	88	23	12	<10	25
Fluoranten	1990	420	320	180	-	-	70	-
	1995	82	140	63	-	25	48	440
	2000	41	230	890	210	98	110	240
Pyren	1990	500	190	80	-	-	60	-
	1995	65	110	18	-	22	44	334
	2000	51	180	750	160	72	77	200
Benso(a)antracen	1990	200	70	60	-	-	30	-
	1995	37	82	63	-	9,2	31	203
	2000	16	180	570	120	50	47	140
Krysen	1990	160	80	80	-	-	40	-
	1995	61	106	14	-	112	45	216
	2000	21	210	510	130	69	68	15
Benso(b+k)-fluoranten	1990	-	-	-	-	-	-	-
	1995	40	264	26	-	47	126	357
	2000	46	530	1180	424	248	285	356
Benso(a)pyren	1990	230	90	90	-	-	40	-
	1995	20	104	34	-	9	35	173
	2000	17	210	620	140	63	63	150
Indeno(1,2,3-cd)pyren	1990	200	110	40	-	-	20	-
	1995	28	179	77	-	13	82	206
	2000	19	380	730	310	200	210	240
Benso(ghi)-perylen	1990	200	120	150	-	-	70	-
	1995	43	194	15	-	88	82	213
	2000	15	260	480	200	130	150	170
Dibenso(a,h)-antracen	1990	-	-	-	-	-	-	-
	1995	16	106	9,8	-	44	48	139
	2000	<10	54	110	39	23	22	29
11 PAH	1990*	3700*	800*	1300*	-	-	600*	-
	1995	425	1259	341	-	342	523	2443
	2000	253	2287	6108	1817	990	1064	1622
16 PAH	1990*	3700*	800*	1300*	-	-	600*	-
	1995	471	1411	162	-	673	660	2629
	2000	253	2400	6300	1900	1000	1100	1800

Halterna från 2000 års undersökningar vad avser ∑16 PAH varierar mellan <10 och 6 300 µg/kg ts med ett medelvärde och medianvärde av 1 466 respektive 1 050 µg/kg ts (tabell 2:47). Den mest frekventa föreningen 2000 är Indeno(1,2,3-cd)pyren som i medeltal utgör ca 21 % av ∑16 PAH.

Den geografiska fördelningen för ∑16 PAH och några utvalda enskilda PAH-föreningar inom undersökningsområdets ytsediment (0–1 cm) illustreras i figurerna 2:74–2:77. Det areella fördelningsmönstret skiljer sig inte nämnvärt åt mellan de olika PAH-föreningarna. Med undantag för acenaften uppvisar området utanför Göteborg (främst Vinga), Saltkällefjorden, Brofjorden, Byttelocket och Strömstad högre halter än andra områden inom Bohuskusten. De högsta halterna av respektive förening förekommer i Brofjorden. Enda undantag är naftalen där de högsta halterna påträffas vid Valö och Byttelocket.

∑16 PAH är således högst på stationen i Brofjorden. Koncentrationen är dock betydligt lägre än t.ex. det extremvärde på 14 000 µg/kg ts, som konstaterades 1989 vid produkthamnen i Brofjorden (Cato 1990). Koncentrationer (∑16 PAH) över 1 000 µg/kg ts återfinns vid Vinga, Danafjord, Saltkällefjorden, Byttelocket, Fjällbacka, Kosterfjorden och Strömstad. Detta överenstämmer relativt väl med 1990 och 1995 års resultat. Dock kan noteras att Byfjorden uppvisar förvånansvärt låga värden såväl 1995 som år 2000. 1990 var Byfjorden den mest kontaminerade stationen vad avser PAH inom kustvattenkontrollens stationsnät.

Enligt svenska bedömningsgrunder för kust- och havssediment (Naturvårdsverket 2005) uppvisar med avseende på polycykliska aromatiska kolväteföreningar (∑11 PAH) ytsedimenten på stationerna Skalkorgarna, Stenungsund och Byfjorden år 2000 låga halter (klass 2) medan Valö och Havstensfjord uppvisar en medelhög halt (klass 3) (tabell 2:48). På övriga stationer är halten hög (klass 4) eller som i fallet Brofjorden mycket hög (klass 5). I jämförelse med 1990 och 1995 är miljökvaliteten i detta avseende något sämre i Brofjorden och på stationerna norr därom, medan miljökvaliteten är förbättrad eller oförändrad på övriga stationer. På nio av stationerna ligger dock den cancerogena föreningen benso(a)pyren högt.

Med undantag för fjordarna innanför Orust och Tjörn kan Bohuskusten betraktas som kontaminerat med avseende på polyaromatiska kolväten. I tabell 2:49 redovisas koncentrationsdata över ∑PAH i ytsedimentet från andra områden utmed Bohuskusten, i Skagerrak och Kattegatt.

Utvecklingstrenden för respektive station mellan 1990 och 2000 illustreras i figur 2:78. Förändringen av sedimentens ∑16 PAH-halter mellan 1990 och 2000 års undersökningar kan inte korrekt jämföras i sin helhet eftersom summaparametern för 1990 innehåller en del andra PAH-föreningar än vid undersökningarna 1995 och 2000. Utvecklingstrenden i medeltal (fig. 2:79) redovisas därför dels för summan av de sex gemensamma PAH-föreningarna (∑6 PAH), dels för ∑16 PAH, som således innehåller en del andra föreningar 1990. I medeltal har ∑6 PAH ökat med 62 % sedan 1995 och med 30 % sedan 1990. För ∑16 PAH är motsvarande

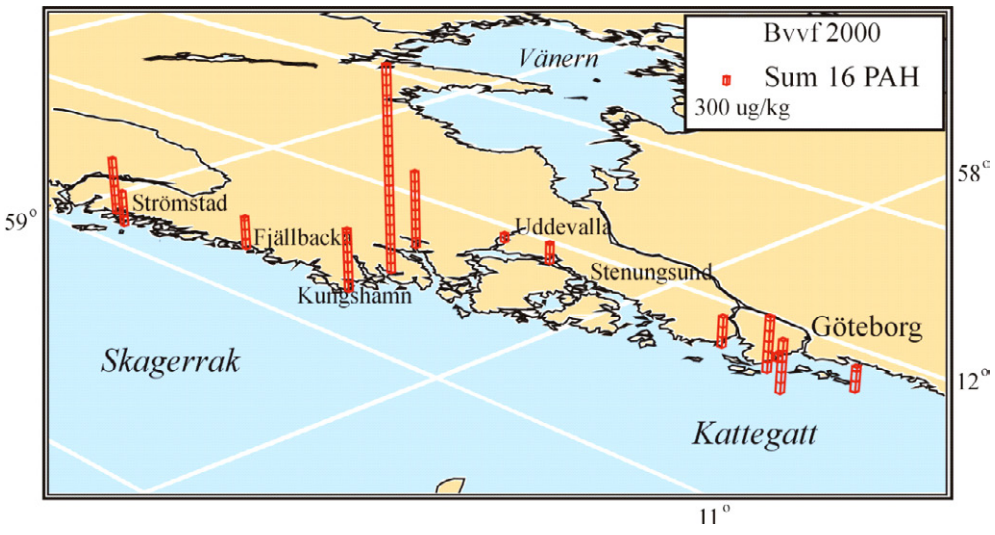


Fig 2:74. Fördelningen av summa polycykliska aromatiska kolväten (∑16 PAH, µg/kg ts) i Bohuskusten ytsediment (0–1 cm) 2000.
The distribution of the sum of polycyclic aromatic hydrocarbons (∑16 PAH, µg/kg) in surficial sediment (0–1 cm) of the Bohus Coast in 2000.

siffror 48 % respektive 16 %. Exempel på hur enskilda PAHer (naftalen respektive benso(a)pyren) förändrats under samma period illustreras i figurerna 2:80 och 2:81.

∑16 PAH är dåligt associerat till det organiska materialet i sedimenten (r = 0,2), vilket innebär att någon utvärdering enligt Gradientmetoden inte är möjlig.

Inga analyser av PAH har utförts på djupare liggande sedimentlager inom området. Från sydvästra Östersjön rapporteras dock en koncentration av 0,008 mg/kg ts (∑11 PAH) från 200 cm sedimentdjup (Cato 1997b). Detta innebär att man kan räkna med att finna mycket små mängder PAH (härörande från i första hand skogsbränder) i preindustriellt avsatta sediment. Bakgrundshalten är dock negligerbar i dessa sammanhang, varför anrikningsfaktorn är lika med de faktiska värdet i ytsedimentet (0–1 cm).

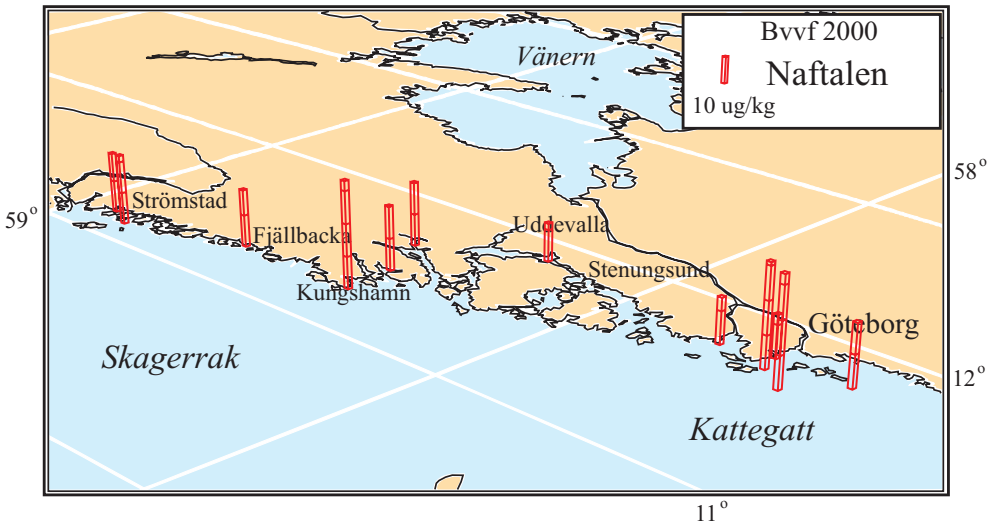


Fig 2:75. Fördelningen av naftalen (µg/kg ts) i Bohuskusten ytsediment (0–1 cm) 2000.
The distribution of the naphtalene (µg/kg) in the surficial sediment (0–1 cm) of the Bohus Coast in 2000.

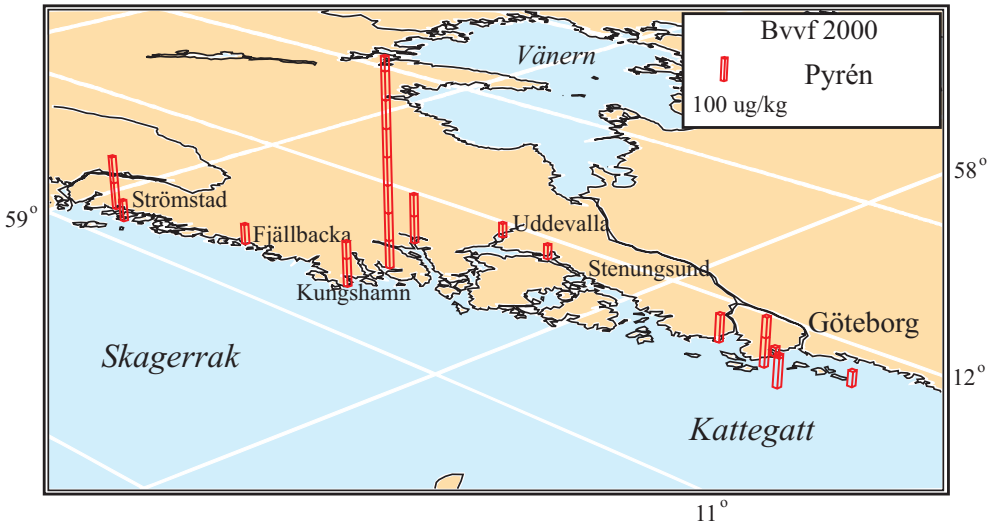


Fig 2:76. Fördelningen av pyren (µg/kg ts) i Bohuskusten ytsediment (0–1 cm) 2000.
The distribution of the pyrene (µg/kg) in the surficial sediment (0–1 cm) of the Bohus Coast in 2000.

Tabell 2:47. Spridning, medelvärden och medianvärden för polycykliska aromatiska kolväten (PAH) i ytsedimenten (0–1 cm) utmed Bohuskusten 1990–2000.

Range, means and medians of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH) in the surficial sediments (0–1 cm) of theBohus Coast in 1990–2000.

Summaparameter/ /förening	År	n	Intervall µg/kg	Medelvärde µg/kg MV	Medianvärde µg/kg Md	Standardavvikelse s
Sum id PAH	1990	10	600–3700	1300	950	900
∑ 16 PAH	1995	12	160–2600	990	860	670
	2000	14	<10–6300	1466	1050	1547
∑ 11 PAH	1990	10	600–3700	1260	950	905
	1995	12	340–2440	879	728	618
	2000	14	<10–6110	1388	1027	1507
∑ 8 PAH	1990	10	360–2090	796	640	530
	1995	12	118–1975	700	594	495
	2000	14	<10–4840	1062	755	1194
Naftalen	1995	12	1,9–31	14	13	9,2
	2000	14	<10–33	19	19	7,9
Acenaftylen	1995	12	0,95–21	5,7	3,7	5,8
	2000	14	<10–38	13	10	7,5
Acenaften	1995	12	1–11	5,3	5,5	3,3
	2000	14	<10–24	11	10	3,7
Fluoren	1995	12	1,5–71	20	14	24
	2000	14	<10–42	14	10	8,5
Fenantren	1990	10	30–270	77	40	82
	1995	12	8,7–190	50	36	49
	2000	14	<10–290	74	53	69
Antracen	1990	10	10–50	30	30	28
	1995	12	2,2–110	20	12	29
	2000	14	<10–88	22	17	20
Fluoranten	1990	10	70–420	170	140	110
	1995	12	25–440	120	89	110
	2000	14	<10–890	174	115	219
Pyren	1990	10	60–500	150	100	130
	1995	12	18–330	94	68	85
	2000	14	<10–750	143	87	184
Benso(a)antracen	1990	10	30–200	68	60	49
	1995	12	9–200	64	55	51
	2000	14	<10–570	104	58	144
Krysen	1995	12	14–220	84	72	55
	2000	14	<10–510	102	69	129
Benso(b+k)fluoranten	1995	12	26–360	160	150	110
	2000	14	<10–1180	311	267	292
Benso(a)pyren	1990	10	40–230	85	75	55
	1995	12	9–170	63	50	47
	2000	14	<10–620	119	64	156
Indeno(1,2,3-cd)pyren	1990	10	20–200	69	30	70
	1995	12	13–210	110	110	65
	2000	14	<10–730	208	195	187
Benso(ghi)perylen	1995	12	15–210	110	120	65
	2000	14	<10–480	141	130	122
Dibenzo(a,h)anthracen	1995	12	10–140	66	68	41
	2000	14	<10–110	29	23	27

Tabell 2:48 Ytsedimentens (0–1 cm) miljökvalitet utmed Bohuskusten 1990–2000 med avseende på ∑11 PAH. Klassning enligt svenska bedömningsgrunder (Naturvårdsverket 2005).

The environmental quality of the surface sediments (0–1 cm) along the Bohus Coast with respect to the content of ∑11 PAH in 1990–2000. Classification according to Swedish Environmental Quality Criteria (Naturvårdsverket 2005).

Station ug/kg	s11 PAH 1990	s11 PAH 1995	s11 PAH 2000
Valö	1000	407	683
Vinga			1428
Skalkorgarna	1400	1322	211
Danafjord	700	1027	1478
Rävungarna	900	420	864
Stenungsund	800	1107	<10
Havstensfjord	1400	933	625
Byfjorden	3700	425	250
Saltkällefjorden	800	1259	2287
Brofjorden	1300	341	6108
Byttelocket			1817
Fjällbacka		342	990
Kosterfjorden	600	523	1064
Strömstad		2443	1622

Organiska miljögifter	
Klass 1	Ingen halt
Klass 2	Låg halt
Klass 3	Medelhög halt
Klass 4	Hög halt
Klass 5	Mycket hög halt

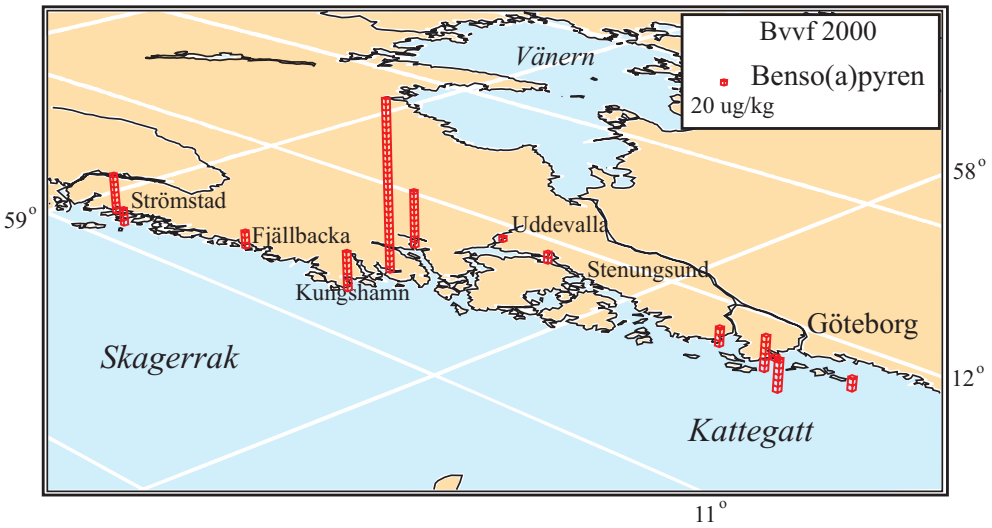


Fig 2:77. Fördelningen av benso(a)pyren (µg/kg ts) i Bohuskusten ytsediment (0–1 cm) 2000.

The distribution of the benso(a)pyrene (µg/kg) in the surficial sediment (0–1 cm) of the Bohus Coast in 2000.

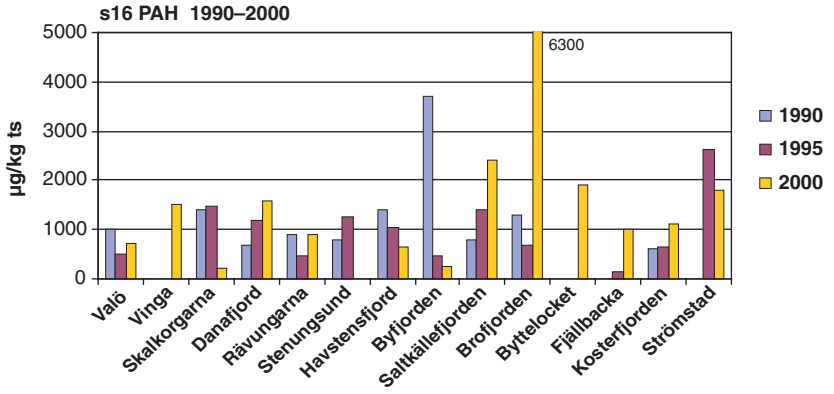


Fig. 2:78. Ytsedimentens (0–1 cm) halt av summa 16 polycykliska aromatiska kolväten (∑16 PAH, µg/kg ts) på respektive station utmed Bohuskusten 1990–2000.

The concentration of the sum of 16 polycyclic aromatic hydrocarbons (∑16 PAH, µg/kg dw) in the surficial sediment (0–1 cm) at each station along the Bohus Coast in 1990–2000.

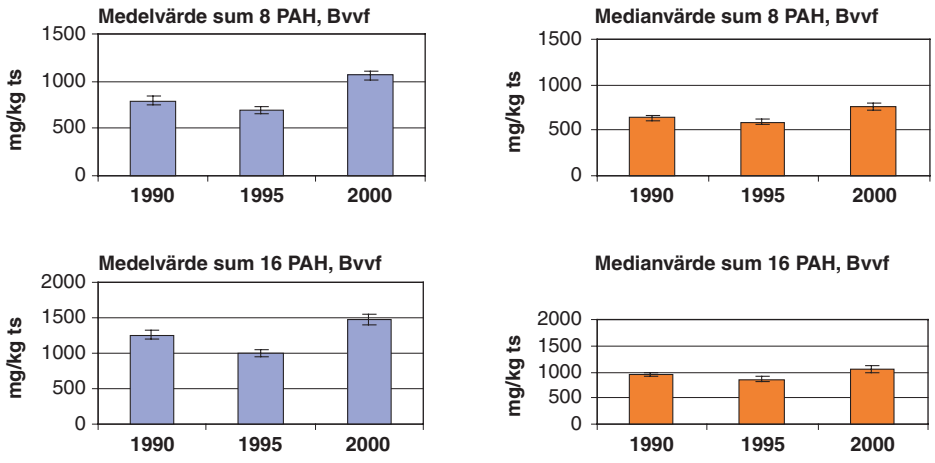


Fig. 2:79. Medelvärden (t.v.) och medianvärden (t.h.) för polycykliska aromatiska kolväten (∑8 PAH respektive ∑16 PAH) i Bohuskustens ytsediment (0–1 cm) mellan 1990 och 2000.

Mean (left) and median (right) values of the sum of 6 polycyclic aromatic hydrocarbons (∑8 PAH and ∑16 PAH respectively) between 1990 and 2000 in the surficial sediments of theBohus Coast.

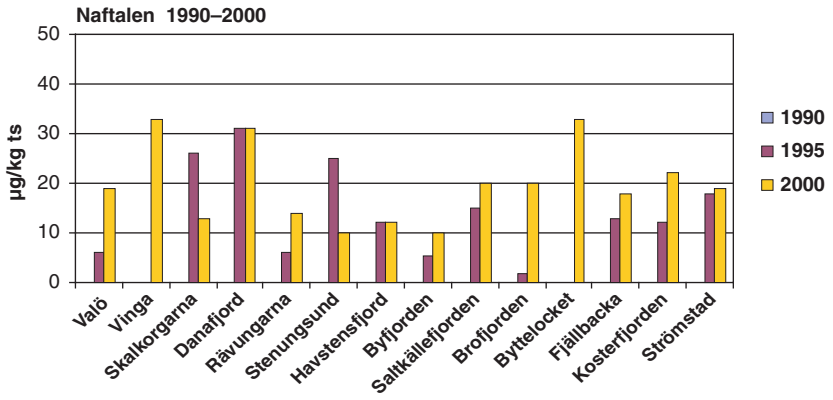


Fig. 2:80. Ytsedimentens (0–1 cm) halt av naftalen (µg/kg ts) på respektive station utmed Bohuskusten 1995 och 2000.

The concentration of naphtalene (µg/kg dw) in the surficial sediment (0–1 cm) at each station along the Bohus Coast in 1995 and 2000 respectively.

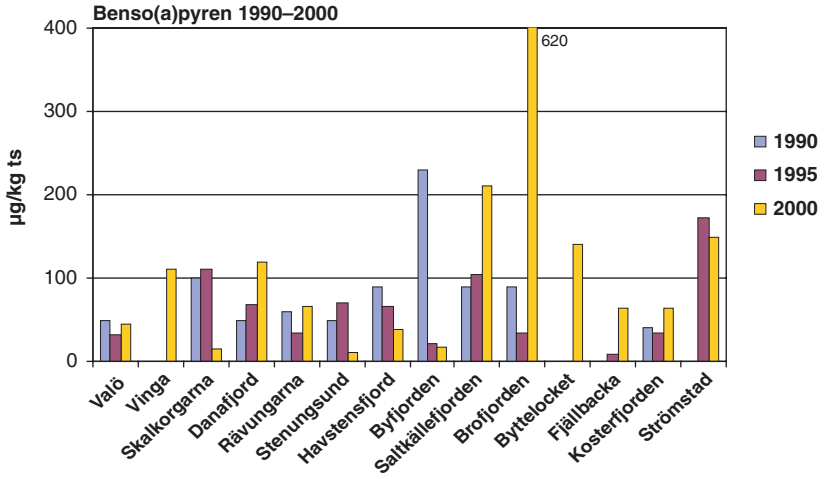


Fig. 2:81. Ytsedimentens (0–1 cm) halt av den canserogena benso(a)pyren (µg/kg ts) på respektive station utmed Bohuskusten 1990–2000.

The concentration of the canserogenic benso(a)pyrene (µg/kg dw) in the surficial sediment (0–1 cm) at each station along the Bohus Coast in 1990–2000 respectively.

Tabell 2:49. Spridning och medelvärden för koncentrationerna av polyaromatiska kolväten (∑PAH) i ytsediment i Skagerrak och Kattegatt.

Range and means of polyaromatic hydrocarbon (∑PAH) concentrations in the surficial sediments of the Skagerrak and Kattegat.

Område	År	Antal stationer	Intervall ∑PAH mg/kg	MV ∑PAH mg/kg	Referens
Bakgrund		1		0,008	Cato 1997b
VF kustvattenkontroll	1990	10	0,6–3,7	1,3	Cato 1992
”	1995	12	0,16–2,6	0,99	Cato 1997
”	2000	14	0,2–6,3	1,5	Cato 2006
VF Göta älv	1990	2	0,3–5,3	2,8	Cato 1992
”	1995	2	0,47–1,3	0,89	Cato 1997
”	2000	2	0,98–1,1	1,0	Cato 2006
Stenungsund	1995	18	0,26–1,3	0,78	Cato 1997
”	2000	14	0,18–2,0	0,55	Cato 2006
Gullmarsfjorden	1995	2	0,68–1,4	0,94	Cato 1997
”	2000	1	1,3	1,3	Cato 2006
Brofjorden	1984	15	2,2–9,2	4,0	Cato m.fl. 1986
”	1989	18	0,07–14	1,8	Cato 1990
”	1995	13	0,46–2,1	1,1	Cato 1997.
”	2000	8	0,69–6,3	1,7	Cato 2006
Kattegatt	1990	3	0,36–1	0,69	Cato 1992
Skagerrak	1990	8	0,58–3	1,3	Cato 1992
Tyska Bukten	1990	1		2,1	Cato 1992

2.6.15 METYLNAFTALENER

Analysresultaten vad avser 1-metylnaftalen och 2-metylnaftalen redovisas i tabell 2:50. Koncentrationerna i ytsedimenten 2000 varierar mellan <10 och 16 µg/kg ts för 1-metylnaftalen, och mellan <10 och 29 µg/kg ts för 2-metylnaftalen. Respektive medelvärden och medianvärden var 11 och <10 samt 15 och 12 µg/kg ts (tabell 2:51 och figurerna 2:82 och 2:83).

Den areella fördelningen utmed Bohuskusten illustreras i figurerna 2:84 och 2:85. De högsta halterna av båda föreningarna återfanns utanför Göteborg (Vinga och Danafjord) samt Kungshamn (Byttelocket). Fördelningsmönstret visar tillsammans med resultaten från Stenungsund (se avsnitt 4, denna volym) att metylnaftalener kan påvisas i låga halter i sedimenten utmed hela kusten.

Svenska bedömningsgrunder för kust- och havssediment saknas för metylnaftalener.

Tabell 2:50. Metylnaftalener i Bohuskustens ytsediment (0–1 cm) 2000.
Metylnaphtalenes in the surficial sediments (0–1 cm) of the Bohus Coast in 2000.

Station / µg/kg	År	Valö	Vinga	Skalkorgarna	Danafjord	Rävungarna	Stenungsund	Havstensfjord
2-Metylnaftalen	2000	14	29	<10	20	<10	<10	<10
1-Metylnaftalen	2000	<10	20	<10	13	<10	<10	<10

Station / µg/kg	År	Byfjorden	Saltkällefjorden	Brofjorden	Byttelocket	Fjällbacka	Kosterfjorden	Strömstad
2-Metylnaftalen	2000	<10	13	11	25	15	17	11
1-Metylnaftalen	2000	<10	<10	<10	16	<10	11	<10

Tabell 2:51. Spridning och medelvärden för metylnaftalener i ytsediment (0–1 cm) utmed Bohuskusten 2000.
Range and means of methylnaphtalenes in the surficial sediments (0–1 cm) along the Bohus Coast in 2000.

Föreningar	År	Antal stationer n	Intervall µg/kg ts	Medelvärde MV µg/kg ts	Medianvärde Md µg/kg ts	Standardavvikelse s µg/kg ts
1-metylnaftalen	2000	14	<10–16	11	<10	3
2-metylnaftalen	2000	14	<10–29	15	12	6

Tabell 2:52. Spridning och medelvärden för koncentrationerna 1-metylnaftalen i ytsediment (0–1 cm) i Skagerrak och Kattegatt.
Range and means of the concentrations of 1-methylnaphtalene in the superficial sediments (0–1 cm) of the Skagerrak and Kattegat.

1-metyl-naftalen	År	Antal stationer (n)	Intervall µg/kg	MV µg/kg	Referens
VF kustvattenkontroll	2000	14	<10–16	11	Cato 2006
Göta älv	2000	2	<10	<10	Cato 2006
Stenungsund	2000	14	<10–30	12	Cato 2006

Spridning och medelvärden för koncentrationerna 2-metylnaftalen i ytsediment (0–1 cm) i Skagerrak och Kattegatt.
Range and means of the concentrations of 2-methylnaphtalene in the superficial sediments (0–1 cm) of the Skagerrak and Kattegat.

2-metyl-naftalen	År	Antal stationer (n)	Intervall µg/kg	MV µg/kg	Referens
VF kustvattenkontroll	2000	14	<10–29	15	Cato 2006
Göta älv	2000	2	<10–11	<10	Cato 2006
Stenungsund	2000	14	<10–41	13	Cato 2006

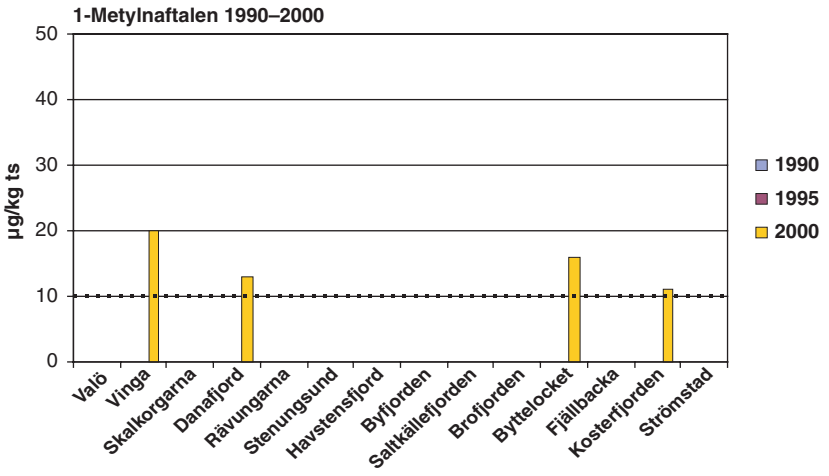


Fig. 2:82. Ytsedimentens (0–1 cm) halt av 1-metylnaftalen (µg/kg) på respektive station utmed Bohuskusten 2000. Streckad linje = detektionsgräns.

The concentration of 1-methylnaphtalene, (µg/kg) at each station along the Bohus Coast in 2000 respectively. Hatched line = detection limit.

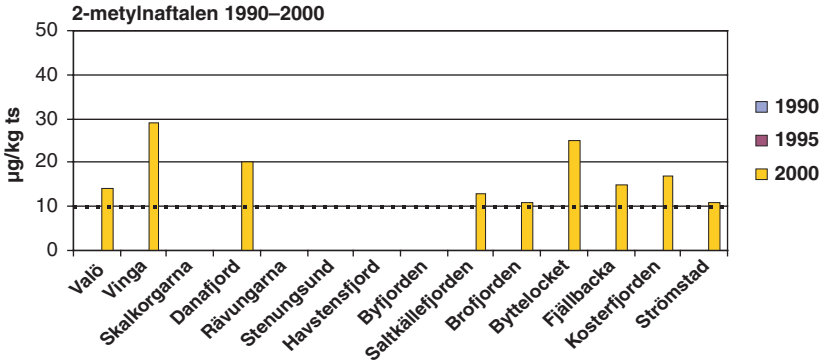


Fig. 2:83. Ytsedimentens (0–1 cm) halt av 2-metylnaftalen (µg/kg) på respektive station utmed Bohuskusten 2000. Streckad linje = detektionsgräns.

The concentration of 2-methylnaphtalene, (µg/kg) at each station along the Bohus Coast in 2000 respectively. Hatched line = detection limit.

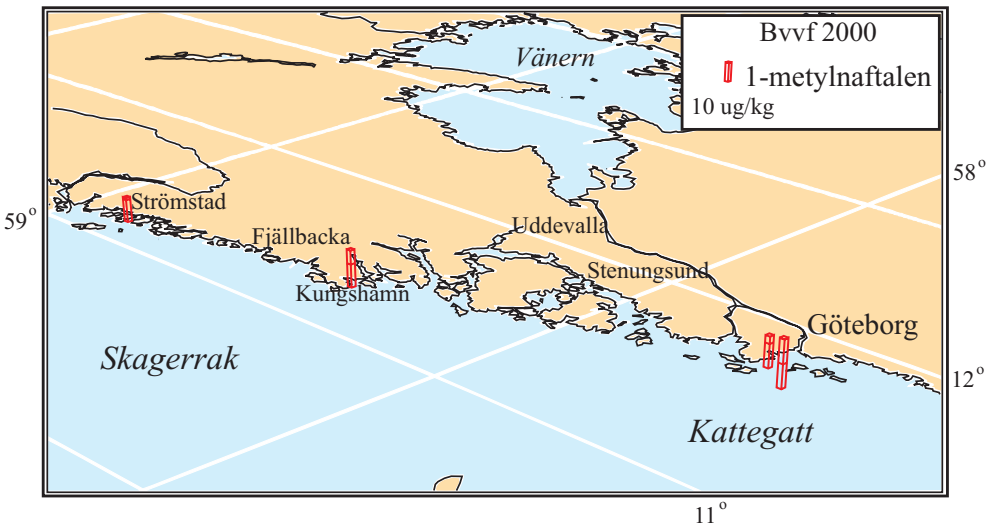


Fig 2:84. Fördelningen av 1-metylnaftalen (µg/kg ts) i Bohuskusten ytsediment (0–1 cm) 2000.

The distribution of the 1-methylnaphtalene (µg/kg) in the surficial sediment (0–1 cm) of the Bohus Coast in 2000.

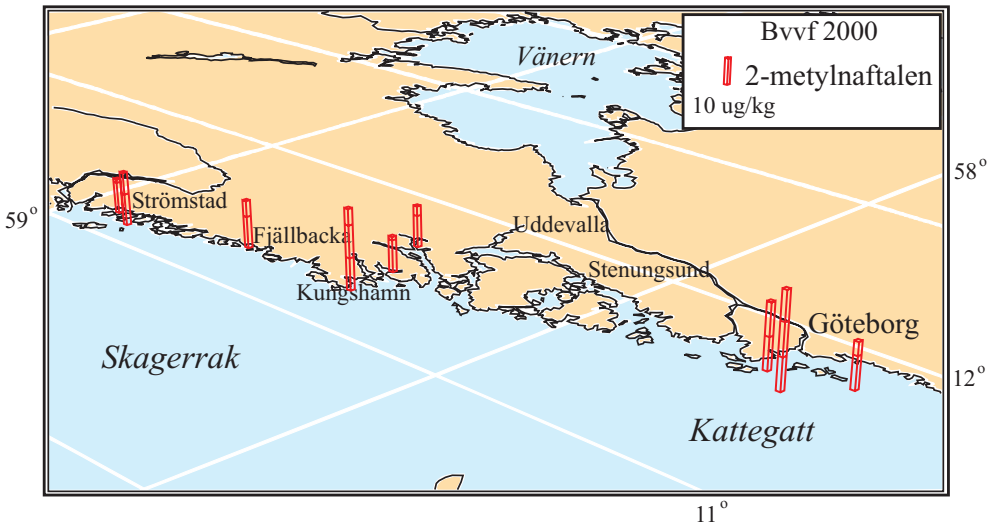


Fig 2:85. Fördelningen av 2-metylnaftalen (µg/kg ts) i Bohuskusten ytsediment (0–1 cm) 2000.
The distribution of the 2-methylnaphtalene (µg/kg) in the surficial sediment (0–1 cm) of the Bohus Coast in 2000.

2.6.16 POLYKLORERADE BIFENYLER SAMT FÖRÄNDRINGAR EFTER 1990

Analysresultaten vad avser polyklorerade bifenyler (PCB) redovisas i tabell 2:53. Värdena avser dels summan av sju identifierade PCB:er (kongenerna PCB-28, PCB-52, PCB-101, PCB-118, PCB-153, PCB-138 och PCB-180), vilka sammanförs under begreppet ∑7-PCB och dels övriga identifierade PCB:er (dvs. förutom nämnda PCB:er också kongenerna PCB-105, PCB-156, PCB-157, PCB-167 och PCB-209).

Koncentrationen av ∑7-PCB i ytsedimenten varierar mellan 0,33 och 10 µg/kg ts med ett medelvärde och medianvärde av 3,1 respektive 2,8 µg/kg ts (tabell 2:54). Den geografiska fördelningen för ∑7-PCB respektive total PCB (som Aroklor) illustreras i figurerna 2:86–2:87.

I likhet med 1995 återfinns den högsta halten ∑7-PCB (10 µg/kg ts) på stationen vid Strömstad. På övriga stationer låg halterna under 4 µg/kg ts. Mönstret är detsamma för total PCB.

I tabell 2:56 redovisas ∑7-PCB-halterna från öppna Skagerrak och Kattegatt. Medel- och medianvärdena för dessa områden är 5 respektive 3,5 µg/kg ts för ∑7-PCB, dvs. ca 70 % av motsvarande värde utmed Bohuskusten.

Vid en undersökning av sedimenten på 12 stationer mellan Hvaler i Norge, och Kosteröarna 1989 påträffades inga sediment med PCB-halter överstigande 22 µg/kg ts (Helland m.fl. 1990). Ännu lägre koncentrationer (<5 µg/kg ts) av PCB konstaterades på ett hundratal stationer i Nordsjön (Knickmeyer & Steinhart 1988). Ifrån södra Nordsjön och Skagerrak rapporterar Lohse (1988) <7 µg/kg repektive <1 µg/kg av PCB i sedimenten. I Gotlandsdjupet i det starkt PCB-kontaminerade Östersjön har halter på upp till 950 µg/kg ts uppmätts (Odén & Ekstedt 1976). I övrigt varierar halterna mellan 5 och 200 µg/kg ts i Östersjön. De i föreliggande undersökning registrerade halterna från Kosterfjorden (3 µg/kg ts) överenstämmer med de halter som Helland m.fl. (1990) erhöll i området 1989.

Enligt svenska bedömningsgrunder för polyklorerade bifenyler (∑7 PCB) i kust- och havssediment (Naturvårdsverket 2005) uppvisar Vinga, och Strömstad *höga halter* (klass 4), medan övriga stationer uppvisar en låg (klass 2) till *medelhög halt* (klass 3) i ytsedimenten år 2000 (tabell 2:55). Baserat på halten tot-PCB är mönstret detsamma med undantag för Vinga som i det fallet hamnar i klass 3 (tabell 2:55).

I jämförelse med 1990 och 1995 är miljökvaliteten med avseende på PCB förbättrad på flertalet stationer. Såväl 1990 som 1995 uppmättes *höga* till *mycket höga halter* utmed stora delar av Bohuskusten (tabell 2:55). Total PCB analyserades inte vid 1995 års undersökningar.

Utvecklingstrenden för ∑7 PCB på varje enskild station mellan 1995 och 2000 illustreras i figur 2:88. Halten av ∑7 PCB har sjunkit på samtliga stationer. I medeltal har halten sjunkit med 59 % (fig. 2:89), dvs. betydligt mer än de 35 % som krävs för att en förändring med säkerhet skall kunna detekteras vid ett femårigt provtagningsintervall.

Tabell 2:53. Polyklorerade bifenyler (PCB, ∑7-Dutch, total som Aroclor 1254) i Bohuskustens ytsediment (0–1 cm) 1995–2000.

*Polychlorinated biphenyls (PCB, ∑7-Dutch, total as Aroclor 1254) in 1995–2000 in the surficial sediments (0–1 cm) of the Bohus Coast. * = Total PCB = c. 2 x ∑7 PCB. Total PCB = c. 2 x ∑7 PCB*

Station	År	∑7 PCB µg/kg	Tot PCB µg/kg	PCB 28 µg/kg	PCB 52 µg/kg	PCB 101 µg/kg	PCB 118 µg/kg	PCB 138 µg/kg	PCB 153 µg/kg	PCB 180 µg/kg	PCB 105 µg/kg	PCB 156 µg/kg	PCB 157 µg/kg	PCB 167 µg/kg	PCB 209 µg/kg
Valö	1990	8*	16												
	1995	1,7	3,4*	0,1	0,1	0,2	0,3	0,4	0,4	0,2	0,1	0,1	-	-	0,1
	2000	2,2	7,7	<0,1	<0,2	0,14	0,17	0,27	0,31	1,3	0,064	0,027	<0,01	0,016	-
Vinga	1990														
	1995														
	2000	4,0	14	<0,1	<0,4	0,64	0,62	1,1	1,1	0,56					
Skalkorgarna	1990	100*													
	1995	12,2	24*	0,2	0,3	1,1	1,6	3,5	3,3	2,2	0,5	0,5	-	-	0,5
	2000	1,9	6,5	<0,1	<0,2	0,31	0,25	0,42	0,44	0,44	0,096	0,053	<0,01	0,02	-
Danafjord	1990	90*													
	1995	6,5	13*	0,2	0,3	0,8	0,9	1,8	1,7	0,8	0,4	0,2	-	-	0,4
	2000	3,9	14	<0,1	<0,3	0,52	0,38	0,98	1,2	0,85	0,13	0,12	0,018	0,056	-
Rävungarna	1990	14*													
	1995	6	14*	0,3	0,3	0,7	0,8	1,6	1,4	0,9	0,3	0,2	-	-	0,3
	2000	3,7	13	<0,1	<0,7	0,53	0,52	1,0	1,0	0,65	0,19	0,13	0,023	0,065	-
Stenungsund G2	1990	40*													
	1995	5,4	11	0,2	0,3	1,1	0,9	1,2	1,1	0,6	0,4	0,2	-	-	0,4
	2000	0,33	1,2	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,33	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	-
30–32 cm (G2)	1995	20,3	41*												
Havstensfjord	1990	20*													
	1995	7,7	15*	0,3	0,4	1	1,4	2	1,8	0,8	0,6	0,3	-	-	0,5
	2000	2,1	7,2	<0,1	<0,2	0,34	0,43	0,53	0,54	0,23	0,19	0,052	0,013	0,028	-
Byfjorden	1990	14*													
	1995	12,3	25*	0,4	0,6	1,6	1,7	3,2	3,1	1,7	0,6	0,4	-	-	0,4
	2000	1,1	3,9	<0,1	<0,1	0,17	0,14	0,25	0,27	0,28	0,057	0,030	<0,01	0,014	-
Saltkällefjorden	1990	20*													
	1995	6,7	13*	0,2	0,3	0,9	1	1,9	1,8	0,6	0,4	0,3	-	-	0,4
	2000	3,7	13	<0,1	<0,4	0,67	0,69	0,98	1,1	0,3	0,27	0,11	0,026	0,056	-
Brofjorden	1990	-													
(319)	1995	3,4	6,8*	0,1	0,1	0,3	0,5	0,8	0,8	0,3	0,1	0,1	-	-	0,3
(324)	2000	2,7	9,3	<0,1	<0,4	0,43	0,42	0,73	0,76	0,33	0,17	0,078	0,019	0,041	-
Byttelocket	1990														
	1995										-	-	-	-	-
	2000	3,8	13	<0,2	<0,5	0,68	0,68	1,0	1,1	0,31	0,24	<0,10	0,027	0,056	-
Fjällbacka	1990														
	1995	4,3	8,6*	0,2	0,3	0,6	0,7	1,1	1,1	0,3	0,3	0,1	-	-	0,3
	2000	2,8	9,9	<0,1	<0,3	0,54	0,53	0,78	0,76	0,21	0,20	0,071	0,023	0,038	-
Kosterfjorden	1990	5*													
	1995	2,9	5,8*	0,3	0,2	0,4	0,4	0,7	0,7	0,2	0,2	0,1	-	-	0,5
	2000	1,1	4	<0,1	<0,1	0,21	0,22	0,36	0,36	<0,1	0,095	0,034	<0,01	0,02	-
Strömstad	1990	-													
	1995	22,2	44*	0,3	0,8	3,1	4	6,3	5,4	2,3	1,4	0,3	-	-	0,9
	2000	10	35	<0,1	<0,5	1,6	1,7	2,8	2,7	1,2	0,61	0,31	0,071	0,15	-

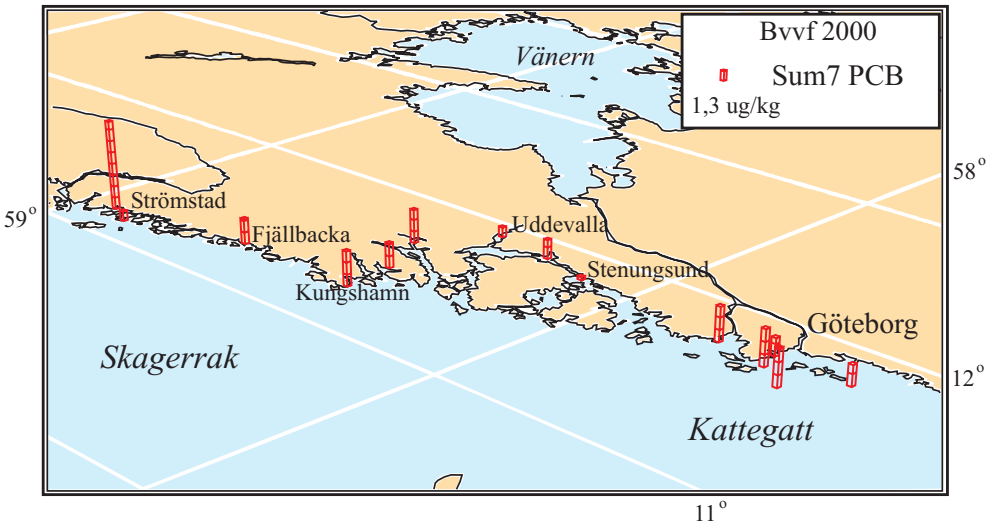


Fig 2:86. Fördelningen av ∑7 PCB (polyklorerade bifenyler,µg/kg) i Bohuskustens ytsediment (0–1 cm) 2000.

The distribution of ∑7 PCB (polychlorinated biphenyls, µg/kg) in surficial sediment (0–1 cm) of the Bohus Coast in 2000.

Tabell 2:54. Spridning och medelvärden för några klorerade föreningar i Bohuskustens ytsediment 1990–2000.
Range and means of chlorinated compounds in surficial sediments along the Bohus Coast in 1990–2000.

Bifenyl	År	Antal stationer (n)	Intervall µg/kg	Medelvärde MV µg/kg ts	Medianvärde Md µg/kg	Standardavvikelse s µg/kg ts
Tot PCB	1990	10	5–100	32	17	35
	1995*	12	3,4–44	15	13	11
	2000	14	1,2–35	11	9,6	8,1
∑7-PCB	1990*	10	2,5–50	16	8,5	17
	1995	12	1,7–22	7,6	6,3	5,7
	2000	14	0,3–10	3,1	2,8	2,3
PCB 28	1995	12	<0,1–0,4	0,23	0,2	0,09
	2000	14	<0,1–0,2	0,11	0,1	0,03
PCB 52	1995	12	<0,1–0,8	0,33	0,3	0,19
	2000	14	<0,1–0,7	0,31	0,3	0,18
PCB 101	1995	12	0,2–3,1	0,98	0,85	0,77
	2000	14	<0,1–1,6	0,49	0,48	0,38
PCB 118	1995	12	0,3–4	1,2	0,9	0,99
	2000	14	<0,1–1,7	0,49	0,43	0,40
PCB 138	1995	12	0,4–6,3	2,0	1,7	1,6
	2000	14	<0,1–2,8	0,81	0,76	0,66
PCB 153	1995	12	0,4–5,4	1,9	1,6	1,4
	2000	14	<0,1–2,7	0,84	0,76	0,65
PCB 180	1995	12	0,2–2,3	0,91	0,7	0,75
	2000	14	<0,1–1,3	0,51	0,33	0,37
PCB 105	1995	12	0,1–1,4	0,44	0,4	0,34
	2000	14	<0,01–0,61	0,18	0,18	0,15
PCB 156	1995	12	0,1–0,5	0,23	0,2	0,13
	2000	14	<0,01–0,31	0,089	0,075	0,074
PCB 157	1995					
	2000	14	<0,01–0,071	0,021	0,019	0,016
PCB 167	1995					
	2000	14	<0,01–0,15	0,045	0,040	0,036
PCB 209	1995	12	0,1–0,9	0,42	0,4	0,19
	2000					

* = Total PCB = ca 2 x ∑7 PCB. Total PCB = c. 2 x ∑7 PCB

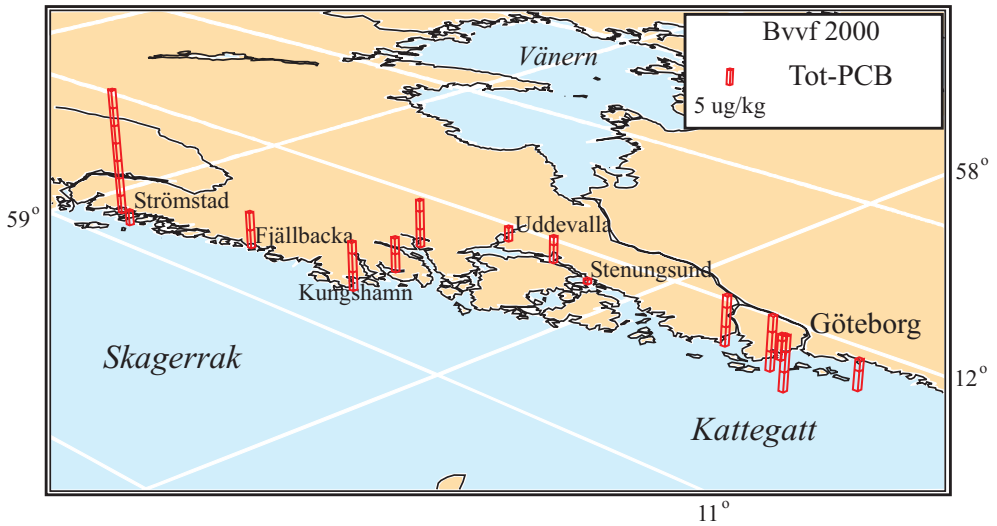


Fig 2:87. Fördelningen av tot-PCB (polyklorerade bifenyler, µg/kg) i Bohuskustens ytsediment (0–1 cm) 2000.
The distribution of tot-PCB (polychlorinated biphenyls, µg/kg) in surficial sediment (0–1 cm) of the Bohus Coast in 2000.

Tabell 2:55 Ytsedimentens (0–1 cm) miljökvalitet utmed Bohuskusten 1990–2000 med avseende på ∑7 PCB och total-PCB. Klassning enligt svenska bedömningsgrunder (Naturvårdsverket 2005).

The environmental quality of the surface sediments (0–1 cm) along the Bohus Coast with respect to the content of ∑7 PCB and total PCB in 1990–2000. Classification according to Swedish Environmental Quality Criteria (Naturvårdsverket 2005).

Station µg/kg	s7PCB 1990	s7PCB 1995	s7PCB 2000
Valö		1,7	2,2
Vinga			4
Skalkorgarna		12,2	1,9
Danafjord		6,5	3,9
Rävungarna		6	3,7
Stenungsund		5,4	0,33
Havstensfjord		7,7	2,1
Byfjorden		12,3	1,1
Saltkällefjorden		6,7	3,7
Brofjorden		3,4	2,7
Byttelocket			3,8
Fjällbacka		4,3	2,8
Kosterfjorden		2,9	1,1
Strömstad		22,2	10

Station µg/kg	TotPCB 1990	TotPCB 1995	TotPCB 2000
Valö	8		7,7
Vinga			14
Skalkorgarna	100		6,5
Danafjord	90		14
Rävungarna	14		13
Stenungsund	40		1,2
Havstensfjord	20		7,2
Byfjorden	14		3,9
Saltkällefjorden	20		13
Brofjorden	9		9,3
Byttelocket			13
Fjällbacka			9,9
Kosterfjorden	5		4
Strömstad			35

Organiska miljögifter	
Klass 1	Ingen halt
Klass 2	Låg halt
Klass 3	Medelhög halt
Klass 4	Hög halt
Klass 5	Mycket hög halt

Utvecklingstrenden vad avser total-PCB mellan de tre undersökningsåren 1990, 1995 och 2000 har inte varit möjlig att studera direkt eftersom inga totalhalter analyserades 1995. Eftersom ∑7 PCB utgör ca 50 % av totalhalten PCB (De Voogt & Brinkman 1989) har den förra halten på varje station multiplicerats med 2 för att erhålla totalhalter för 1995. Förändringarna av sedimentens halt av tot-PCB på respektive station mellan 1990 och 2000 års undersökningar illustreras i figur 2:90. På samtliga stationer var halten betydligt högre 1990 jämfört med år 2000. Minskningen är i medeltal nästan 66 %, dvs. betydligt mer än de minst 20 %, som baserat på blandningsfaktorn i ytsedimentet (se avsnitt 2.5 ovan), krävs för att en förändring med säkerhet skall kunna detekteras vid ett tioårigt provtagningsintervall. Mellan 1995 och 2000 har halten i medeltal sjunkit med 27 %, dvs. något mindre än de 35 % som krävs för att en förändring med säkerhet skall kunna detekteras vid femårigt provtagningsintervall (fig. 2:91).

PCB är inte associerat till det organiska materialet i sedimenten, vilket framgår av den linjära sambandsanalysen i figur 2:91 (r = 0,26). Inget samband kunde heller påvisas med kornstorleksfraktionen <63 µm.

Tabell 2:56. Spridning och medelvärden för koncentrationerna av polyklorerade bifenyler (∑7 PCB) i ytsediment i Skagerrak och Kattegatt.
Range and means of polychlorinated biphenyls (∑7 PCB) concentrations in the surficial sediments of the Skagerrak and Kattegat.

Område	År	Antal stationer (n)	Intervall ∑7 PCB µg/kg	MV ∑7 PCB µg/kg	Referens
Bakgrund				0	Naturvårdsverket 1999
VF kustvattenkontroll	1990*	10	(5–100)	32	Cato 1992
”	1995	12	1,7–22	7,6	Cato 1997
”	2000	14	0,33–10	3,1	Cato 2006
Göta älv	1990*	2	(4–200)		Cato 1992.
”	1995	2	3,1–63		Cato 1997
”	2000	2	4,1–26	15	Cato 2006
Stenungsund	1994	13	3,3–37	10,3	Brorström-Lundén & Granmo 1995
”	1995	18	3,3–15	6	Cato 1997
”	2000	14	<0,1–3,7	1,3	Cato 2006
Gullmarsfjorden	1995	2	0,2–7,6	3,9	Cato 1997
”	2000	1	2,2	2,2	Cato 2006
Brofjorden	1995	13	1,7–4,6	3,4	Cato 1997
”	2000	8	0,2–2,7	1,4	Cato 2006
Idefjorden	1992	1	7,4	7,4	Berge & Helland 1993
Oslofjorden	1992	95	5–382	70	Konieczny 1994
Skagerrak-Kattegatt	1990–92	92	0,52–55	5,3	Cato 1997b

* = Tot PCB. Tot PCB

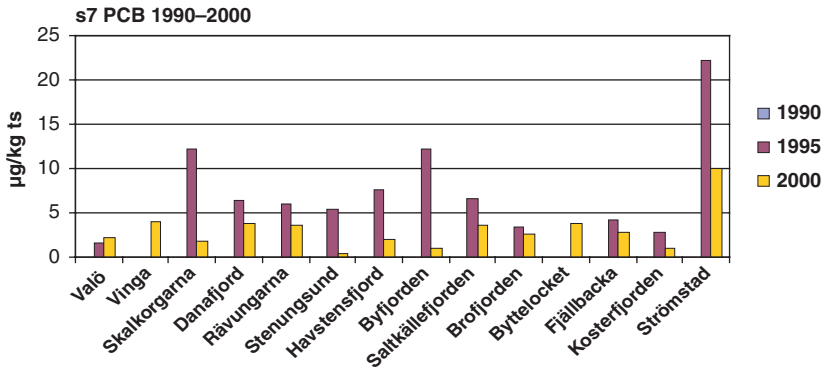


Fig. 2:88. Ytsedimentens halt av polyklorerade bifenyler (∑7-PCB, µg/kg ts) på respektive station utmed Bohuskusten 1995 och 2000.
The concentration of polychlorinated biphenyls (∑7-PCB, µg/kg dw) at each station along the Bohus Coast in 1995 and 2000 respectively.

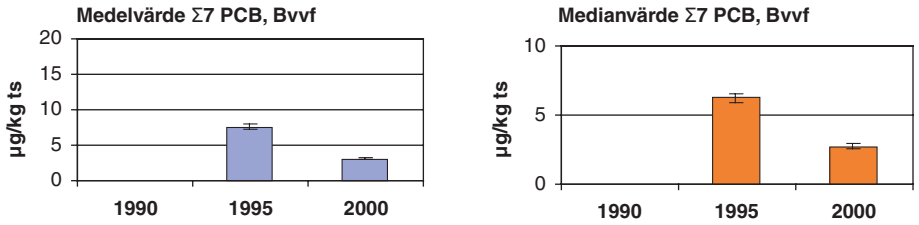


Fig. 2:89. Medelvärden (t.v.) och medianvärden (t.h.) för polyklorerade bifenyler (∑7-PCB) i Bohuskustens ytsediment (0–1 cm) mellan 1995 och 2000.
Mean (left) and median (right) values of polychlorinated biphenyls (∑7-PCB) between 1995 and 2000 in the surficial sediments (0–1 cm) of theBohusCoast.

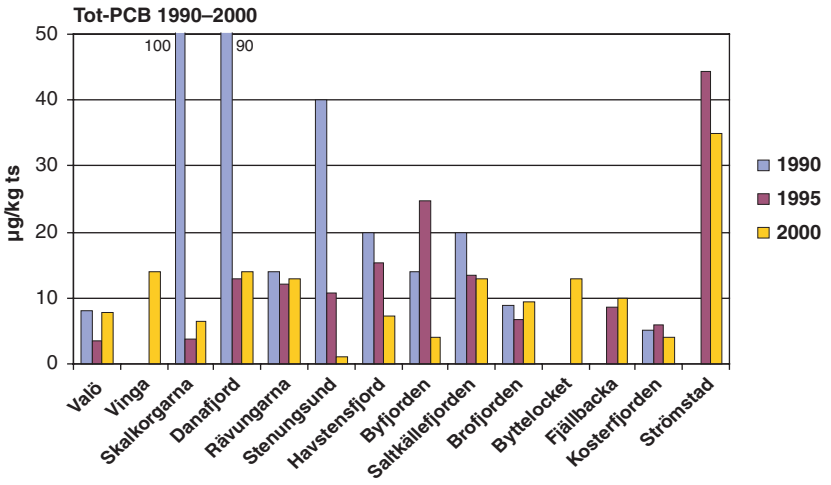


Fig. 2:90. Ytsedimentens (0–1 cm) totalhalt av polyklorerade bifenyler (tot-PCB, µg/kg ts) på respektive station utmed Bohuskusten 1990–2000.

The total concentration of polychlorinated biphenyls (tot-PCB, µg/kg dw) in the surficial sediment (0–1 cm) at each station along the Bohus Coast in 1990–2000 respectively.

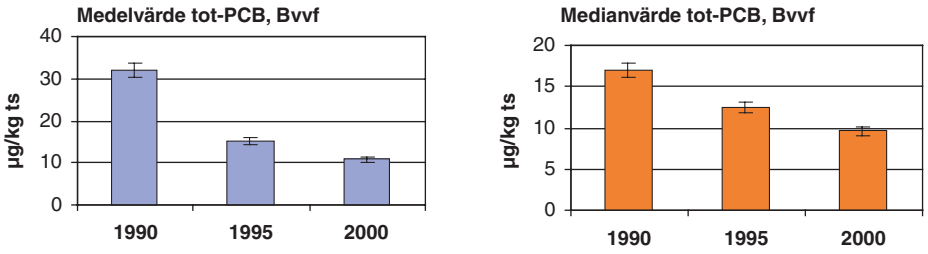


Fig. 2:91. Medelvärden (t.v.) och medianvärden (t.h.) för totalhalten av polyklorerade bifenyler (tot-PCB) i Bohuskustens ytsediment (0–1 cm) mellan 1990 och 2000. Data för 1995 är beräknade enligt total PCB = ca 2 x ∑7 PCB.

Mean (left) and median (right) values of the total content of polychlorinated biphenyls (tot-PCB) between 1990 and 2000 in the surficial sediments (0–1 cm) of the Bohus Coast. Data from 1995 has been estimated as total PCB = c. 2 x ∑7 PCB.

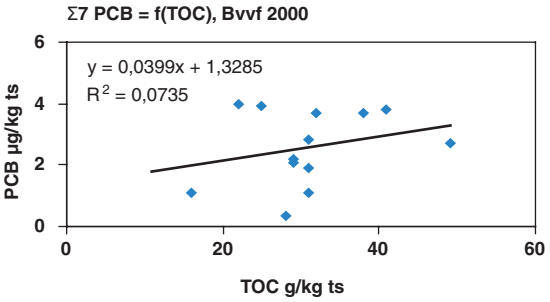


Fig 2:92. Sambandet mellan ∑7 PCB och totalt organiskt kol (TOC) i Bohuskustens ytsediment (0–1 cm) 2000.

The relationship in 2000 between ∑7 PCB and total organic carbon (TOC) in the surficial sediments (0–1 cm) of the Bohus Coast.

2.6.17 PLANA PCB SAMT FÖRÄNDRINGAR EFTER 1995

En speciell och mycket toxisk grupp av PCB utgör de s.k. plana PCB-erna, dvs. PCB-kongener med kloratomer i molekylens para- och meta-positioner. Dessa s.k. nonorto PCBer, omfattar i föreliggande studie kongenerna PCB-77, PCB-81, PCB-126 och PCB-169. Resultaten redovisas i tabell 2:57. I tabellen återges också ∑ plana PCB, toxisitetsekvivalenterna TE-WHO enligt Ahlborg m.fl. (1994) samt i-TE(Safe) enligt Safe (1994).

Endast PCB-77 kunde detekteras vid 2000 års undersökningar. Koncentrationen av ∑ plana-PCB (i detta

fall PCB-77) i ytsedimenten varierar mellan <10 och 57 ng/kg ts med ett medelvärde och medianvärde av 28 respektive 27 ng/kg ts (2:58). Den geografiska fördelningen illustreras i figur 2:93. Liksom för övriga PCB påträffades den högsta halten vid Strömstad.

Svenska bedömningsgrunder för plana PCB saknas.

I tabell 2:59 redovisas de fåtal data som finns över plana PCB från Bohuskusten. Halterna utmed kusten förefaller att vara lägre än i Göta älv och dess esturium.

Vid en jämförelse med de två stationer (Stenungsund och Kosterfjorden) som analyserades på plana PCB 1995 kan konstateras att halterna på dessa två stationer minskat fram till år 2000 med närmare 100 % respektive 68 %, dvs. siffror som är större än de 35 % (blandningsfaktorn) som krävs för att en förändring med säkerhet skall kunna detekteras vid ett femårigt provtagningsintervall (fig 2:94).

Tabell 2:57. Plana PCB jämte toxisitetsekvivalenter i Bohuskustens ytsediment (0–1 cm) 1995–2000.
Non-ortho PCB and the accounted toxic equivalents in the surficial sediments (0–1 cm) of the Bohus Coast in 1995–2000.

Station	År	PCB 77 ng/kg	PCB 81 ng/kg	PCB 126 ng/kg	PCB 169 ng/kg	∑ non-orto PCB ng/kg	TEF (WHO)	i-TEF (Safe)
Valö	1995							
	2000	17		<10	<10	17	0,0017	1,7
Vinga	1995							
	2000	42		<10	<10	42	0,0042	4,2
Skalkorgarna	1995							
	2000	<10		<10	<10	<10	<0,001	<0,1
Danafjord	1995							
	2000	19		<10	<10	19	0,0019	1,9
Rävungarna	1995							
	2000	37		<10	<10	37	0,0037	3,7
Stenungsund	1995	155	2,7	7,2	1,7	167	0,81	2,4
	2000	<10		<10	<10	<10	<0,001	<0,1
Havstensfjord	1995							
	2000	40		<10	<10	40	0,004	4
Byfjorden	1995							
	2000	<10		<10	<10	<10	<0,001	<0,1
Saltkällefjorden	1995							
	2000	29		<10	<10	29	0,0029	2,9
Brofjorden (319)	1995							
(324)	2000	21		<10	<10	21	0,0021	2,1
Byttelocket	1995							
	2000	41		<10	<10	41	0,0041	4,1
Fjällbacka	1995							
	2000	35		<10	<10	35	0,0035	3,5
Kosterfjorden	1995	71	1,5	4,3	1,3	78	0,48	1,2
	2000	25		<10	<10	25	0,0025	2,5
Strömstad	1995							
	2000	57		<10	<10	57	0,0057	5,7

Tabell 2:58. Spridning och medelvärden för några plana PCB i Bohuskustens ytsediment (0–1 cm) 1995–2000.
Range and means of non-ortho PCB in surficial sediments (0–1 cm) along the Bohus Coast in 1995–2000.

Bifenyl	År	Antal stationer (n)	Intervall ng/kg	Medelvärde MV ng/kg ts	Medianvärde Md ng/kg	Standardavvikelse s ng/kg ts
PCB-77	1995	2	71–155	113		
	2000	14	<10–57	28	27	14
PCB-81	1995	2	1,5–2,7	2,1		
	2000					
PCB-126	1995	2	4,3–7,2	6,7		
	2000	14	<10–<10	<10	<10	–
PCB-169	1995	2	1,3–1,7	1,5		
	2000	14	<10–<10	<10	<10	–
∑nonorto PCB	1995	2	78–167	123		
	2000	14	<10–57	28	27	14
TEF (WHO)	1995	2	0,48–0,81	0,65		
	2000	14	<0,001–0,0057	0,0028	0,0027	0,0014
i-TEF (Safe)	1995	2	1,2–2,4	1,8		
	2000	14	<0,1–5,7	2,8	2,7	1,4

Tabell 2:59. Spridning och medelvärden för koncentrationerna av plana PCB i ytsediment (0–1 cm) i Skagerrak och Kattegatt.
Range and means of non-ortho PCB concentrations in the surficial sediments (0–1 cm) of the Skagerrak and Kattegat.

Område	År	Antal stationer (n)	Intervall ∑ nonorto PCB ng/kg	MV ∑ nonorto PCB ng/kg	Referens
Bakgrund				0	Naturvårdsverket (in press)
VF kustvattenkontroll	1995	2	78–167	123	Cato 1997
”	2000	14	<10–57	28	Cato 2006
Göta älv	1995				
”	2000	2	61–96	79	Cato 2006
Stenungsund	1995				
”	2000	14	<10–86	30	Cato 2006
Brofjorden	2000	8	<10–28	19	Cato 2006

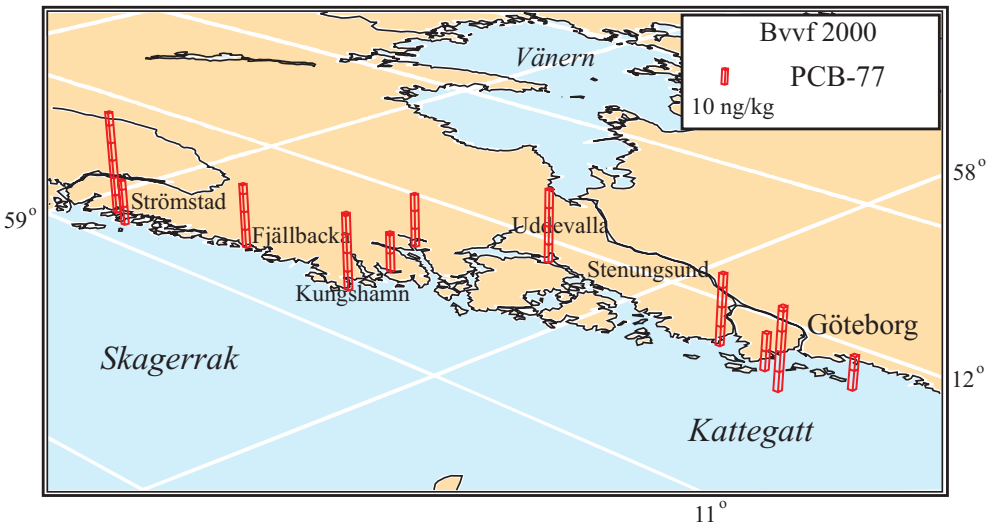


Fig 2:93. Fördelningen av plana PCB (ng/kg) i Bohuskustens ytsediment (0–1 cm) 2000.
The distribution of non-ortho PCB (ng/kg) in 2000 in surficial sediment (0–1 cm) of the Bohus Coast.

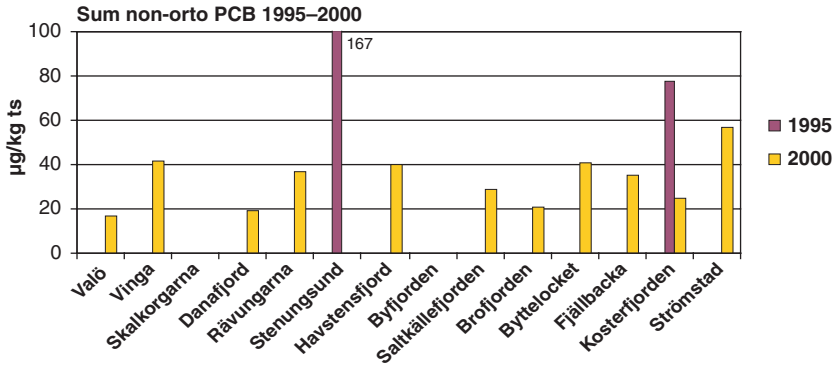


Fig. 2:94. Ytsedimentens (0–1 cm) halt av plana PCB (ng/kg ts) på respektive station utmed Bohuskusten 1995–2000.
The concentration of non-ortho PCB (ng/kg dw) in the surficial sediment (0–1 cm) at each station along the Bohus Coast in 1995–2000 respectively.

2.6.18 KLORBENSENER OCH KLORSTYRENER SAMT FÖRÄNDRINGAR EFTER 1990

Analysresultaten från 2000 års undersökning avseende pentaklorbensen (Pe-CB), hexaklorbensen (HCB) och oktaklorstyren (OCS) redovisas i tabell 2:60 tillsammans med motsvarande data från 1990 och 1995 års undersökningar.

Pentaklorbensen

På åtta av kustvattenkontrollens fjorton stationer låg pentaklorbensenhalterna (pe-CB) under detektionsgränsen (tabell 2:60). Motsvarande förhållande 1995 var fem stationer. På övriga stationer varierade halterna år 2000 mellan 0,1 och 0,16 µg/kg ts med ett medelvärde och medianvärde av 0,07 respektive 0,09 µg/kg ts (tabell 2:61). Den geografiska fördelningen illustreras i figur 2:95. År 2000 förekommer pentaklorbensen endast i områdena utanför Göteborg och Strömstad. Det högsta värdet (0,16 µg/kg ts) påträffades vid Vinga. Tidigare år har det högsta värdet påträffats vid Stenungsund.

Motsvarande data vad avser pe-CB från ytsediment mellan Hvaler i Norge och Kosteröarna på svenska västkusten varierade mellan 0,1 och 0,5 µg/kg ts (Helland m.fl. 1990). Från övre delen av Löperen i Norge konstaterades pe-CB-halter i sedimenten på mellan 2 och 10 µg/kg ts (Naes 1983). I tabell 2:62 redovisas halterna i några andra områden utmed Skagerrakkusten.

Förändringarna av sedimentens pe-CB-halter på respektive station mellan 1990 och 2000 års undersökningar illustreras i figur 2:96. På samtliga stationer har halterna sjunkit mellan 1995 och 2000 alternativt båda åren legat under detektionsgränsen (0,01-0,1 µg/kg ts). Minskningen är i medeltal 45 % (fig. 2:97), dvs. betydligt mer än de minst 35 %, som baserat på blandningsfaktorn i ytsedimentet (se avsnitt 2.5 ovan), krävs för att en förändring med säkerhet skall kunna detekteras vid femårigt provtagningsintervall. Sedan 1990 har halten i medeltal minskat med 83 %.

Svenska bedömningsgrunder för pe-CB i kust- och havssediment saknas. Den naturliga bakgrunden beräknas vara noll. Helland m.fl. 1990 uppger dock en förmodad bakgrund ifrån Hvalerområdet till 0,02 µg/kg ts.

pe-CB är ej associerat till det organiska materialet i sedimenten, vilket framgår av det negativa och approximativt linjära samband som råder (r = –0,56).

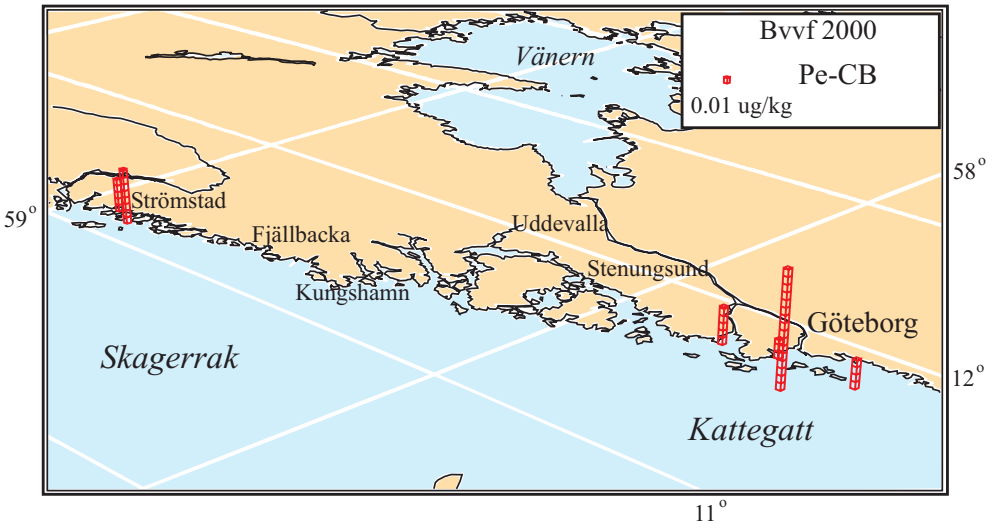


Fig 2:95. Fördelningen av pentaklorbensen (pe-CB, µg/kg ts) i Bohuskusten ytsediment (0–1 cm) 2000.
The distribution of pentachlorbenzene (pe-CB, µg/kg dw) in 2000 in surficial sediment (0–1 cm) of the Bohus Coast.

Tabell 2:60. Pentaklorbensen (5CB), hexsaklorbensen (HCB), oktaklorstyren (OCS) och lindan (γ-HCH) i Bohuskustens ytsediment (0–1 cm) 1990–2000.

Pentachlorbenzene (5CB), hexsachlorbenzene (HCB), octachlorstyrene (OCS and lindan (γ-HCH) in 1990–2000 in the surficial sediments (0–1 cm) of the Bohus Coast.

Station	År	Pe-CB µg/kg	HCB µg/kg	OCS µg/kg	Lindan µg/kg
Valö	1990	0,2	1,9	1,4	-
	1995	<0,1	0,1	<0,1	<0,1
	2000	0,04	0,12	0,05	-
Vinga	1990	-	-	-	-
	1995	-	-	-	-
	2000	0,16	0,4	0,017	-
Skalkorgarna	1990	n.d.	4,3	n.d.	-
	1995	0,2	0,4	<0,1	0,1
	2000	0,03	0,07	<0,01	-
Danafjord	1990	0,4	0,3	1,3	-
	1995	<0,1	0,1	<0,1	0,2
	2000	<0,1	0,15	<0,01	<0,05
Rävungarna	1990	0,3	0,6	1,1	-
	1995	0,1	0,1	<0,1	0,1
	2000	0,05	0,2	<0,01	-
Stenungsund (G2)	1990	2,5	12	n.d.	-
	1995	0,3	0,7	<0,1	0,1
30–32cm (G2)	1995	0,4	0,7	<0,1	0,1
	2000	<0,01	0,11	<0,01	<0,05
Havstensfjord	1990	n.d.	0,5	n.d.	-
	1995	0,2	0,2	<0,1	0,1
	2000	<0,1	0,28	<0,01	-
Byfjorden (319)	1990	0,3	0,1	2,1	-
	1995	0,1	0,3	<0,1	0,2
	2000	<0,1	<0,01	<0,01	-
Saltkällefjorden	1990	n.d.	0,3	n.d.	-
	1995	0,1	0,1	<0,1	0,1
	2000	<0,1	0,15	<0,01	-
Brofjorden	1990	-	-	-	-
	1995	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
	2000	<0,1	0,11	<0,01	-
Byttelocket	1990	-	-	-	-
	1995	-	-	-	-
	2000	<0,1	0,24	<0,01	-
Fjällbacka	1990	-	-	-	-
	1995	<0,1	0,1	<0,1	<0,1
	2000	<0,1	0,14	<0,01	-
Kosterfjorden	1990	0,2	0,2	6,1	-
	1995	0,1	0,1	<0,1	<0,1
	2000	0,08	0,19	<0,01	-
Strömstad	1990	-	-	-	-
	1995	<0,1	0,1	<0,1	0,3
	2000	0,05	0,11	<0,01	-

n.d.= Ej detekterat. n.d.=Not detected.
- = Ej analyserat. Not analysed.

Tabell 2:61. Spridning och medelvärden för några klorbensener, klorstyrener och lindan i Bohuskustens ytsediment (0–1 cm) 1990–2000.

Range and means of chlorobenzenes, chlorostyrenes and lindan in surficial sediments (0–1 cm) along the Bohus Coast in 1990–2000.

Klorbensener, Klorstyrener, Lindan	År	Antal stationer (n)	Intervall µg/kg	Medelvärde MV µg/kg ts	Medianvärde Md µg/kg	Standardavvikelse s µg/kg ts
pe-CB	1990	10	0,2–2,5	0,4	0,25	0,7
	1995	12	0,1–0,3	0,13	0,1	0,06
	2000	14	<0,01–0,16	0,073	0,091	0,043
HCB	1990	10	0,1–12	2,1	0,4	3,7
	1995	12	0,1–0,7	0,2	0,1	0,19
	2000	14	<0,01–0,4	0,16	0,15	0,096
okta-CS (OCS)	1990	5	1,1–6,1	1,2	0,55	1,9
	1995	12	<0,1	<0,1	<0,1	–
	2000	14	<0,01–0,054	0,014	0,01	0,011
Lindan	1995	12	<0,1–0,3	0,13	0,1	0,065
	2000	2	<0,05	<0,05	<0,05	–

Tabell 2:62. Spridning och medelvärden för koncentrationerna av pentaklorbensen (Pe-CB) i ytsediment i Skagerrak och Kattegatt.
Range and means of pentachlorbenzene concentrations in the surficial sediments of the Skagerrak and Kattegat.

Område	År	Antal stationer (n)	Intervall 5CB µg/kg	MV 5CB µg/kg	Referens
Bakgrund	1990	1		0,02	Helland m.fl. 1990
VF kustvattenkontroll	1990	10	0,2–2,5	0,7	Cato 1997
”	1995	12	<0,1	<0,1	Cato 1997
”	2000	14	<0,01–0,16	0,073	Cato 2006
VF Göta älv	1990	2	0,4–1,5	1,0	Cato 1992
”	1995	2	0,1–0,3	0,2	Cato 1997.
”	2000	2	0,024–0,22	0,12	Cato 2006
Stenungsund	1994	13	<0,8–6,6	2,1	Brorström-Lundén & Granmo 1995
	1995	15	0,1–0,7	0,32	Cato 1997
	2000	14	0,03–0,09	0,24	Cato 2006
Gullmarsfjorden	1995	2	<0,1–0,1	<0,1	Cato 1997
Idefjorden	1992	1	0,6	0,6	Berge&Helland 1993
Hvaler (Norge)	1989	12	0,1–0,5	0,3	Helland m.fl. 1990
Oslofjorden	1992	21	<1–2	1,1	Konieczny 1994

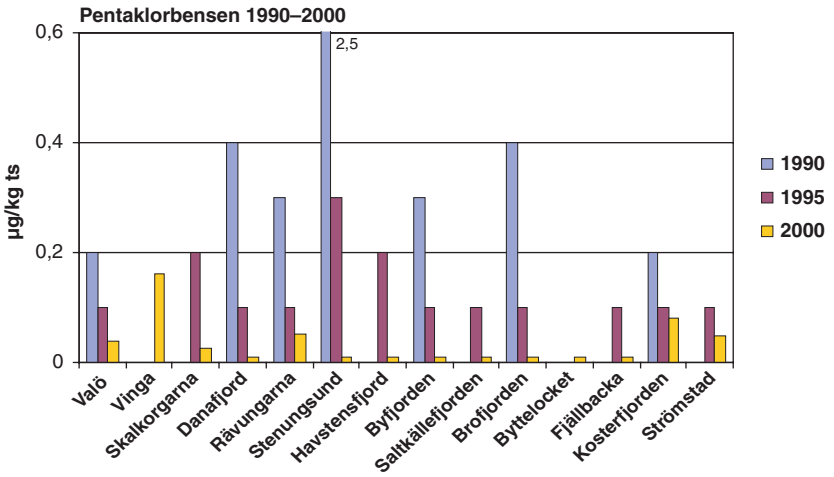


Fig. 2:96. Ytsedimentens (0–1 cm) halt av pentaklorbensen (Pe-CB, µg/kg ts) på respektive station utmed Bohuskusten 1990–2000.
The concentration of pentachlorbenzene (Pe-CB, µg/kg dw) in the surficial sediment (0–1 cm) at each station along the Bohus Coast in 1990–2000 respectively.

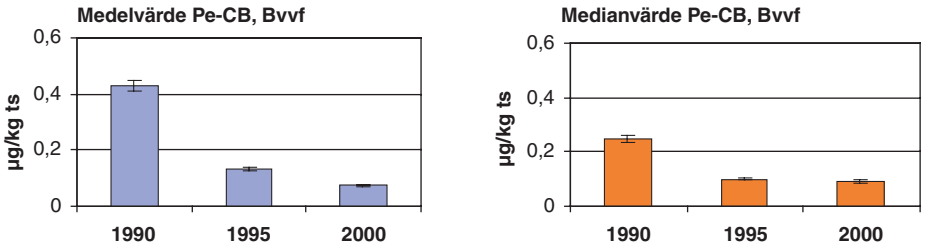


Fig. 2:97. Medelvärden (t.v.) och medianvärden (t.h.) för pentaklorbensen (Pe-CB) i Bohuskustens ytsediment (0–1 cm) mellan 1990–2000.
Mean (left) and median (right) values of pentachlorbenzene (Pe-CB) between 1990–2000 in the surficial sediments(0–1 cm) of the Bohus Coast.

Hexaklorbensen

Hexaklorbensen (HCB) kunde år 2000 detekteras på samtliga stationer utom i Byfjorden. Halterna i ytsedimentet varierade mellan <0,01 och 0,4 µg/kg ts (tabell 2:60) med ett medelvärde och medianvärde på 0,16 respektive 0,15 µg/kg ts (tabell 2:61). Den geografiska fördelningen i ytsedimenten illustreras i figur 2:98. Den högsta halten påträffades Vid Vinga. Tidigare år har den högsta halten noterats på station G2 utanför Stenungsund. Vid 1990 års undersökningar uppvisade Stenungsund det högsta värde (12 µg/kg ts) som någonsin observerats i Skagerrak och Kattegatt (Cato 1992). Halten låg då hundra gånger högre i Stenungsund än vad fallet är år 2000.

Enligt svenska bedömningsgrunder för hexaklorbensen (HCB) i kust- och havssediment (Naturvårdsverket 2005) uppvisar Vinga, Rävungarna, havstensfjord och Byttelocket år 2000 *höga halter* (klass 4) medan övriga stationer uppvisar en *medelhög halt* (klass 3)utom Byfjorden som uppvisar en låg halt (klass 2) (tabell 2:63).

I jämförelse med 1990 har miljökvaliteten i detta avseende förbättrats på flertalet stationer. 1990 uppmättes *mycket höga halter* utanför Göteborg och Stenungsund (tabell 2:63). I jämförelse med 1995 är miljökvaliteten relativt oförändrad i detta avseende.

Tabell 2:63 Ytsedimentens (0–1 cm) miljökvalitet utmed Bohuskusten 1990–2000 med avseende på HCB. Klassning enligt svenska bedömningsgrunder (Naturvårdsverket 2005).

The environmental quality of the surface sediments (0–1 cm) along the Bohus Coast with respect to the content of HCB in 1990–2000. Classification according to Swedish Environmental Quality Criteria (Naturvårdsverket 2005).

Station ug/kg	HCB 1990	HCB 1995	HCB 2000
Valö	1,9	0,1	0,12
Vinga			0,4
Skalkorgarna	4,3	0,4	0,069
Danafjord	0,3	0,1	0,15
Rävungarna	0,6	0,1	0,2
Stenungsund	12	0,7	0,11
Havstensfjord	0,5	0,2	0,28
Byfjorden	0,1	0,3	0,01
Saltkällefjorden	0,3	0,1	0,15
Brofjorden	0,3	0,1	0,11
Byttelocket			0,24
Fjällbacka		0,1	0,14
Kosterfjorden	0,2	0,1	0,19
Strömstad		0,1	0,11

Organiska miljögifter	
Klass 1	Ingen halt
Klass 2	Låg halt
Klass 3	Medelhög halt
Klass 4	Hög halt
Klass 5	Mycket hög halt

I tabell 2:64 redovisas HCB-halter i ytsediment från några områden utmed Bohuskusten, Skagerrak och Kattegatt. I jämförelse med denna kan konstateras att HCB-halterna i kustvattenkontrollens prover år 2000 är förhöjda på station Vinga, men att de i övrigt ligger på samma nivå som öppna Skagerrak och Kattegatt.

Från övre delen av Löperen i Norge konstaterades HCB-halter i sedimenten på mellan 2 och 10 µg/kg ts respektive 20 och 100 µg/kg ts (Naes 1983). Nordsjösedimenten innehåller mellan 0,001 och 0,26 µg/kg ts (Knickmeyer & Steinhart 1988). Något högre värden på mellan 0,002 och 3 µg/kg ts har dock rapporterats från södra Nordsjön (Lohse 1988). Koncentrationen av HCB i Elbe-estuariet varierade 1985 mellan 10 och 200 µg/kg ts (Sturm m.fl. 1986), medan t.ex. variationer på mellan 320 och 530 µg/kg ts redovisats från den kraftigt kontaminerade Frierfjorden i Norge (Bjerk & Brevik 1980).

Förändringarna av sedimentens HCB-halter mellan 1990 och 1995 års undersökningar illustreras i figur 2:99. På samtliga stationer har halterna drastiskt sjunkit mellan 1990 och 1995, medan en svag förhöjning kan noteras på flertalet stationer mellan 1995 och 2000. En kraftig nedgång kan dock noteras på stationerna Skalkorgarna, Stenungsund och i Byfjorden. Minskningen mellan 1990 och 2000 är i medeltal 92 % (fig. 2:100), dvs. betydligt mer än de minst 20 %, som baserat på blandningsfaktorn i ytsedimentet (se avsnitt 2.5), krävs för att en förändring med säkerhet skall kunna detekteras vid ett tioårigt provtagningsintervall.

HCB är dåligt associerat till det organiska materialet i sedimenten, vilket framgår av det negativa och approximativt linjära samband som råder ($r = -0,24$).

Tabell 2:64. Spridning och medelvärden för koncentrationerna av hexaklorbensen (HCB) i ytsediment i Skagerrak och Kattegatt.
Range and means of hexachlorbenzene (HCB) concentrations in the surficial sediments of the Skagerrak and Kattegat.

Område	År	Antal stationer (n)	Intervall HCB µg/kg	MV HCB µg/kg	Referens
Bakgrund (Färöarna)	1991	1		0,2	Cato 1997
Bakgrund (Stenungsund)	1995	1		0,1	Cato 1997
VF kustvattenkontroll	1990	10	0,10–12	2,1	Cato 1992
”	1995	12	0,1–0,7	0,2	Cato 1997
”	2000	14	<0,01–0,4	0,16	Cato 2006
VF Göta älv	1990	2	0,2–2,8	1,5	Cato 1992
”	1995	2	<0,1–1,8	0,9	Cato 1997
”	2000	2	0,08–1,1	0,6	Cato 2006
Stenungsund	1994	13	1,7–60	15	Brorström-Lundén & Granmo 1995
”	1995	18	0,1–7,9	1,6	Cato1997
”	2000	14	0,13–7	1,2	Cato 2006
Gullmarsfjorden	1995	2	0,1–0,4	0,25	Cato 1997
Idefjorden	1992	1		0,9	Berge & Helland 1993
Hvaler-Koster området	1989	12	0,10–0,80	0,35	Helland m.fl. 1990
Oslofjorden	1992	22	<1–2	1,2	Konieczny 1994
Skagerrak	1987	–	0,12–0,16	–	Lohse 1988
Skagerrak-Kattegatt	1990–92	105	0,10–12	0,38	Cato 1997

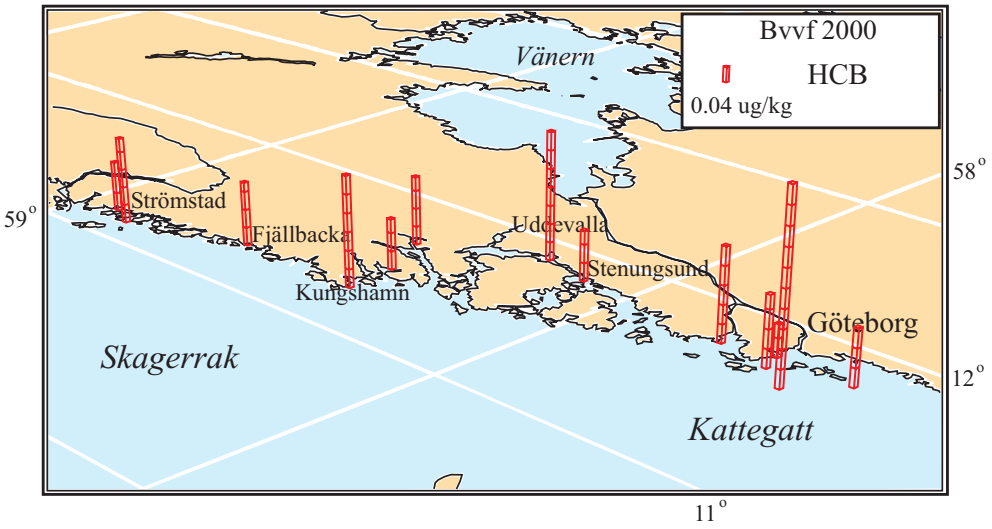


Fig 2:98. Fördelningen av hexaklorbensen (HCB, µg/kg ts) i Bohuskusten ytsediment (0–1 cm) 2000.

The distribution of hexachlorbenzene (HCB, µg/kg dw) in 2000 in surficial sediment (0–1 cm) of the Bohus Coast.

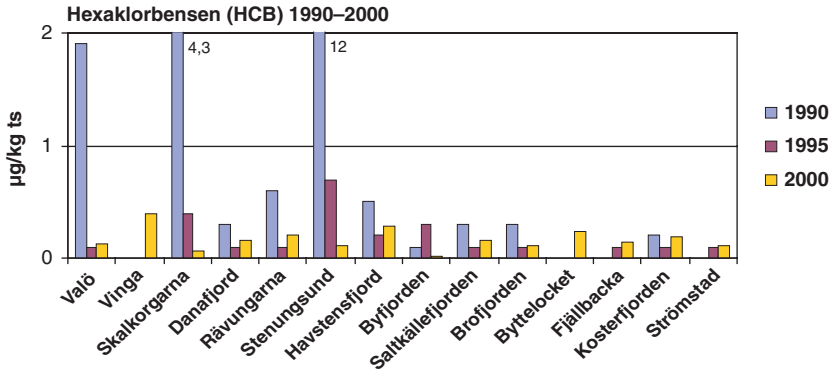


Fig. 2:99. Ytsedimentens (0–1 cm) halt av hexaklorbensen (HCB, µg/kg ts) på respektive station utmed Bohuskusten 1990–2000.

The concentration of hexachlorbenzene (HCB, µg/kg dw) in the surficial sediment (0–1 cm) at each station along the Bohus Coast in 1990–2000 respectively.

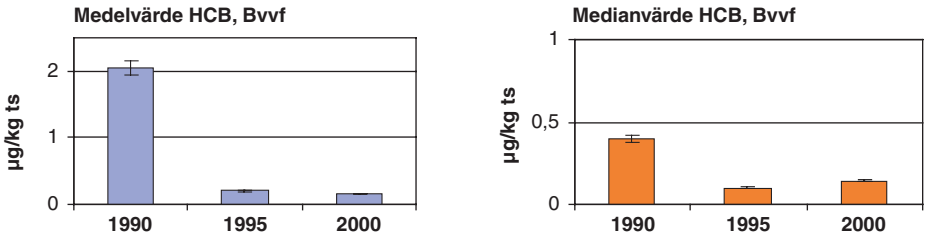


Fig. 2:100. Medelvärden (t.v.) och medianvärden (t.h.) för hexaklorbensen (HCB) i Bohuskustens ytsediment (0–1 cm) mellan 1990–2000.
Mean (left) and median (right) values of hexachlorbenzene (HCB) between 1990–2000 in the surficial sediments (0–1 cm) of theBohus Coast.

Oktaklorstyren

Koncentrationen av oktaklorstyren (OCS) låg under detektionsgränsen (<0,01 µg/kg ts) på samtliga stationer utom Valö och Vinga (tabell 2:60 och figur 2:101). Förändringarna av sedimentens OCS-halter mellan 1990 och 2000 års undersökningar illustreras i figur 2:102. På samtliga stationer har halterna drastiskt sjunkit mellan 1995 och 2000. Minskningen är i medeltal 86 % (fig. 2:103), dvs. betydligt mer än de minst 35 %, som baserat

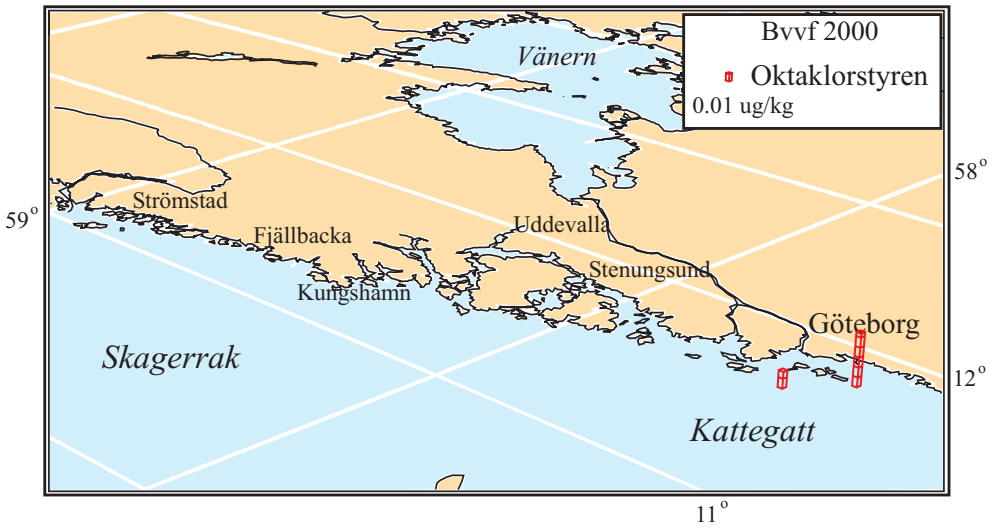


Fig 2:101. Fördelningen av oktaklorstyren OCS, µg/kg ts) i Bohuskusten ytsediment (0–1 cm) 2000.
The distribution of octachlorostyrene (OCS, µg/kg dw) in 2000 in surficial sediment (0–1 cm) of the Bohus Coast.

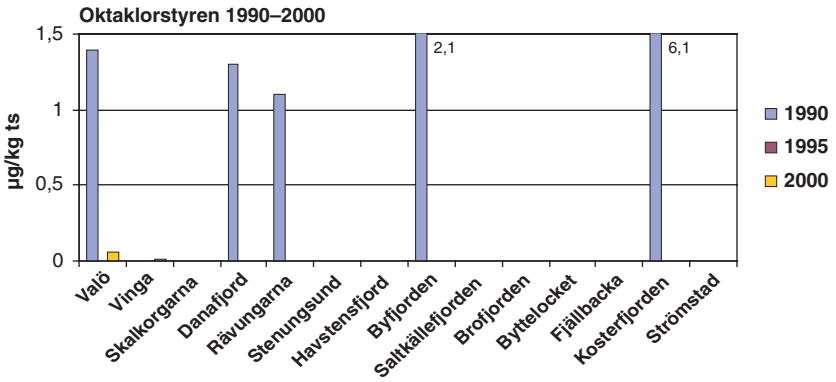


Fig. 2:102. Ytsedimentens (0–1 cm) halt av oktaklorstyren (OCS, µg/kg ts) på respektive station utmed Bohuskusten 1990–2000.
The concentration of octachlorstyrene (OCS, µg/kg dw) in the surficial sediment (0–1 cm) at each station along the Bohus Coast in 1990–2000 respectively.

på blandningsfaktorn i ytsedimentet (se avsnitt 2.5 ovan), krävs för att en förändring med säkerhet skall kunna detekteras vid ett femårigt provtagningsintervall. Sedan 1990 har halterna i medeltal sjunkit med 99 %.

Svenska bedömningsgrunder för oktaklorstyren i kust- och havssediment saknas.

I tabell 2:65 redovisas oktaklorstyrenhalter utmed Skagerrakkusten. Med undantag för Oslofjorden och kustvattenkontrollens stationer 1990 är halterna låga.

Tabell 2:65. Spridning och medelvärden för koncentrationerna av oktaklorstyren i ytsediment i Skagerrak och Kattegatt.
Range and means of octachlorstyrene concentrations in the surficial sediments of the Skagerrak and Kattegat.

Område	År	Antal stationer (n)	Intervall OCS µg/kg	MV OCS µg/kg	Referens
Bakgrund (Färöarna)	1991	1		0,02	Cato 1997
VF kustvattenkontroll	1990	5	1,1–6,1	2,4	Cato 1992
”	1995	12	<0,1	<0,1	Cato 1997
”	2000	14	<0,01–0,054	0,014	Cato 2006
VF Göta älv	1995	2	<0,1	<0,1	Cato 1997.
”	2000	2	<0,01	<0,01	Cato 2006
Stenungsund	1994	13	<0,1–1,8	0,45	Brorström-Lundén & Granmo 1995
”	1995	18	<0,1–0,1	<0,1	Cato 1997
”	2000	14	<0,01–0,16	0,027	Cato 2006
Gullmarsfjorden	1995	2	<0,1	<0,1	Cato 1997
Brofjorden	1995	14	<0,1	<0,1	Cato 1997
Idefjorden	1992	1		<0,5	Berge& Helland 1993
Oslofjorden	1992	14	<1–10	2,1	Konieczny 1994

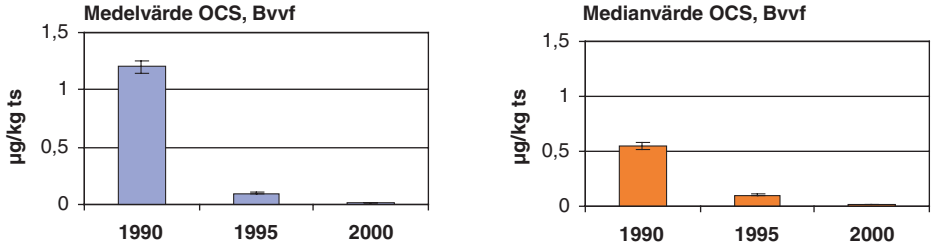


Fig. 2:103. Medelvärden (t.v.) och medianvärden (t.h.) för oktaklorstyren (OCS) i Bohuskustens ytsediment (0–1 cm) mellan 1990–2000.
Mean (left) and median (right) values of octachlorostyrene (OCS) between 1990–2000 in the surficial sediments (0–1 cm) of theBohus Coast.

2.6.19 LINDAN SAMT FÖRÄNDRINGAR EFTER 1995

Analysresultaten vad avser bekämpningsmedlet γ-HCH (lindan) undersöktes år 2000 endast på stationerna Skalkorgarna och Stenungsund. Halterna låg under detektionsgränsen 0,05 µg/kg ts (tabell 2:60). 1995 undersöktes lindan på samtliga stationer utom Vinga och Byttelocket (Kungshamn). Då låg halterna över detektionsgränsen (0,1 µg/kg ts) på åtta av tolv stationer (fig. 2:104). Medel- och medianvärden presenteras i tabell 2:61.

I öppna Skagerrak och Kattegatt ligger det högsta värdet bland 92 studerade stationer på 0,15 µg/kg ts (Cato 1997b). I tabell 2:66 redovisas halterna i några andra områden utmed Skagerrakkusten.

Enligt svenska bedömningsgrunder för lindan (γ-HCH) i kust- och havssediment (Naturvårdsverket 2005) uppvisar de två undersökta stationerna Danafjord och Stenungsund år 2000 *medelhöga halter* (klass 3) eller lägre (klass 2). 1995 höll stationerna en *hög halt* (klass 4) (tabell 2:67). Miljökvaliteten har i detta avseende förbättrats mellan 1995 och 2000.

Lindan är inte associerat till det organiska materialet i sedimenten (r = 0,06).

Tabell 2:66. Spridning och medelvärden för koncentrationerna av lindan i ytsediment i Skagerrak och Kattegatt.

Range and means of lindan concentrations in the surficial sediments of the Skagerrak and Kattegat.

Område	År	Antal stationer (n)	Intervall Lindan µg/kg	MV Lindan µg/kg	Referens
Bakgrund (Färöarna)	1991	1		0,02	Cato 1997b
VF kustvattenkontroll	1995	12	<0,1–0,3	0,14	Cato 1997
”	2000	2	<0,05	<0,05	Cato 2006
VF Göta älv	1995	2	<0,1	<0,1	Cato 1997
Stenungsund	1995	18	<0,1–3	0,3	Cato 1997
Gullmarsfjorden	1995	2	<0,1	<0,1	Cato 1997
Hvaler-Koster	1989	9	0,1–2	0,83	Helland m.fl. 1990
Idefjorden	1990	1		1,5	Hektoen m.fl. 1992
”	1992	1		<0,5	Berge & Helland 1993
Skagerrak-Kattegatt	1990–92	92	<0,02–0,14	0,05	Cato 1997b

Tabell 2:67 Ytsedimentens (0–1 cm) miljökvalitet utmed Bohuskusten 1990–2000 med avseende på lindan. Klassning enligt svenska bedömningsgrunder (Naturvårdsverket 2005).

The environmental quality of the surface sediments (0–1 cm) along the Bohus Coast with respect to the content of lindan in 1990–2000. Classification according to Swedish Environmental Quality Criteria (Naturvårdsverket 2005).

Station µg/kg	Lindan 1995	Lindan 2000
Valö	0,1	
Vinga		
Skalkorgarna	0,1	
Danafjord	0,2	<0,05
Rävungarna	0,1	
Stenungsund	0,1	<0,05
Havstensfjord	0,1	
Byfjorden	0,2	
Saltkällefjorden	0,1	
Brofjorden	<0,1	
Byttelocket		
Fjällbacka	<0,1	
Kosterfjorden	<0,1	
Strömstad	0,3	

Organiska miljögifter	
Klass 1	Ingen halt
Klass 2	Låg halt
Klass 3	Medelhög halt
Klass 4	Hög halt
Klass 5	Mycket hög halt

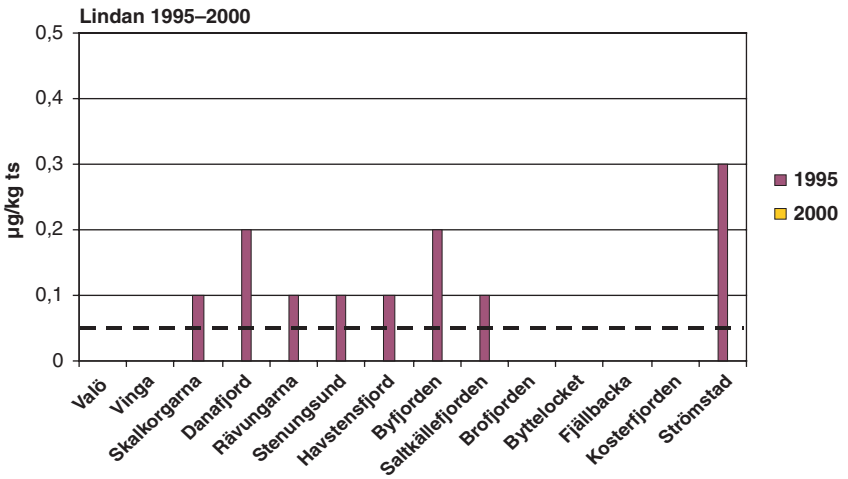


Fig 2:104. Ytsedimentens (0–1 cm) halt av lindan (γ-HCH, µg/kg ts) på respektive station utmed Bohuskusten 1990–2000. Streckad linje = detektionsgräns.

The concentration of lindan (γ-HCH, µg/kg dw) in the surficial sediment (0–1 cm) at each station along the Bohus Coast in 1990–2000 respectively. Broken line = detection limit.

2.6.20 POLYKLORERADE FURANER OCH DIOXINER SAMT FÖRÄNDRINGAR EFTER 1990

Analysresultaten avseende polyklorerade dibenzo-p-dioxiner (PCDD) och polyklorerade dibenzofuraner (PCDF) redovisas i tabell 2:68 tillsammans med motsvarande data från 1990 (Kjeller m.fl. 1991) och 1995 (Cato 1997a). På grund av den totala mängden isomerer (75-PCDDer och 135- PCDFer), har analyserna begränsats till de isomerer som ingår i de olika modellerna för TCDD-ekvivalent-beräkningar (TE-nordisk, WHO-TEF och TE-Eadon), samt till summa halter för de övriga tetra- till okta- CDD/CDF-isomererna.

Den geografiska fördelningen av summa polyklorerade dibenso-p-dioxiner (PCDD) och dibensofuraner (PCDF) i ytsedimenten (0–1 cm) år 2000 illustreras i figur 2:105. Den högsta halten år 2000 föreligger i Kosterfjorden.

I tabell 2:68 redovisas även de olika beräknade TCDD-ekvivalenterna. TCDD-ekvivalenten erhålls när man enligt en riskmodell (bl.a. Miljörapport 1988:7) viktat de toxiska isomererna mot den mest toxiska isomeren 2,3,7,8-tetraklordibenso-p-dioxin (2,3,7,8-TCDD). Den senare isomeren detekterades 1990 och 1995 i Stenungsund och 1995 i Kosterfjorden, men inte på någon av stationerna år 2000. TCDD-ekvivalenten är således en uppskattning av den totala toxiciteten i provet omräknat till 2,3,7,8-TCDD. Ej detekterade värden har uteslutits i beräkningen av TCDD ekvivalenten.

Den geografiska fördelningen av WHO-TEF ekvivalenten i ytsedimenten (0–1 cm) för år 2000 illustreras i figur 2:106. Fördelningsmönstret överensstämmer med fördelningen av summan av PCDD och PCDF (se fig. 2:105).

Tabell 2:68. Polyklorerade dibenzo-p-dioxiner (PCDD) och dibenzofuraner (PCDF) i ytsedimenten (0–1 cm) från Bohuskusten 1990–2000. Tre olika typer av TCDD-ekvivalenter redovisas.

Polychlorinated dibenzo-p-dioxines (PCDD) and dibenzofuranes (PCDF) in the surficial sediments (0–1 cm) of the Bohus coast in 1990–2000. Three different types of TCDD-equivalents are given.

Station	Skalkorgarna		Stenungsund			Gullmaren	Byfjorden	Brofjorden	Kosterfjorden		
År	1990	2000	1990	1995	2000	1990	2000	2000	1990	1995	2000
Isomer	ng/kg ts	ng/kg ts	ng/kg ts	ng/kg ts	ng/kg ts	ng/kg ts	ng/kg ts	ng/kg ts	ng/kg ts	ng/kg ts	ng/kg ts
2378-TCDD	<0,5	<20	0,2	0,4	<6	<0,3	<6	<20	<0,3	0,4	<30
Sum TCDD	2,2	<400	4,3	15	<100	1,5	<100	<400	1,7	15	<600
12378 PeCDD	1	<0,2	0,8	1,2	<0,1	0,8	<0,6	<0,1	0,4	0,9	<0,3
Sum PeCDD	17	<2	15	18	<1	15	<6	<1	7,9	20	<3
123478 HxCDD	1,4	<0,4	1,2	1,9	<1	0,7	<0,7	<0,2	0,6	1,2	<1
123678 HxCDD	3,1	<0,7	2,1	3,1	<0,5	3,9	<0,7	<0,7	0,8	2,1	<1
123789 HxCDD	1,8	<0,4	1,9	3,6	<0,6	3,6	<0,8	<0,2	0,9	2,6	<0,9
Sum HxCDD	54	<4	44	64	<6	58	<6	<3	25	50	<8
1234678 HpCDD	100	<3	85	62	<1	73	<0,6	<10	24	30	37
Sum HpCDD	230	<6	190	134	<2	160	<1	<20	62	78	85
OCDD	310	37	370	520	8,6	55	21	160	77	186	180
Sum PCDD	**613**	**37**	**623**	**751**	**8,6**	**290**	**21**	**160**	**174**	**349**	**265**
2378 TCDF	19	1	3,6	4,3	<0,3	5,8	<0,4	<0,9	1,8	3,8	4,9
SumTCDF	52	5,9	26	47	<6	23	9,5	99	18	47	120
12378/12348PeCDF	17	<0,2	3,7	4,5	<0,5	4,7	<0,1	<0,9	2,1	3,8	3,7
23478 PeCDF	9,6	0,96	3,2	4	<0,1	3,2	<0,6	2,3	1,7	3,2	5,1
Sum PeCDF	70	5,2	37	50	<5	89	<5	13	23	42	43
123478/123479HxCDF	18	1,6	8,4	15	0,3	6,6	0,83	2,2	3,7	7,2	7,3
123678HxCDF	5,1	0,75	4,9	8,8	0,21	2,9	0,41	1,9	1,9	3,3	3,9
123789HxCDF	<1,8	<0,4	<1,3	1,5	<0,2	<1.1	<0,1	<0,2	<1	0,5	2,5
234678HxCDF	4,8	0,71	5,2	6,6	0,24	2,3	1,2	2,5	3,1	3,7	5,1
Sum HxCDF	68	13	55	104	4,6	48	3,4	38	29	46	64
1234678 HpCDF	19	5,2	44	97	3,6	20	7,5	18	9	18	37
123789HpCDF	2,3	0,93	12	53	0,62	1,5	1,2	1,5	0,8	3	4,4
Sum HpCDF	40	110	88	168	6,1	32	14	37	13	23	68
OCDF	60	16	320	1032	12	55	16	27	23	74	73
SumPCDF	**290**	**150**	**526**	**1401**	**23**	**247**	**43**	**214**	**106**	**232**	**368**
SUM PCDD/PCDF	**903**	**187**	**1149**	**2153**	**32**	**537**	**64**	**374**	**280**	**581**	**633**
WHO-TEF	13	1,0	7,0	10	0,14	6,2	0,33	2,0	3,0	6,0	5,7
TE Eadon	17	0,71	5	6,7	0,016	5,8	0,051	0,9	2,5	5,3	4,9
TE nordisk	12	1	7,1	11	0,14	5,7	0,37	2,2	2,8	5,6	5,7

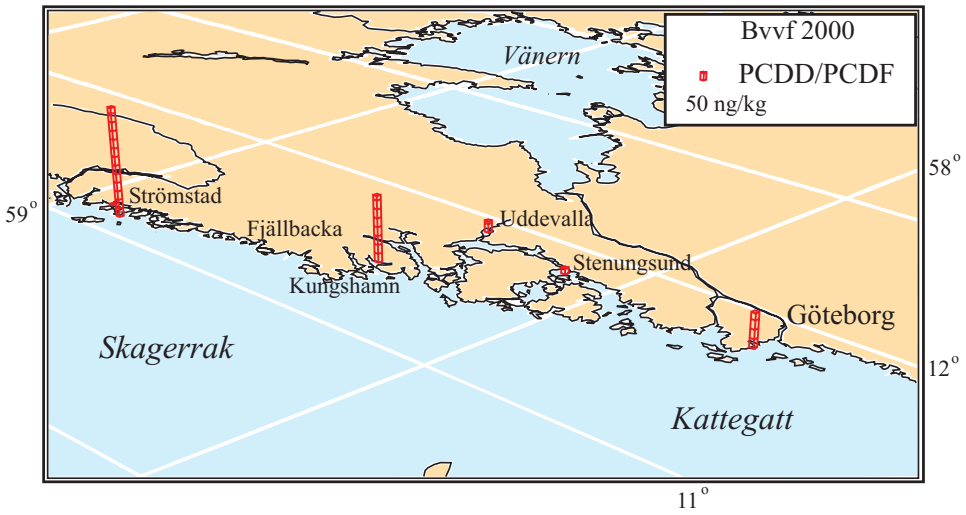


Fig 2:105. Fördelningen av summa polyklorerade dibenso-p-dioxiner (PCDD) och dibensofuraner (PCDF), ng/kg ts) i Bohuskusten ytsediment (0–1 cm) 2000.

The distribution of the sum of dibenzo-p-dioxines (PCDD) and dibenzofuranes (PCDF, ng/kg dw) in 2000 in surficial sediment (0–1 cm) of the Bohus Coast.

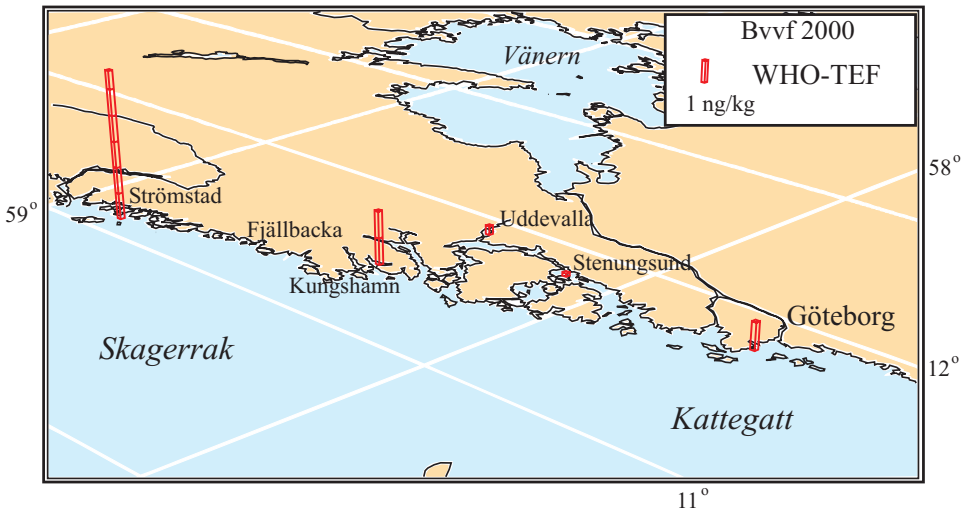


Fig 2:106. Fördelningen av toxisitetsekvivalenten WHO-TEF (ng/kg ts) i Bohuskusten ytsediment (0–1 cm) 2000.

The distribution of the toxicity equivalent WHO-TEF (ng/kg dw) in 2000 in surficial sediment (0–1 cm) of the Bohus Coast.

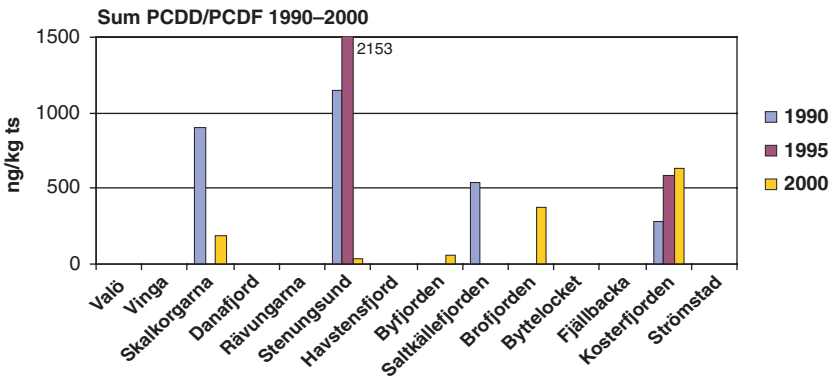


Fig 2:107. Ytsedimentens (0–1 cm) halt av summa polyklorerade dibenso-p-dioxiner (PCDD) och dibensofuraner (PCDF), (ng/kg), på sex stationer utmed Bohuskusten 1990–2000.

The concentration of the sum of polychlorinated dibenzo-p-dioxins (PCDD) and dibenzofurans (PCDF), (ng/kg), in the surficial sediments (0–1 cm) at six stations along the Bohus Coast in 1990–2000.

De olika ekvivalenterna ger också liknande resultat och visar att toxisiteten i sedimenten vad avser de polyklorerade dioxinerna och furanerna är högst år 2000 i Kosterfjorden jämfört med Stenungsund, Byfjorden och Brofjorden (fig. 2:106). Vid undersökningarna 1990 var toxisiteten högst utanför Göteborg (Skalkorgarna) och 1995 vid Stenungsund. Resultaten från 1990 står i viss överensstämmelse med reella toxisitetstester av sediment (akvarieförsök) från Skagerrak och Kattegatt (Dave & Nilsson 1994). Dave och Nilsson konstaterade att de mest toxiska sedimenten i början av 1990-talet återfanns i skärgårdsområdet utanför Göteborgsregionen. De nya resultaten kan tyda på ändrade förhållanden.

I figur 2:107 illustreras koncentrationsförändringarna mellan 1990 och 2000 års undersökningar på sex stationer utmed Bohuskusten 1990–2000. Förändringarna av sedimentens sammanlagda PCDD och PCDF-halter mellan 1990 och 2000 års undersökningar illustreras i figur 2:107. 2000 års data från ytsedimenten visar att såväl halten av polyklorerade dioxinerna och furanerna som toxisiteten med avseende på dessa föreningar stadigt ökat i Kosterfjorden mellan 1990 och 2000 (fig. 2:108–2:109). Haltökningen mellan 1995 och 2000 är 9 % och mellan 1990 och 2000 hela 126 %. På övriga stationer, där data föreligger, har såväl halter som toxisitetsekvivalenten minskat under samma period.

Mellan 1990 och 2000 sjönk halten vid Skalkorgarna med 80 % och vid Stenungsund med 97 %. Motsvarande siffra för perioden mellan 1995 och 2000 är 99 % i Stenungsund.

I medeltal har summa PCDD och PCDF för hela Bohuskusten sjunkit med 81 % sedan 1995 och med 64 % sedan 1990 (fig. 2:109). Siffrorna är dock osäkra eftersom medelvärdet inte baseras på data från samma antal stationer. Minskningen är dock betydligt större än de minst 35 % respektive 20 %, som baserat på blandningsfaktorn i ytsedimentet (se avsnitt 2.5 ovan), krävs för att en förändring med säkerhet skall kunna detekteras vid ett femårigt respektive tioårigt provtagningsintervall.

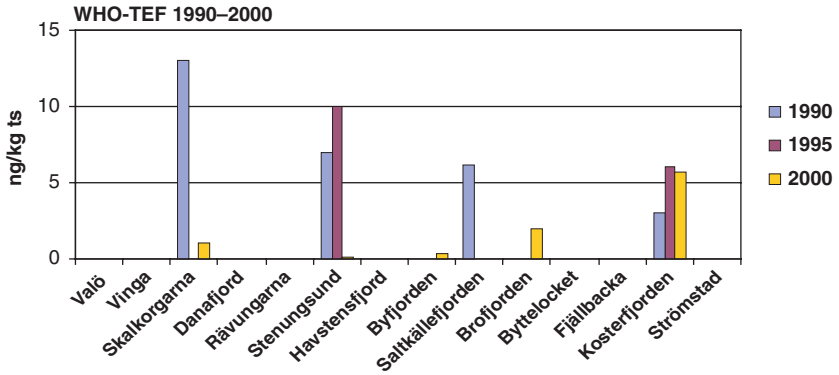


Fig 2:108. Den internationella toxisitetsekvivalenten WHO-TEF (ng/kg) i ytsedimentet på sexstationer utmed Bohuskusten 1990–2000.
The international toxity equivalent WHO-TEF (ng/kg) in the surficial sediments at six stations along the Bohus Coast in 1990–2000.

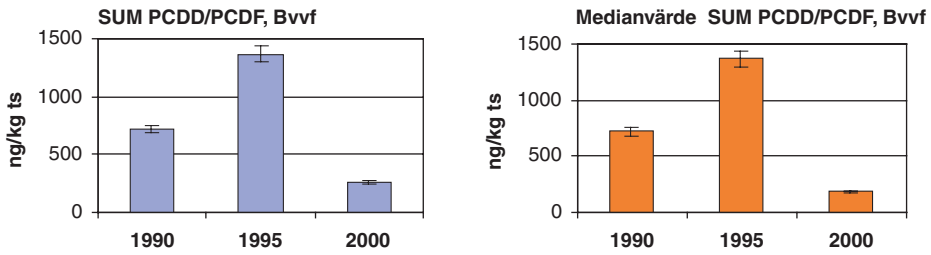


Fig. 2:109. Medelvärden (t.v.) och medianvärden (t.h.) för summa PCDD och PCDF i Bohuskustens ytsediment (0–1 cm) mellan 1990–2000.
Mean (left) and median (right) values of the sum fo PCDD and PCDF between 1990–2000 in the surficial sediments(0–1 cm) of theBohus Coast.

I tabell 2:69 kan resultaten vad gäller summa PCDD och PCDF, samt olika TCDD-ekvivalenter jämföras mellan några olika stationer längs Bohuskusten 1990–2000. Den högsta halten noteras från Stenungsund 1995 och den högsta TCDD-ekvivalenten från Göta älv 1995.

Svenska bedömningsgrunder för polyklorerade dioxinerna och furanerna i kust- och havssediment saknas. Enligt norskt klassificeringsschema (Rygg & Thèlin 1993) för TCDD-ekvivalenter (TE-nordisk) faller samtliga stationer år 2000 i tillståndsklass I (”god”). Polyklorerade dioxinerna och furanerna är inte associerade till det organiska materialet i sedimenten (r = –0,24).

Tabell 2:69. Summa polyklorerade dibenzo-p-dioxiner och dibenzofuraner, samt tre olika beräknade TCDD-ekvivalenter i ytsediment i Skagerrak.

The sum of polychlorinated dibenzo-p-dioxins and dibezofurans, and the three different TCDD-equivalents in the surficial sediments of the Skagerrak.

Område	År	Antal stationer (n)	Sum PCDD + PCDF ng/kg	TE Eadon ng/kg	WHO TEF ng/kg	TE Nordisk ng/kg	Referens
Göta älv	1995	1	1 667		24	23	Cato 1997
Skalkorgarna	1990	1	903	17	13	12	Kjeller m.fl. 1991
”	2000	1	187	0,71	1	1	Cato 2006
Stenungsund	1990	1	1 149	5	7	7,1	Kjeller m.fl. 1991
”	1995	1	2 153	6,7	10	11,2	Cato 1997
”	2000	1	32	0,02	0,12	0,14	Cato 2006
Byfjorden	2000	1	64	0,05	0,33	0,37	Cato 2006
Saltkällefjorden	1990	1	537	5,8	6,2	5,7	Kjeller m.fl. 1991
Brofjorden	2000	1	374	0,9	2	2,2	Cato 2006
Kosterfjorden	1990	1	280	2,5	3	2,8	Kjeller m.fl. 1991
”	1995	1	581	5,3	6	5,6	Cato 1997
”	2000	1	633	4,9	5,7	5,7	Cato 2006
Idefjorden	1992	1	684			7	Berger & Helland 1993
Kattegatt	1991	5	-	-	-	8,8	Abrahamsson 1992
Skagerrak	1991	6	-	-	-	6,8	Abrahamsson 1992

2.6.21 HALOGENERADE ALIFATER (HALOFORMER) SAMT FÖRÄNDRINGAR EFTER 1995

Undersökningarna av ytsedimentet (0–1 cm) år 2000 omfattade fyra opolära haloformer med följande namn; triklormetan (kloroform), tetraklormetan (koltetraklorid), trikloreten (trikloretylen, TRI) och tetrakloreten (tetrakloretylen, PER). Inga av dessa föreningar kunde detekteras på de 14 undersökta stationerna.

1995 kunde kloroform påvisas på samtliga stationer, tetraklormetan på alla utom en station, trikloreten på tre stationer och tetrakloreten på sex stationer (Cato 1997a). Detektionsgränsen låg då mellan 0,02 och 0,05 µg/kg ts. Detektionsgränsen vid Alcontrols analyser av sedimenten från undersökningarna år 2000 låg så högt som 50 µg/kg ts, dvs. alldeles för högt. Den höga detektionsgränsen är med största sannolikhet förklaringen till att inga haloformer kunde påvisas vid undersökningarna år 2000.

2.6.22 MONOAROMATER SAMT FÖRÄNDRINGAR EFTER 1995

Bensen, toluen, ∑etylbensener och xylen är en grupp monoaromater och substituerade monoaromater som går under samlingsnamnet BTEX. De ingår alla som beståndsdelar i bensin. Styren däremot är den grundläggande komponenten i polystyrenplaster. Det senare ämnet analyserades i kustvattenkontrollen för första gången år 2000.

Bensen

Analysresultaten vad avser bensen i ytsedimenten (0–1 cm) redovisas i tabell 2:70. Ämnet kunde inte detekteras på någon av stationerna år 2000. Detektionsgränsen var 1 µg/kg ts. Vid undersökningarna 1995 däremot konstaterades bensen på 9 av 12 stationer med ett medelvärde och medianvärde av 7 respektive 4 µg/kg ts (tabell 2:71). Halter över 10 µg/kg ts konstaterades då i Byfjorden, Danafjord, Fjällbacka och Kosterfjorden (figur 2:110).

Undersökningarna visar att koncentrationen minskat med cirka 100 % sedan 1995 (fig. 2:111), dvs. betydligt mer än de 35 % som krävs för att en förändring med säkerhet skall kunna detekteras vid ett femårigt provtagningsintervall.

I tabell 2:72 redovisas halterna av bensen i ytsedimenten från några andra områden utmed Bohuskusten. Koncentrationsintervallet vad avser bensen på kustvattenkontrollens stationer ligger år 2000 betydligt lägre än vad som tidigare erhållits på andra platser utmed Bohuskusten.

Svenska bedömningsgrunder för bensen i kust- och havssediment saknas.

Bensen har tidigare visat sig vara dåligt associerat till sedimentens organiska kolhalt (r = 0,28) respektive kornstorleksfraktion <63 µm (r = 0,06) (Cato 1997).

Tabell 2:70. BTEX (bensen, toluen och ∑etylbensen och xylen) och styren i ytsediment (0–1 cm) från Bohuskusten 1995–2000.
BTEX (benzene, toluene and the ∑ethylbenzene and xylene) and styrene in 1995–2000 in the surficial sediments (0–1 cm) of the Bohus Coast.

Station	År	Bensen µg/kg	Toluen µg/kg	Styren µg/kg	∑ etylbensen och xylener µg/kg
Valö	1995	6,5	35,5	-	17,5
	2000	<1	<1	<1	<1
Vinga	1995	-	-	-	-
	2000	<1	<1	<1	<1
Skalkorgarna	1995	1,6	3,1	-	3,2
	2000	<1	2,1	<1	<1
Danafjord	1995	13,5	81,0	-	38,5
	2000	<1	1,5	<1	<1
Rävungarna	1995	5,5	39,0	-	28,5
	2000	<1	<1	<1	<1
Stenungsund	1995	<1,5	4,0	-	4,2
	2000	<1	2	<1	<1
Havstensfjord	1995	2,6	8,5	-	6,0
	2000	<1	1,3	<1	<1
Byfjorden	1995	26,5	139,0	-	81,5
	2000	<1	<1	<1	<1
Saltkällefjorden	1995	*	*	-	*
	2000	<1	<1	<1	3,3
Brofjorden	1995	<1,5	4,0	-	3,7
	2000	<1	<1	<1	<1
Byttelocket	1995	-	-	-	-
	2000	<1	<1	1,2	<1
Fjällbacka	1995	14,0	81,5	-	36,0
	2000	<1	<1	<1	<1
Kosterfjorden	1995	13,0	69,5	-	33,0
	2000	<1	<1	<1	<1
Strömstad	1995	2,2	10,0	-	5,5
	2000	<1	<1	<1	<1

* = Koncentrationerna kunde inte bestämmas p g a analysproblem.
Due to some analytical problems the concentrations could not be determined.

Tabell 2:71. Spridning, medelvärden och medianvärden för BTEX (bensen, toluen och ∑etylbensen och xylener) och styren i ytsediment (0–1 cm) från Bohuskusten 1995–2000.

Range, means and medians of BTEX (benzene, toluene och ∑ethylbenzene och xylenes)and styrene in the surficial sediments (0–1 cm) of the-Bohus Coast in 1995–2000.

Ämne	År	Sites (n)	Intervall µg/kg	Medelvärde MV µg/kg	Medianvärde Md µg/kg	Standardavikelse s µg/kg
Bensen	1995	11	<1,5–27	7,4	4,1	7,9
	2000	14	<1	<1	<1	
Toluen	1995	11	3,1–139	40	23	44
	2000	14	1–2,1	1,2	<1	0,39
Sum etylbensen och xylener	1995	11	3,2–82	21	12	24
	2000	14	<1–3,3	1,2	<1	0,62
Styren	1995	–	–	–	–	–
	2000	14	<1–1,2	1	<1	0,05

Tabell 2:72. Spridning och medelvärden för koncentrationerna av bensen i ytsediment i Skagerrak och Kattegatt.

Range and means of benzene concentrations in the surficial sediments of the Skagerrak and Kattegat.

Område	År	Antal stationer	Intervall Bensen µg/kg	MV Bensen µg/kg	Referens
Bakgrund				–	
VF kustvattenkontroll	1995	12	<1,5–27	7	Cato 1997
”	2000	14	<1	<1	Cato 2006
VF Göta älv	1995	1	2,3	2,3	Cato 1997
”	2000	2	<1	<1	Cato 2006
Stenungsund	1995	15	1,5–25	6	Cato 1997
”	2000	14	<1	<1	Cato 2006
Gullmarsfjorden	1995	1	5,5	5,5	Cato 1997
Brofjorden	1977	5	11–18	13	Göthberg & Johansson 1981
”	2000	8	<1	<1	Cato 2006

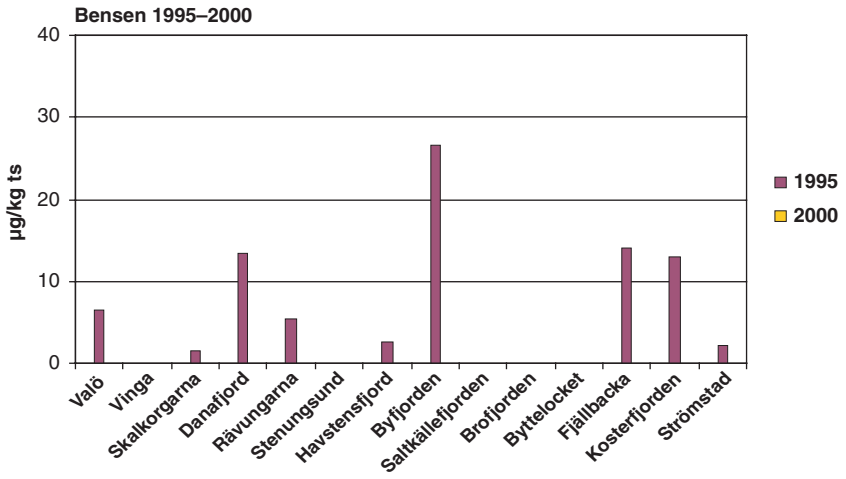


Fig 2:110. Bensen (µg/kg) i Bohuskustens ytsediment (0–1 cm) 1995–2000. Ingen bensen detekterades år 2000.

The distribution of benzene (µg/kg) in 1995–2000 in the surficial sediments (0–1 cm) of the Bohus Coast. Benzene was not detected in 2000.

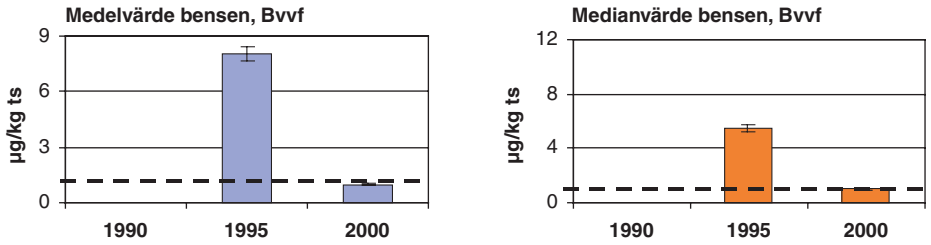


Fig. 2:111. Medelvärden (t.v.) och medianvärden (t.h.) för bensen i Bohuskustens ytsediment (0–1 cm) mellan 1995 och 2000. Streckad linje = detektionsgräns.

Mean (left) and median (right) values of benzene between in 1995 and 2000 in the surficial sediments (0–1 cm) of the Bohus Coast. Hatched line = detection limit.

Toluen

Analysresultaten vad avser toluen i ytsedimenten (0–1 cm) redovisas i tabell 2:70. Koncentrationen av toluen varierar mellan <1 och 2,1 µg/kg ts med ett medelvärde och medianvärde av 1,2 respektive <1 µg/kg ts (tabell 2:72). Detektionsgränsen var 1 µg/kg ts. Den geografiska fördelningen av toluen i ytsedimentet illustreras i figur 2:112. Till skillnad från 1995 då toluen påträffades på alla utom en station kunde toluen år 2000 endast detekteras utanför Göteborg och Stenungsund. Den högsta halten 1995 (139 µg/kg ts) återfanns i Byfjorden. Högre koncentrationer har tidigare konstaterats i Stenungsundsområdet (tabell 2:73).

Förändringen av halten toluen i ytsedimentet på respektive station illustreras i figur 2:113. I medeltal har koncentrationen sjunkit med 97 % sedan 1995 (fig. 2:114), dvs. betydligt mer än de 35 % som krävs för att en förändring med säkerhet skall kunna detekteras vid ett femårigt provtagningsintervall.

I tabell 2:73 redovisas halterna av toluen i ytsedimenten från några andra områden utmed Bohuskusten. Koncentrationsintervallet vad avser toluen på kustvattenkontrollens stationer ligger år 2000 betydligt lägre än vad som tidigare erhållits på andra platser utmed Bohuskusten.

Svenska bedömningsgrunder för toluen i kust- och havssediment saknas. Halterna som påvisats år 2000 bedöms som låga.

Toluen är dåligt associerat till sedimentens organiska kolhalt (r = 0,17) respektive kornstorleksfraktion <63 µm (r = 0,05) (Cato 1997).

Tabell 2:73. Spridning och medelvärden för koncentrationerna av toluen i ytsediment i Skagerrak och Kattegatt.
Range and means of toluene concentrations in the surficial sediments of the Skagerrak and Kattegat.

Område	År	Antal stationer (n)	Intervall Toluen µg/kg	MV Toluen µg/kg	Referens
Bakgrund				–	
VF kustvattenkontroll	1995	11	3,1–139	40	Cato 1997
”	2000	14	<1–2,1	1,2	Cato 2006
VF Göta älv	1995	2	<2,4–12	c,7,2	Cato 1997
”	2000	2	<1–3,3	<2,2	Cato 2006
Stenungsund	1995	18	2,4–314	34	Cato 1997
”	2000	14	<1	<1	Cato 2006
Gullmarsfjorden	1995	2	<2,4–41	22	Cato 1997
Brofjorden	1977	5	9–12	10,4	Göthberg & Johansson 1981
”	2000	8	<1–2,4	<1,2	Cato 2006

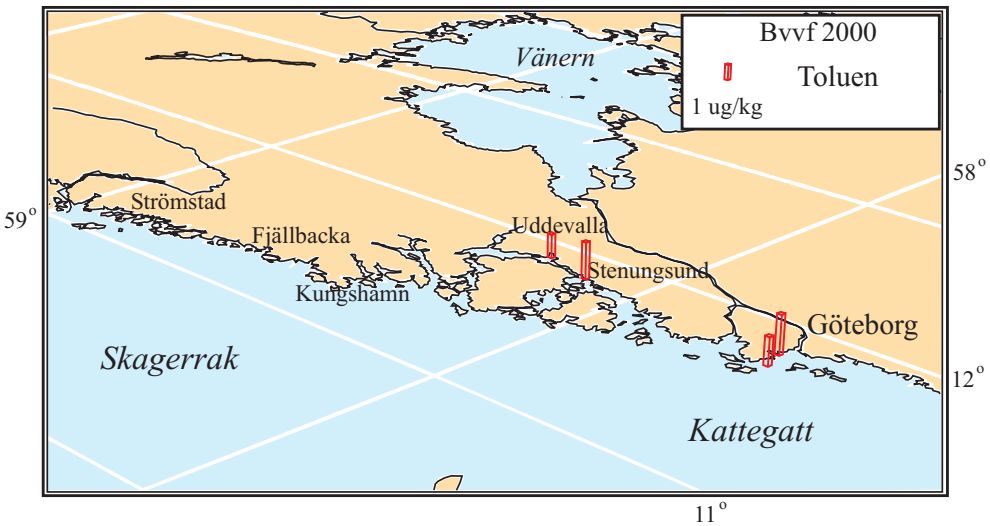


Fig 2:112. Fördelningen av toluen (µg/kg) i Bohuskustens ytsediment (0–1 cm) 2000.
The distribution of toluene (µg/kg) in 2000 in the surficial sediments (0–1 cm) of the Bohus Coast.

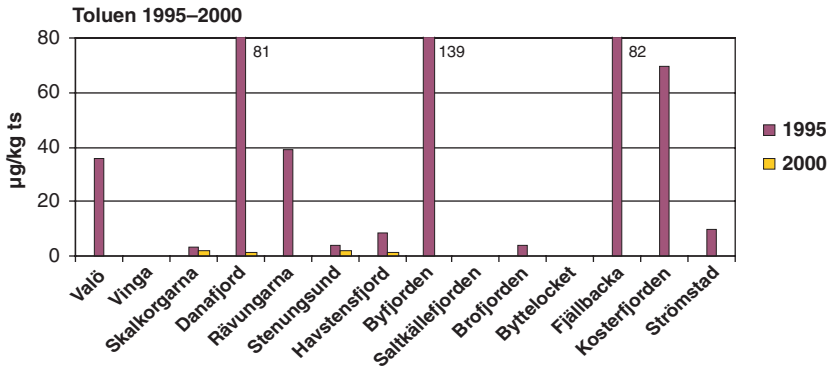


Fig 2:113. Toluen (µg/kg) i Bohuskustens ytsediment (0–1 cm) 1995–2000. Ingen bensen detekterades år 2000.
The distribution of toluene (µg/kg) in 1995–2000 in the surficial sediments (0–1 cm) of the Bohus Coast.Benzene was not detected in 2000.

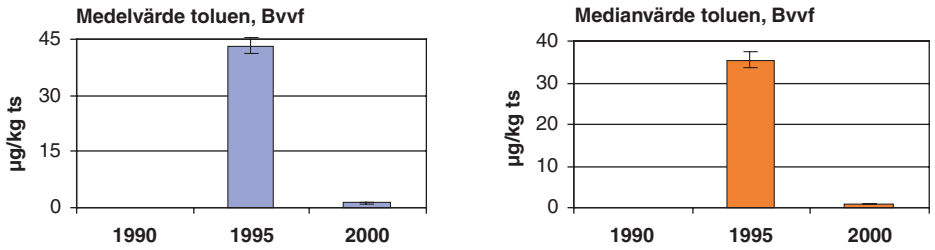


Fig. 2:114. Medelvärden (t.v.) och medianvärden (t.h.) för toluen i Bohuskustens ytsediment mellan 1995 och 2000.
Mean (left) and median (right) values of toluene between 1995 and 2000 in the surficial sediments (0–1 cm) of the Bohus Coast.

Etylbensen och xylener

Analysresultaten vad avser summa (∑) etylbensener och xylener i ytsedimenten (0–1 cm) redovisas i tabell 2:70. Detektionsgränsen var 1µg/kg ts. Vid undersökningarna år 2000 kunde ∑ etylbensener och xylener endast detekteras i Saltkällefjorden där halten låg på 3,3 µg/kg ts. Som jämförelse kan nämnas att vid 1995 års undersökningar påträffades halter överstigande 30 µg/kg ts på fyra av de elva stationer där föreningen detekterades (Danafjord, Byfjorden, Fjällbacka och Kosterfjorden).

Förändringen av halten ∑ etylbensener och xylener i ytsedimentet på respektive station illustreras i figur 2:115. I medeltal har koncentrationen sjunkit med 95 % sedan 1995 (fig. 2:116), dvs. betydligt mer än de 35 % som krävs för att en förändring med säkerhet skall kunna detekteras vid ett femårigt provtagningsintervall.

Svenska bedömningsgrunder för ∑ etylbensener och xylener i kust- och havssediment saknas.

I tabell 2:74 redovisas halterna av ∑ etylbensener och xylener i ytsedimenten från några andra områden utmed Bohuskusten. Koncentrationsintervallet på kustvattenkontrollens stationer ligger år 2000 betydligt lägre än vad som tidigare erhållits på andra platser utmed Bohuskusten.

Etylbensener och xylener är dåligt associerat till sedimentens organiska kolhalt (r = 0,33) respektive kornstorleksfraktion <63 µm (r = 0,13) (Cato 1997).

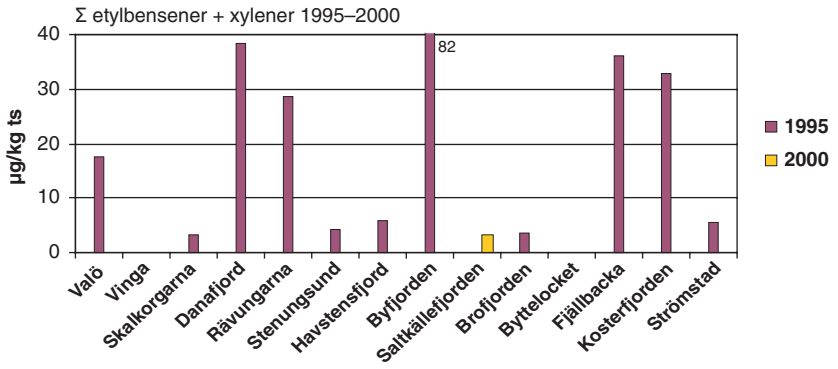


Fig 2:115. ∑ etylbensen och xylener (µg/kg) i Bohuskustens ytsediment (0–1 cm) 1995–2000.
The distribution of ∑ etylbensen och xylener (µg/kg) in 1995–2000 in the surficial sediments (0–1 cm) of the Bohus Coast.

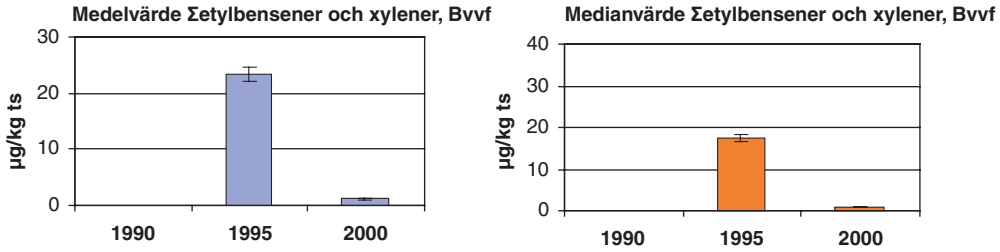


Fig. 2:116. Medelvärden (t.v.) och medianvärden (t.h.) för ∑ etylbensener och xylener i Bohuskustens ytsediment (0–1 cm) mellan 1995 och 2000.
Mean (left) and median (right) values of ∑ ethylbenzenes and xylenes between 1995 and 2000 in the surficial sediments (0–1 cm) of the Bohus Coast.

Tabell 2:74. Spridning och medelvärden för koncentrationerna av ∑ etylbensen och xylener i ytsediment (0–1 cm) i Skagerrak och Kattegatt.
Range and means of ∑ ethylbenzene och xylenes concentrations in the surficial sediments (0–1 cm) of the Skagerrak and Kattegat.

Område	År	Antal stationer (n)	Intervall ∑ etylbensen och xylener µg/kg	MV ∑ etylbensen och xylener µg/kg	Referens
Bakgrund				-	
VF kustvattenkontroll	1995	11	3,2–82	21	Cato 1997
”	2000	14	<1–3,3	1,2	Cato 2006
VF Göta älv	1995	2	2,5–5,5	4	Cato 1997
”	2000	2	<1–3,2	<2,1	Cato 2006
Stenungsund	1995	18	2,4–300	26	Cato 1997
	2000	14	<1–2,7	1,2	Cato 2006
Gullmarsfjorden	1995	2	<2,4–38	20	Cato 1997
Brofjorden	1977	5	6–9	7,4	Göthberg & Johansson 1981
”	2000	8	<1	<1	Cato 2006

Styren

Analysresultaten vad avser styren i ytsedimenten (0–1 cm) år 2000 redovisas i tabell 2:70. Detektionsgränsen var 1µg/kg ts. Vid undersökningarna kunde styren endast detekteras vid Byttelocket utanför Kungshamn där halten låg på 1,2 µg/kg ts (fig 2:117). Styren har inte tidigare analyserats i sedimenten vid kustvattenkontrollens stationer utmed Bohuskusten.

Svenska bedömningsgrunder för styren i kust- och havssediment saknas.

I tabell 2:75 redovisas halterna av styren i ytsedimenten från några andra områden utmed Bohuskusten. Koncentrationsintervallet på kustvattenkontrollens 14 stationer ligger något lägre än vad som erhållits på andra platser utmed Bohuskusten år 2000.

Tabell 2:75. Spridning och medelvärden för koncentrationerna av styren i ytsediment i Skagerrak och Kattegatt.
Range and means of styrene concentrations in the surficial sediments of the Skagerrak and Kattegat.

Område	År	Antal stationer (n)	Intervall styren µg/kg	MV Styren µg/kg	Referens
Bakgrund				–	
VF kustvattenkontroll	2000	14	<1–1,2	1,0	Cato 2006
VF Göta älv	2000	2	<1	<1	Cato 2006
Stenungsund	2000	14	1–3	1,2	Cato 2006
Brofjorden	2000	8	<1–2	<1,5	Cato 2006

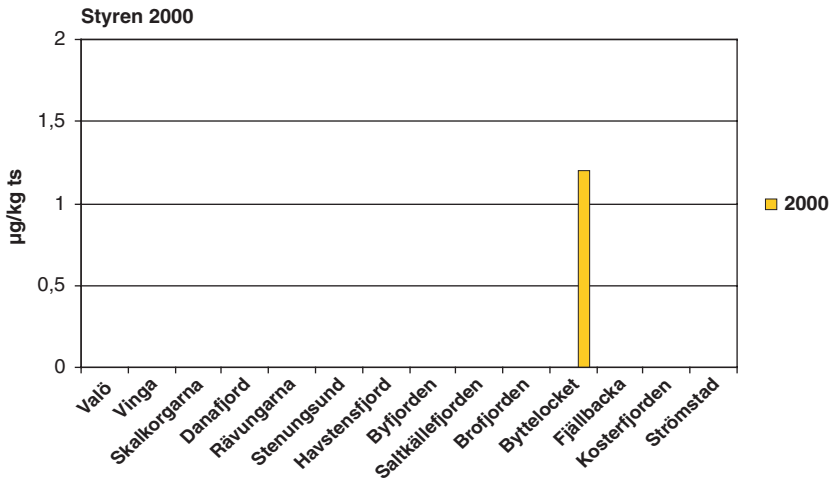


Fig 2:117. Styren (µg/kg) i Bohuskustens ytsediment (0–1 cm) 1995–2000.
The distribution of styrene (µg/kg) in 1995–2000 in the surficial sediments (0–1 cm) of the Bohus Coast.

2.6.23 FTALATER SAMT FÖRÄNDRINGAR EFTER 1995

År 2000 undersöktes sex olika ftalater (används bl.a. som mjukgörare i PVC-plast och gummi) i ytsedimenten på fyra stationer (Skalkorgarna, Stenungsund, Havstensfjord och Byfjorden). Med undantag för dioktylftalat undersöktes även motsvarande föreningar 1995 men inte 1990. Vid undersökningarna 1995 kunde ftalater endast påvisas vid berörda fyra stationer, vilket är anledningen till att undersökningarna år 2000 begränsats till att endast omfatta dessa fyra stationer.

Analysresultaten för år 2000 vad avser ftalater redovisas i tabell 2:76 tillsammans med motsvarande data från 1995. Fyra av de sex undersökta ftalaterna (dimetylftalat, dietylftalat, butylbensylftalat och dioktylftalat) kunde inte detekteras på någon av de fyra undersökta stationerna år 2000. Dibutylftalat däremot kunde påvisas vid Skalkorgarna och i Byfjorden.

Di-2-etylhexylftalat (DEHP) kunde påvisas på samtliga fyra stationer såväl 1995 som 2000 (fig. 2:118). Halterna varierade mellan 0,062 och 0,39 mg/kg ts med ett medel och medianvärde av 0,19 respektive 1,6 mg/kg ts. I tabell 2:77 redovisas spridningen, medel- och medinvärden för respektive ftalat.

Tabell 2:76. Ftalater i Bohuskustens ytsediment (0–1 cm) 1995–2000.
Phthalates in 1995–2000 in the surficial sediments (0–1 cm) of the Bohus Coast.

Station	År	Dimetylftalat mg/kg	Dietylftalat mg/kg	Dibutylftalat mg/kg	Butylbensylftalat mg/kg	Di-2-etylhexsyl-ftalat mg/kg	Dioktylftalat mg/kg
Valö	1995	<0,09	<0,02	<0,15	<0,02	*	-
Vinga	1995	-	-	-	-	-	-
Skalkorgarna	1995	<0,09	<0,02	<0,15	<0,02	0,62	
	2000	<0,01	<0,01	0,011	<0,01	0,13	<0,01
Danafjord	1995	<0,09	-	<0,15	<0,02	*	-
Rävungarna	1995	<0,09	<0,02	<0,15	<0,02	*	-
Stenungsund	1995	*	<0,02	<0,15	<0,02	*	-
	2000	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,062	<0,01
Havstensfjord	1995	<0,09	<0,02	1,22	0,12	0,69	-
	2000	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,18	-
Byfjorden	1995	*	<0,02	<0,15	0,08	2,59	<0,03
	2000	<0,01	<0,01	0,029	<0,01	0,39	<0,01
Saltkällefjorden	1995	<0,09	<0,02	<0,15	<0,02	<0,09	-
Brofjorden	1995	<0,09	<0,02	<0,15	<0,02	<0,09	-
Byttelocket	1995	-	-	-	-	-	-
Fjällbacka	1995	<0,09	<0,02	<0,15	<0,02	<0,09	-
Kosterfjorden	1995	<0,09	<0,02	<0,15	<0,02	<0,09	-
Strömstad	1995	<0,09	<0,02	<0,15	<0,02	*	-
Kvantifieringsgr.	1995	0,3	0,06	0,5	0,06	0,3	-

* = Halterna ligger under kvantifieringsgränsen. The concentrations are below the quantified limit. - = Ej analyserat. Not analysed.

Tabell 2:77. Spridning, medelvärden och medianvärden för ftalater i Bohuskustens ytsediment (0–1 cm) 2000.
Range, means and medians of phthalates in the surficial sediments (0–1 cm) of the Bohus Coast in 2000.

Ämne	Enhet	Antal (n)	Intervall	Medelvärde MV	Medianvärde Md	Standardavikelse s
Dimetylftalat	mg/kg	4	<0,01			
Dietylftalat	mg/kg	4	<0,01			
Dibutylftalat	mg/kg	4	<0,01–0,029	0,015	0,011	0,009
Butylbensylftalat	mg/kg	4	<0,01			
Di-2-etylhexylftalat	mg/kg	4	0,062–0,39	0,19	0,16	0,14
Dioktylftalat	mg/kg	4	<0,01			

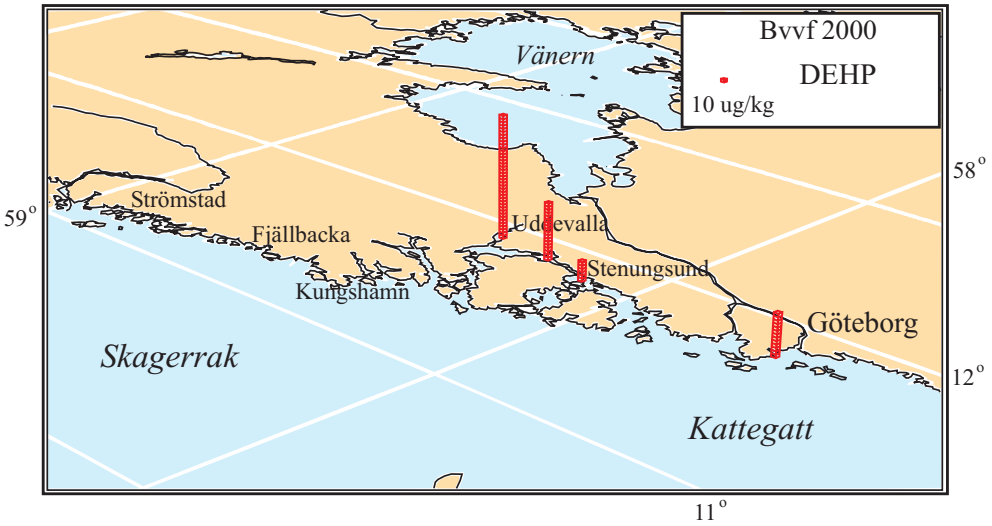


Fig 2:118. Fördelningen av di-2-etylhexylftalat (DEHP, µg/kg) i Bohuskustens ytsediment (0–1 cm) 2000.
The distribution of di-2-ethylhexylftalat (DEHP, µg/kg) in 2000 in the surficial sediments (0–1 cm) of the Bohus Coast.

Den areella fördelningen visar att ftalater, förutom vid Skalkorgarna, framför allt förekommer i Byfjorden. Mot bakgrund av att halten di-2-etylhexylftalat successivt sjunker i en gradient från Byfjorden till Stenungsund är det sannolikt att en källa finns i Uddevallaområdet och att ftalater transporteras söderut med strömmarna innaför Orudt och Tjörn (fig. 2:118). Den andra källan torde finnas i Göteborgsområdet.

I tabellerna 2:78–2:79 redovisas koncentrationer av ftalater från några andra områden utmed Bohuskusten, Göta älv och Östersjön. Halterna på kustvattenkontrollens stationer ligger lägre än motsvarande halter i Stenungsundsområdet och Göta älv.

Svenska bedömningsgrunder för ftalater i kust- och havssediment saknas.

Tabell 2:78. Spridning och medelvärden för koncentrationerna av dibutylftalat i ytsediment i Skagerrak och Kattegatt.
Range and means of dibutylphthalate concentrations in the surficial sediments of the Skagerrak and Kattegat.

Område	År	Antal stationer (n)	Intervall Dibutylftalat mg/kg	MV Dibutylftalat mg/kg	Referens
Bakgrund				-	
Riddarfjärden Stockholm	1994	6	0,048–0,15	0,076	Parkman & Remberg 1995
VF kustvattenkontroll	1995	12	<0,15–1,2	0,23	Cato 1997
	2000	4	<0,01–0,029	0,15	Cato 2006
Göta älv, Bohus	1994	3	0–0,004	0,003	Parkman & Remberg 1995
VF Göta älv	1995	2	<0,15	<0,15	Cato 1997
Stenungsund	1995	17	<0,15–1,2	0,23	Cato 1997

Tabell 2:79. Spridning och medelvärden för koncentrationerna av butylbensylftalat i ytsediment i Skagerrak och Kattegatt.
Range and means of butylbensylphthalate concentrations in the surficial sediments of the Skagerrak and Kattegat.

Område	År	Antal stationer (n)	Intervall Butylbensylftalat mg/kg	MV Butylbensylftalat mg/kg	Referens
Bakgrund				–	
Riddarfjärden Stockholm	1994	6	0,023–0,039	0,029	Parkman & Remberg 1995
VF kustvattenkontroll	1995	12	<0,02–0,12	0,018	Cato 1997
	2000	4	<0,01	<0,01	Cato 2006
Göta älv	1994	3	0	0	Parkman & Remberg 1995
VF Göta älv	1995	2	<0,02–0,17	0,1	Cato 1997
Stenungsund	1995	17	<0,02–0,06	0,023	Cato 1997

Tabell 2:80. Spridning och medelvärden för koncentrationerna av di-2-etylhexylftalat (DEHP) i ytsediment i Skagerrak och Kattegatt.
Range and means of di-2-etylhexylphthalate (DEHP) concentrations in the surficial sediments of the Skagerrak and Kattegat.

Område	År	Antal stationer (n)	Intervall Di-2-etylhexylftalat m/kg	MV Di-2-etylhexyl-ftalat mg/g	Referens
Bakgrund				-	
Riddarfjärden Stockholm	1994	6	2,1–3,1	2,5	Parkman & Remberg 1995
VF kustvattenkontroll	1995	12	<0,09–2,6	0,39	Cato 1997
	2000	4	0,062–0,39	0,19	Cato 2006
Göta älv, Bohus	1994	3	0,14–0,33	0,22	Parkman & Remberg 1995
VF Göta älv	1995	1	<0,3–9,2	4,8	Cato 1997
Stenungsund	1995	12	0,3–7,2	1,4	Cato 1997
Svenskt öppet hav	2003	16	0,09–2,8	1,1	Cato 2005

Förändringen av halten dibutylftalat, butylbensylftalat och di-2-etylhexylftalat (DEHP) i ytsedimentet på respektive station illustreras i figurerna 2:119–2:121. I medeltal har koncentrationen på de fyra stationerna sjunkit med respektive >99 %, 90 % och 85 % sedan 1995 (fig. 2:122–2:123), dvs. betydligt mer än de 35 % som krävs för att en förändring med säkerhet skall kunna detekteras vid ett femårigt provtagningsintervall.

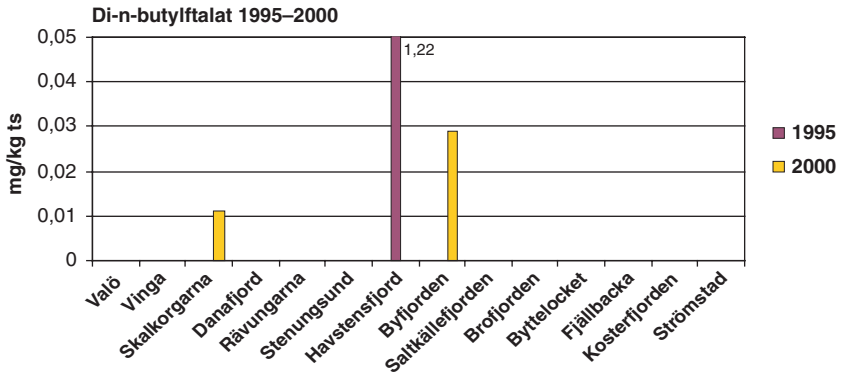


Fig 2:119. Di-n-butylftalat (mg/kg) i Bohuskustens ytsediment (0–1 cm) 1995–2000.
The distribution of di-n-buthylphthalate (mg/kg) in 1995–2000 in the surficial sediments (0–1 cm) of the Bohus Coast.

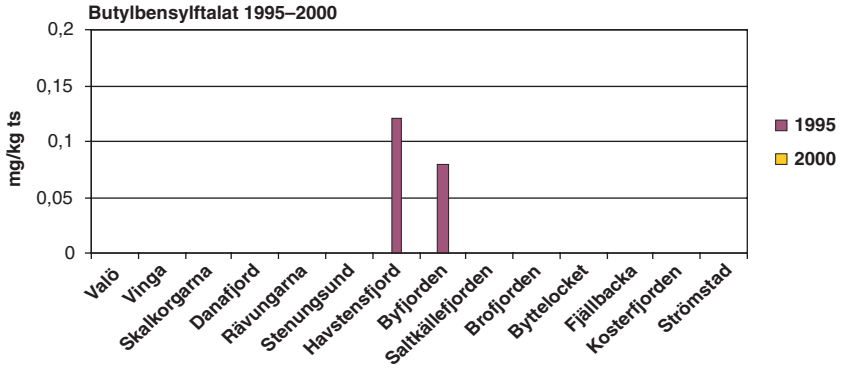


Fig 2:120. Butylbensylftalat (mg/kg) i Bohuskustens ytsediment (0–1 cm) 1995–2000.
The distribution of buthybensylphthalate (mg/kg) in 1995–2000 in the surficial sediments (0–1 cm) of the Bohus Coast.

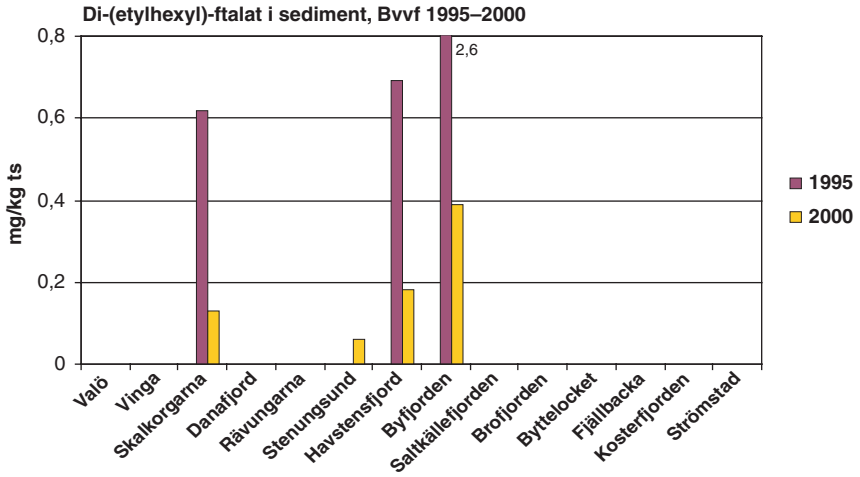


Fig 2:121. Di-(etylhexyl)-ftalat (mg/kg) i Bohuskustens ytsediment (0–1 cm) 1995–2000.
The distribution of di-(ethylhexyl)-phthalate (mg/kg) in 1995–2000 in the surficial sediments (0–1 cm) of the Bohus Coast.

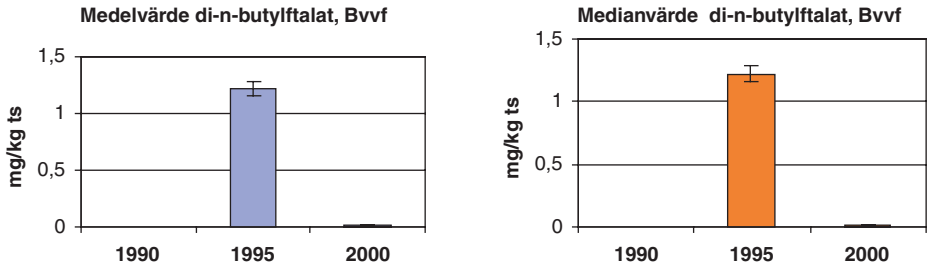


Fig. 2:122. Medelvärden (t.v.) och medianvärden (t.h.) för dibutylftalat i Bohuskustens ytsediment (0–1 cm) mellan 1995 och 2000.
Mean (left) and median (right) values of dibuthylphthalate between 1995 and 2000 in the surficial sediments (0–1 cm) of theBohusCoast.

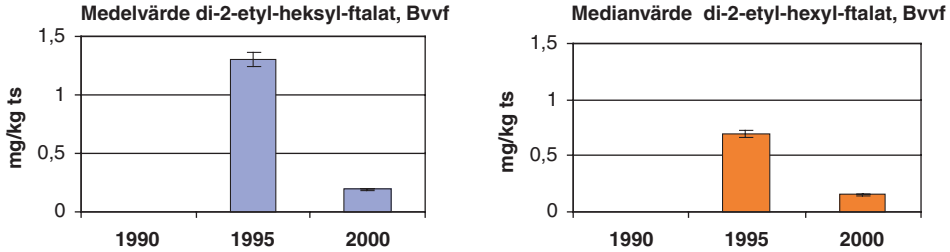


Fig. 2:123. Medelvärden (t.v.) och medianvärden (t.h.) för di-2-etyl-hexylftalat (DEHP) i Bohuskustens ytsediment (0–1 cm) mellan 1995 och 2000.

Mean (left) and median (right) values of di-2-etythyl-hexylphthalate (DEHP) between 1995 and 2000 in the surficial sediments (0–1 cm) of the Bohus Coast.

2.6.24 POLYBROMERADE DIFENYLETRAR

Några polybromerde difenyletrar kunde inte påvisas i ytsedimentproven (0–1 cm) på de två stationer (Skalkorgarna och Saltkällefjorden) som undersöktes inom ramen för kontrollprogrammet för Bohuskustens vattenvårdsförbunds 1995. Detektionsgränserna för analysen låg då på 5–10 µg/kg ts. Vid undersökningarna år 2000 analyserades ytsedimenten (0–1 cm) på samtliga 14 stationer inom berörda kontrollprogram och då med en detektionsgräns satt till 0,1 µg/kg ts.

Analysresultaten från 2000 års sedimentundersökning avseende polybromerade difenyletrar (PBDE) redovisas i tabell 2:81. Tre av åtta undersökta kongener kunde detekteras: tetrabromdifenyleter (PBDE-47), pentabromdifenyleter (PBDE-99) samt dekabromdifenyleter (Deka-BDE). Pentabromdifenyleter (PBDE-100) samt hexabromdifenyletrarna (PBDE-154, PBDE-153, PBDE-138) kunde således inte påvisas på någon station.

Tetrabromdifenyleter (PBDE-47) förekom i låga halter på stationerna Byfjorden, Byttelocket och Strömstad (fig. 2:124 och 2:126), medan pentabromdifenyleter (PBDE-99) endast förekom på de två senare stationerna (fig. 127). Inom hela undersökningsområdet varierade halten av PBDE-47 mellan <0,1 och 0,2 µg/kg ts och PBDE-99 mellan <0,1 och 0,15 µg/kg ts (tabell 2:82).

Dekabromdifenyleter (deka-BDE) förekom dels utanför Göteborg (Ving, Skalkorgarna och Danafjord), dels i Kosterfjorden. Halterna varierade inom hela undersökningsområdet mellan 0,1 och 0,58 µg/kg ts. Den högsta halten uppmättes vid Vinga. En tydlig skillnad föreligger i den areella fördelningen mellan dessa tre polybromerade difenyletrar. Deka-BDE förekommer med stor övervikt i Göteborgsområdet medan de andra två förekommer i området mellan Gullmaren (se även kapitel 5 och 6, denna volym) och Strömstad (fig. 2:125–2:128).

Vid 1995 års undersökningar kunde inga polybromerade difenyletrar påvisas inom Bohuskustens kontrollprogram.

Tabell 2:81. Polybromerade difenyletrar (PBDE och ∑8-PBDE) i Bohuskustens ytsediment (0–1 cm) 2000.

Polybrominated diphenylethers (PBDE and ∑8-PBDE) in the surficial sediments (0–1 cm) of the Bohus Coast in 2000.

Station	År	∑8 PDE µg/kg	PBDE-47 µg/kg	PBDE-99 µg/kg	PBDE-100 µg/kg	PBDE-85 µg/kg	PBDE-154 µg/kg	PBDE-153 µg/kg	PBDE-138 µg/kg	Deka-BDE-209 µg/kg
Valö	2000	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Vinga	2000	0,58	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,58
Skalkorgarna	2000	0,22	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,22
Danafjord	2000	0,16	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,16
Rävungarna	2000	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Stenungsund (G2)	2000	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Havstensfjord	2000	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Byfjorden	2000	0,11	0,11	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Saltkällefjorden	2000	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Brofjorden (324)	2000	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Byttelocket	2000	0,22	0,12	0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Fjällbacka	2000		<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Kosterfjorden	2000	0,18	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,18
Strömstad	2000	0,35	0,2	0,15	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1

Svenska bedömningsgrunder för PBDE saknas. I tabellerna 2:82–2:86 redovisas koncentrationsdata av bromerade difenyletrar från några andra områden utmed Bohuskusten, Göta älv och Östersjön. Halterna vad avser PBDE-47 och PBDE-99 på kustvattenkontrollens stationer ligger högre än motsvarande halter i Stock-

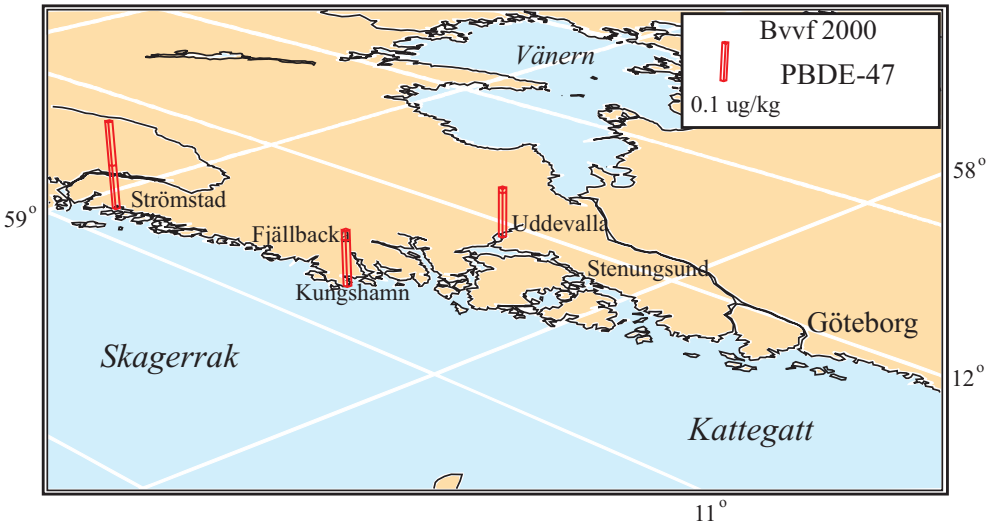


Fig 2:124. Fördelningen av PBDE-47 (µg/kg) i Bohuskustens ytsediment (0–1 cm) 2000.

The distribution of PBDE-47 (ug/kg) in 2000 in the surficial sediments (0–1 cm) of the Bohus Coast.

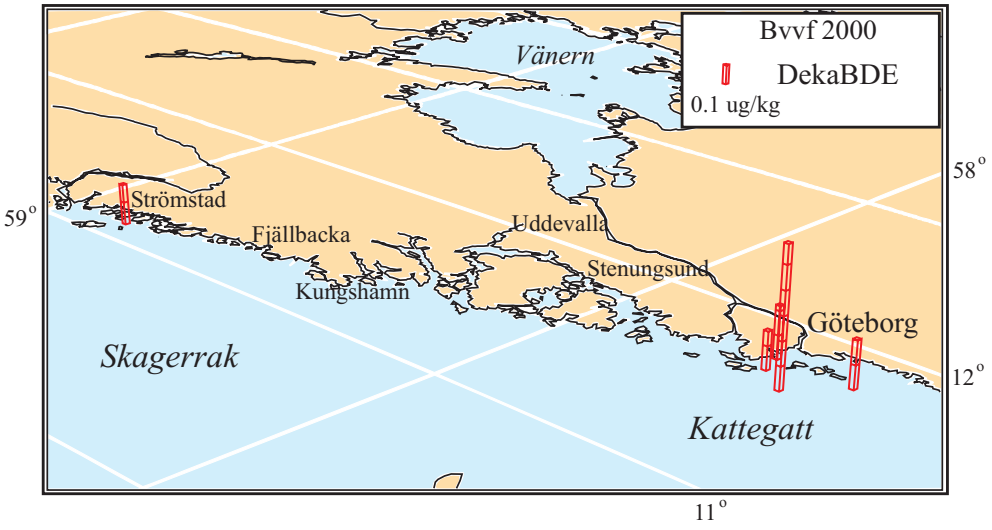


Fig 2:125. Fördelningen av DekaBDE (µg/kg) i Bohuskustens ytsediment (0–1 cm) 2000.

The distribution of Deka-BDE (µg/kg) in 2000 in the surficial sediments (0–1 cm) of the Bohus Coast.

holmsområdet och Bråviken, men ca 15 ggr lägre än utmed Skellefteå kommuns kust (Cato 2004). Halterna av PBDE-100 ligger också högre än i Stockholmsområdet och Bråviken, men lägre än Skellefteå kommuns kust. Deka-BDE ligger på kustvattenkontrollens stationer ca 8–10 ggr lägre än i Göta älv och Gullmaren.

Tabell 2:82. Spridning och medelvärden för koncentrationerna av PBDE-47 i ytsediment i Skagerrak och Kattegatt.
Range and means of PBDE-47 concentrations in the surficial sediments of the Skagerrak and Kattegat.

Område	År	Antal stationer (n)	Intervall PBDE-47 µg/kg	MV PBDE-47 µg/kg	Referens
Bakgrund				-	
Skelleftebukten	2003	3	0,21–0,58	0,42	Cato & Sellén 2004
Skellefteå kommuns kust	2003	8	0,045–7,9	1,3	Cato 2004
Stockholms skärgård	2002	8	0,041–0,092	0,063	Sternbeck m.fl. 2003
Bråviken	2002	1	0,079	0,079	Sternbeck m.fl. 2003
VF kustvattenkontroll	2000	14	0,11–0,2	0,11	Cato 2006
Göta älv	2000	2	<0,1–0,14	0,12	Cato 2006
Gullmarsfjorden	2000	1	0,14	0,14	Cato 2006
Brofjorden	2000	8	<0,1–0,25	<0,1	Cato 2006
Stenungsund	2000	14	<0,1–0,11	0,10	Cato 2006
Sverige, öppet hav	2003	16	<0,02–0,44	0,08	Cato 2005

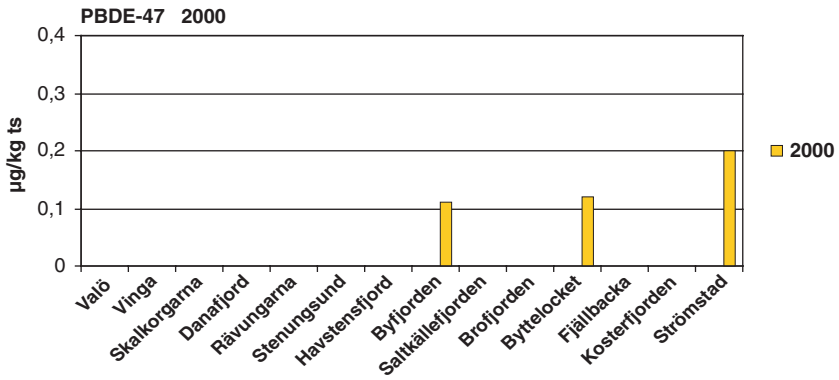


Fig 2:126. Tetrabromdifenyleter PBDE-47 (µg/kg) i Bohuskustens ytsediment (0–1 cm) 2000.
The distribution of tethrabromediphenylether PBDE-47 (µg/kg) in 2000 in the surficial sediments(0–1 cm) of the Bohus Coast.

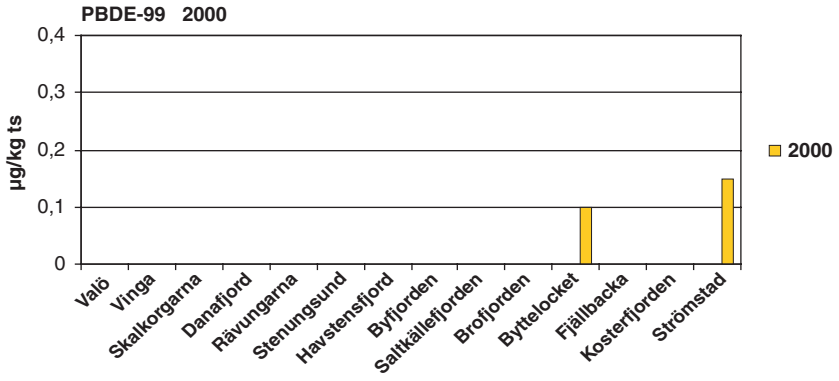


Fig 2:127. Pentabromdifenyleter PBDE-99 (µg/kg) i Bohuskustens ytsediment (0–1 cm) 2000.
The distribution of pentabromediphenylether PBDE-99 (µg/kg) in 2000 in the surficial sediments (0–1 cm) of the Bohus Coast.

Tabell 2:83. Spridning och medelvärden för koncentrationerna av PBDE-99 i ytsediment i Skagerrak och Kattegatt.

Range and means of PBDE-99 concentrations in the surficial sediments of the Skagerrak and Kattegat.

Område	År	Antal stationer (n)	Intervall PBDE-99 µg/kg	MV PBDE-99 µg/kg	Referens
Bakgrund				-	
Skelleftebukten	2003	3	0,22–0,79	0,59	Cato & Sellén 2004
Skellefteå kommuns kust	2003	8	0,029–7,9	1,4	Cato 2004
Stockholms skärgård	2002	8	0,048–0,18	0,093	Sternbeck m.fl. 2003
Bråviken	2002	1	0,087	0,087	Sternbeck m.fl. 2003
VF kustvattenkontroll	2000	14	<0,1–0,15	0,1	Cato 2006
Göta älv	2000	2	<0,1–0,16	0,13	Cato 2006
Gullmarsfjorden	2000	1	0,18	0,18	Cato 2006
Brofjorden	2000	8	<0,1–0,42	0,14	Cato 2006
Stenungsund	2000	14	<0,1–0,12	0,10	Cato 2006
Sverige, öppet hav	2003	16	<0,02–0,62	0,14	Cato 2005

Tabell 2:84. Spridning och medelvärden för koncentrationerna av PBDE-100 i ytsediment i Skagerrak och Kattegatt.

Range and means of PBDE-100 concentrations in the surficial sediments of the Skagerrak and Kattegat.

Område	År	Antal stationer (n)	Intervall PBDE-100 µg/kg	MV PBDE-100 µg/kg	Referens
Bakgrund				-	
Skelleftebukten	2003	3	0,04–0,12	0,084	Cato & Sellén 2004
Skellefteå kommuns kust	2003	8	<0,01–1,2	0,24	Cato 2004
Stockholms skärgård	2002	8	<0,03–0,055	0,023	Sternbeck m.fl. 2003
Bråviken	2002	1	<0,03	<0,03	Sternbeck m.fl. 2003
VF kustvattenkontroll	2000	14	<0,1	<0,1	Cato 2006
Göta älv	2000	2	<0,1	<0,1	Cato 2006
Gullmarsfjorden	2000	1	<0,1	<0,1	Cato 2006
Brofjorden	2000	8	<0,1	<0,1	Cato 2006
Stenungsund	2000	14	<0,1	<0,1	Cato 2006
Sverige, öppet hav	2003	16	<0,02–0,08	0,024	Cato 2005

Tabell 2:85. Spridning och medelvärden för koncentrationerna av PBDE-85 i ytsediment i Skagerrak och Kattegatt.

Range and means of PBDE-85 concentrations in the surficial sediments of the Skagerrak and Kattegat.

Område	År	Antal stationer (n)	Intervall PBDE-85 µg/kg	MV PBDE-85 µg/kg	Referens
Bakgrund				-	
Skelleftebukten	2003	3	0,03–0,05	0,043	Cato & Sellén 2004
Skellefteå kommuns kust	2003	8	0,044–0,68	0,16	Cato 2004
VF kustvattenkontroll	2000	14	<0,1	<0,1	Cato 2006
Göta älv	2000	2	<0,1	<0,1	Cato 2006
Gullmarsfjorden	2000	1	<0,1	<0,1	Cato 2006
Brofjorden	2000	8	<0,1	<0,1	Cato 2006
Stenungsund	2000	14	<0,1	<0,1	Cato 2006

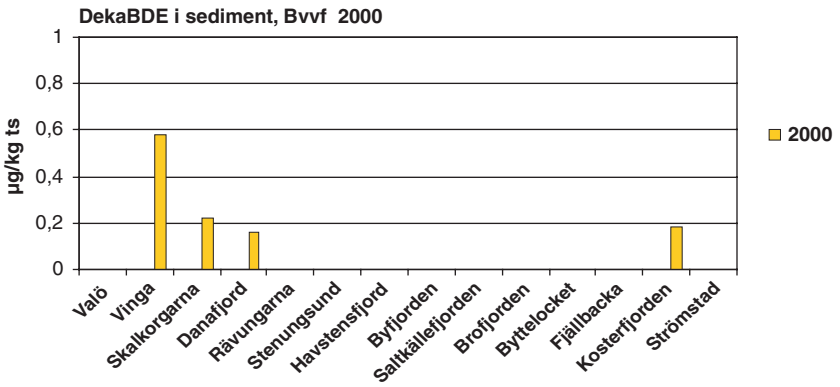


Fig 2:128.Dekabromdifenyleter DekaBDE (µg/kg) i Bohuskustens ytsediment (0–1 cm) 2000.

The distribution of decabromediphenylether DecaBDE (µg/kg) in 2000 in the surficial sediments (0–1 cm) of the Bohus Coast.

Tabell 2:86. Spridning och medelvärden för koncentrationerna av deca-BDE i ytsediment i Skagerrak och Kattegatt.
Range and means of deca-BDE concentrations in the surficial sediments of the Skagerrak and Kattegat.

Område	År	Antal stationer (n)	Intervall Deca-BDE µg/kg	MV Deca-BDE µg/kg	Referens
Bakgrund				-	
VF kustvattenkontroll	2000	14	<0,1–0,15	0,1	Cato 2006
Göta älv	2000	2	<0,1–2,2	1,2	Cato 2006
Gullmarsfjorden	2000	1	0,84	0,84	Cato 2006
Brofjorden	2000	8	<0,1–0,46	0,16	Cato 2006
Stenungsund	2000	14	<0,1–2,1	0,26	Cato 2006

2.6.25 KLORFENOLER

Femton av nitton olika klorfenolers förekomst undersöktes år 2000 i ytsedimenten (0–1 cm) på kustvattenkontrollens stationer. Analysresultaten redovisas i tabell 2:87a–b. Av de femton undersökta klorfenolerna kunde pentaklorfenol detekteras på samtliga stationer. Vid Valö kunde därutöver tre diklorfenoler (3,4-, och 3,5-diklorfenol), en triklorfenol (2,4,5-triklorfenol) och tre tetraklorfenoler (2,3,5,6-, 2,3,4,5- och 2,3,4,6-tetraklorfenol) påvisas, medan endast 3,5-diklor-fenol kunde påvisas på station Rävungarna. I övrigt låg halterna under detektionsgränsen 1 µg/kg ts.

Tabell 2:87a. Klorfenoler i Bohuskustens ytsediment (0–1 cm) 2000.
Chlorophenoles in the surficial sediments (0–1 cm) of the Bohus Coast in 2000.

Station	År	∑ klor-fenoler µg/kg	2,4/2,5-diklor-fenol µg/kg	2,3-diklor-fenol µg/kg	2,6-diklor-fenol µg/kg	3,5-diklor-fenol µg/kg	3,4-diklor-fenol µg/kg	2,3,5-triklor-fenol µg/kg	2,4,6-triklor-fenol µg/kg
Valö	2000	15	<1	<1	<1	2,1	1,6	<1	<1
Vinga	2000	2,1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
Skalkorgarna	2000	1,6	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
Danafjord	2000	1,7	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
Rävungarna	2000	6,8	<1	<1	<1	1,1	<1	<1	<1
Stenungsund (G2)	2000	1,4	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
Havstensfjord	2000	2,1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
Byfjorden	2000	4,1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
Saltkällefjorden	2000	2,0	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
Brofjorden (324)	2000	4,5	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
Byttelocket	2000	2,2	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
Fjällbacka	2000	1,9	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
Kosterfjorden	2000	1,4	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
Strömstad	2000	1,9	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1

Tabell 2:87b. klorfenoler i Bohuskustens ytsediment (0–1 cm) 2000.
Chlorophenoles in the surficial sediments (0–1 cm) of the Bohus Coast in 2000.

Station	År	2,4,5-triklor-fenol µg/kg	2,3,4-triklor-fenol µg/kg	2,3,6-triklor-fenol µg/kg	2,4,5-triklor-fenol µg/kg	2,3,5,6-tetrak-lorfenol µg/kg	2,3,4,5-tetra-klorfenol µg/kg	2,3,4,6-tetrak-lor-fenol µg/kg	Penta-klorfenol µg/kg
Valö	2000	<1	<1	<1	2,2	1,5	2,1	2,0	3,9
Vinga	2000	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	2,1
Skalkorgarna	2000	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	1,6
Danafjord	2000	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	1,7
Rävungarna	2000	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	5,7
Stenungsund (G2)	2000	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	1,4
Havstensfjord	2000	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	2,1
Byfjorden	2000	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	4,1
Saltkällefjorden	2000	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	2,0
Brofjorden (324)	2000	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	4,5
Byttelocket	2000	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	2,2
Fjällbacka	2000	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	1,9
Kosterfjorden	2000	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	1,4
Strömstad	2000	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	1,9

Halten av pentaklorfenol varierade mellan 1,4 och 5,7 µg/kg ts med ett medelvärde och medianvärde av 2,6 respektive 2,1 µg/kg ts (tabell 2:88, fig. 2:129). Halten av summa klorfenoler varierade mellan 1,4 och 15 µg/kg ts med ett medelvärde och medianvärde av respektive 3,4 och 2,1 µg/kg ts (tabell 2:88, fig. 2:130), vilket motsvarar det nationella medelvärdet (2,1 µg/kg ts) för öppet hav (Cato 2005). Den areella fördelningen av summa klorfenoler illustreras i figur 2:131. Rävungarna, Byfjorden och Brofjorden uppvisade de högsta halterna. Halterna är dock låga i jämförelse med t.ex. de värden som 1996/97 uppmättes i sedimentfällor utanför Mönsterås Bruk i Kalmarsund; pentaklorfenol: <0,01–688 µg/kg ts, summa klorfenol: 6,3–709 µg/kg ts (Cato 1999).

Pentaklorfenol utgör 100 % av summa klorfenoler på samtliga stationer utom Valö och Rävungarna där den utgör 26 % respektive 84 %. Klorfenolprofilen i Valö ytsediment avviker kraftigt från de profiler som övriga stationer uppvisar.

Svenska *bedömningsgrunder* för klorfenoler i kust- och havssediment saknas. Klorfenoler har inte tidigare undersökts inom ramen för Bohuskustens kontrollprogram, vilket medför att ingen tidstrendanalys varit möjlig att göra.

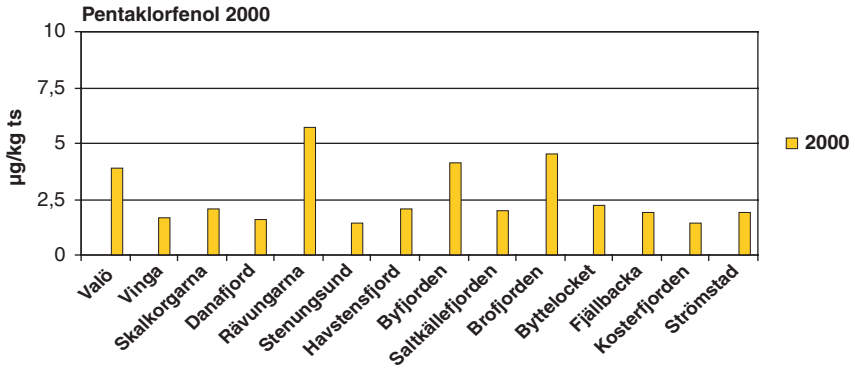


Fig 2:129. Pentaklorfenol (µg/kg) i Bohuskustens ytsediment (0–1 cm) 2000.
The distribution of penta-chlorophenol (µg/kg) in 2000 in the surficial sediments (0–1 cm) of the Bohus Coast.

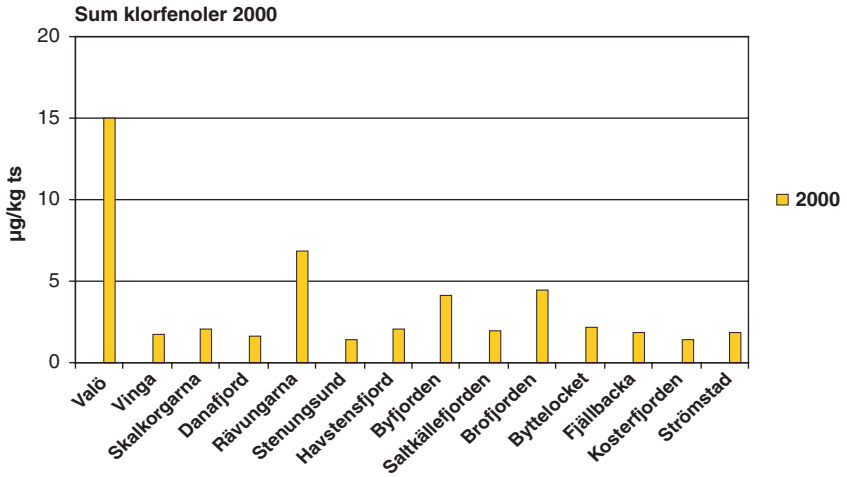


Fig 2:130. ∑ klorfenoler (µg/kg) i Bohuskustens ytsediment (0–1 cm) 2000.
The distribution of ∑ chlorophenols (µg/kg) in 2000 in the surficial sediments (0–1 cm) of the Bohus Coast.

Tabell 2:88. Spridning, medelvärden och medianvärden för klorfenoler i ytsediment (0–1 cm) från Bohuskusten 2000.
Range, means and medians of chlorophenoles in the surficial sediments (0–1 cm) of theBohus Coast in 2000.

Ämne	År	n	Intervall µg/kg	Medelvärde MV µg/kg	Medianvärde Md µg/kg	Standardavvikelse µg/kg
2,4/2,5-Diklorfenol	2000	14	<1	<1	<1	–
2,3-Diklorfenol	2000	14	<1	<1	<1	–
2,6-Diklorfenol	2000	14	<1	<1	<1	–
3,5-Diklorfenol	2000	14	<1–2,1	1	<1	0,29
3,4-Diklorfenol	2000	14	<1–1,6	1	<1	0,16
2,3,5-Triklorfenol	2000	14	<1	<1	<1	–
2,4,6-Triklorfenol	2000	14	<1	<1	<1	–
2,4,5-Triklorfenol	2000	14	<1	<1	<1	–
2,3,4-Triklorfenol	2000	14	<1	<1	<1	–
2,3,6-Triklorfenol	2000	14	<1	<1	<1	–
2,4,5-Triklorfenol	2000	14	<1–2,2	1	<1	0,32
2,3,5,6-Tetraklorfenol	2000	14	<1–1,5	1	<1	0,13
2,3,5,6-Tetraklorfenol	2000	14	<1–2,1	1	<1	0,29
2,3,5,6-Tetraklorfenol	2000	14	<1–2	1	<1	0,26
Pentaklorfenol	2000	14	1,4–5,7	2,6	2,1	1,4
∑ klorfenoler	2000	14	1,4–15	3,4	2,1	3,6

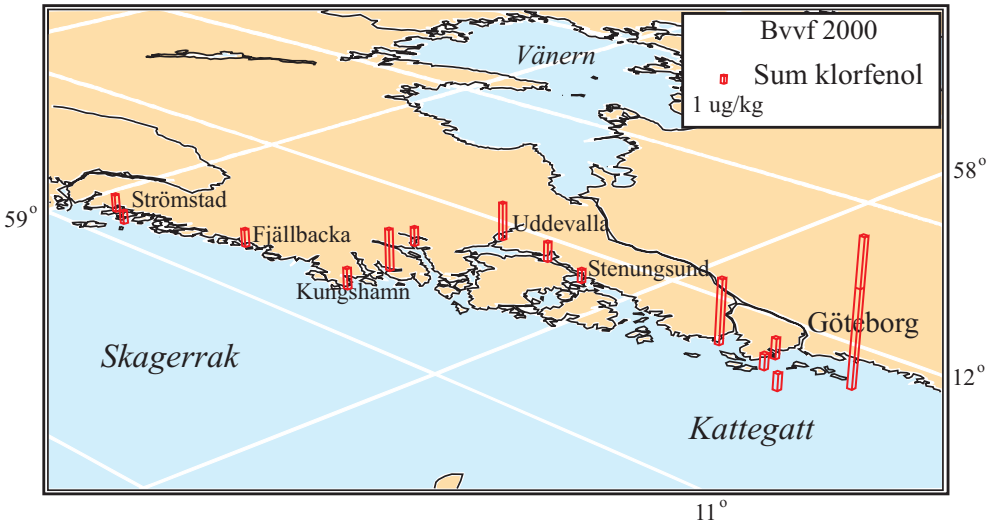


Fig 2:131. Fördelningen av ∑ klorfenoler (µg/kg) i Bohuskustens ytsediment (0–1 cm) 2000.
The distribution of ∑ chlorophenoles (ug/kg) in 2000 in the surficial sediments (0–1 cm) of the Bohus Coast.

2.6.26 KLORGUJAKOLER

Tetraklorgujakol kunde inte påvisas i ytsedimentproven (0–1 cm) på de två stationer (Skalkorgarna och Saltkällefjorden) som undersökts inom ramen för kontrollprogrammet för Bohuskustens vattenvårdsförbund 1995. Detektionsgränsen för analysen låg då på 9 µg/kg ts.

En förnyad analys med detektionsgränsen 1 µg/kg ts utfördes i Saltkällefjorden år 2000. Inte heller denna gång kunde tetraklorgujakol och inte heller 4,5-diklorgujakol och 3,4,5-klorgujakol påvisas.

2.6.27 FETTSYROR

Med anledning av de förhållandevis höga halter av summaparametrarna totalt extraherbart organiskt klor (EOCl) och totalt extraherbart persistent organiskt klor (EPOCl) som påvisats i Saltkällefjorden 1990 (Cato 1992) och 1995 (Cato 1997) undersöktes sedimenten förutom på klorgujakoler (se ovan) också på fettsyror i syfte att bekräfta gamla utsläpp från Munkedals pappersbruk. Från 1900-talets början och fram till 1965 tillverkade bruket sulfitmassa. Från och med 1965 köper bruket både riven och kemisk massa utifrån.

Analysresultaten från undersökningarna år 2000 redovisas i tabell 2:89. Fettsyreprofilen indikerar att sedimenten är belastade med tidigare utsläpp från massaindustrin. Som jämförelse presenteras i tabell 2:90 motsvarande analys från sediment utanför Mönsterås pappersbruk i Kalmarsund (Cato 1999).

Svenska bedömningsgrunder för fettsyror i kust- och havssediment saknas.

Tabell 2:89. Fettsyror i ytsediment (0–1 cm) från Saltkällefjorden 2000.
Fat acids in the surficial sediments (0–1 cm) of the Saltkällefjord in 2000.

Ämne	År	koncentration mg/kg
Dekansyra 10:0	2000	0,088
Dodekansyra 12:0	2000	0,15
Tetradekansyra 14:0	2000	0,87
Myristolsyra 14:1	2000	0,37
Hexadekansyra 16:0	2000	3,9
Palmitolsyra 16:1	2000	2,4
Oktadekansyra 18:0	2000	1,0
Oljesyra 18:1	2000	1,5
Linolsyra 18:2	2000	0,62
Linolensyra 18:3	2000	0,11
Eicosansyra 20:0	2000	0,53
∑ fettsyror	2000	11,5

Tabell 2:90. Spridning och medelvärden för koncentrationerna av ∑ fettsyror i ytsediment i Skagerrak och Kattegatt.
Range and means of ∑ fatacids concentrations in the surficial sediments of the Skagerrak and Kattegat.

Område	År	Antal stationer (n)	Intervall ∑ fettsyror mg/kg	MV ∑ fettsyror mg/kg	Referens
Bakgrund					
Saltkällefjorden	2000	1	11,5	11,5	Cato 2005
Kalmar sund*	1996–97	5	269–2 670	902	Cato 1999

* sedimentfällor / Sediment traps

2.6.28 ORGANISKA TENNFÖRENINGAR

Förekomsten av organiska tennföreningar har inte ingått i analysprogrammet för Bohuskustens kontrollprogram 2000. Däremot har de undersökts på samma stationer inom ramen för ett SGU-finansierat FoU-projekt år 2000 (Cato 2003 och 2005). Delar av resultaten redovisas nedan.

Följande föreningar ingick i SGU-studien: monobutyltenn (MBT), dibutyltenn (DBT), tributyltenn (TBT), tetrabutyltenn (TeBT), monooktyltenn (MOT), dioktyltenn (DOT), tricyklohexyltenn (TCHT), monofenyltenn (MFT), difenyltenn (DFT) och trifenyltenn (TFT). Av dessa kunde MBT, DBT, TBT detekteras på samtliga stationer medan TeBT endast detekterades i Byfjorden, Saltkällefjorden och vid Byttelocket. MFT, DFT och TFT kunde endast detekteras utanför Göteborg (Skalkorgarna och Danafjord). MOT, DOT, TCHT och MFT kunde inte detekteras på någon station. Analysresultaten redovisas i tabell 2:91 samt illustreras i figurerna 2:132–2:137. Dessa föreningar har inte tidigare undersökts i sedimenten på kustvattenkontrollens stationer.

Tributyltenn (TBT) är en av de mest använda organiska tennföreningarna i båtbottenfärger. Halterna på vattenvårdsförbundets stationer varierade mellan 1 och 1000 µg/kg ts med ett medel och medianvärde av 152 respektive 28 µg/kg ts (tabell 2:92). De tre högsta halterna på 230, 550 respektive 1000 µg/kg ts påträffades i Brofjorden, Byfjorden respektive Saltkällefjorden (fig. 137). Dessa värden kan jämföras med det nationella medelvärdet (21 µg/kg ts) för öppet hav (Cato 2005b).

Svenska bedömningsgrunder för organiska tennförenigar i kust- och havssediment saknas, men enligt norska bedömningsgrunder är en halt på mer än 100 µg/kg ts att betrakta som mycket hög (klass 5).

DBT och MBT utgör nedbrytningsprodukter av TBT. Detta innebär att en TBT/MBT-kvot som är mindre än 1 visar på en långt gången nedbrytning och att föroreningen är av äldre datum. Detta var fallet i Kosterfjorden, medan övriga områden och i synnerhet Byfjorden, Saltkällefjorden, Brofjorden, Byttelocket och Göteborgsområdet uppvisade höga till extremt höga kvoter, vilket visar på föroreningar av relativt färskt datum.

När det gäller Brofjorden och Göteborgsområdet så har de höga halterna delvis sin förklaring i den transoceana fartygstrafiken som löper in i dessa hamnar, medan resultaten från övriga områden är mycket anmärkningsvärda. Det senare mot bakgrund av att användning av organiska tennföreningar i båtbottenfärger förbjöds i Sverige 1989 på båtar understigande 25 meters längd och 1993 på båtar överstigande 25 m längd såvida dessa inte gick i transocean trafik. Resultaten indikerar att användningen inte upphört, i varje fall inte före år 2000. En tänkbar källa i Saltkällefjorden är fritidsbåtsvarvet i Resteröd.

I tabell 2:93 redovisas TBT-halter från några andra områden utmed den svenska kusten samt från några andra områden i Europa. I jämförelse med dessa kan konstateras att Bohuskusten är starkt kontaminerat med avseende på TBT.

Tetrabutyltenn och fenyltennföreningar (DFT och TFT) är mindre vanliga i svenska kustsediment. Utmed Bohuskusten påträffades dock dessa tennföreningar. Den förra föreningen i området mellan Byfjorden och Byttelocket (fig. 2:134) medan den senare uppträder i Göteborgsregionen (fig. 2:135–2:136).

Nyligen utförda undersökningar och analyser av nätsnäckor (*Nassa reticulatum*) från hamnar och marinor längs Bohuskusten visar att dessa håller höga halter av TBT och att mellan 60 och 85 % av honsnäckorna har kraftigt utvecklad imposex (maskulinisering), vilket är en välkänd effekt av TBT (Magnusson m.fl. 2005).

Tabell 2:91. Organiska tennföreningar i Bohuskustens ytsediment (0–1 cm) 2000.
Organo-tin compounds in the surficial sediments (0–1 cm) of the Bohus Coast in 2000.

Station	År	MBT µg/kg	DBT µg/kg	TBT µg/kg	TeBT µg/kg	MOT µg/kg	DOT µg/kg	TCHT µg/kg	MFT µg/kg	DFT µg/kg	TFT µg/kg
Valö	2000	7	10	9	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
Vinga	2000	7	9	23	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
Skalkorgarna	2000	20	33	86	<1	<1	<1	<1	<1	2	8
Danafjord	2000	4	8	24	<1	<1	<1	<1	<1	14	<1
Rävungarna	2000	13	13	23	<1	<1	1,1	<1	<1	<1	<1
Stenungsund	2000	14	14	23	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
Havstensfjord	2000	18	18	31	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
Byfjorden	2000	6	100	550	9	<1	<1	<1	<1	<1	<1
Saltkällefjorden	2000	19	210	1000	17	<1	<1	<1	<1	<1	<1
Brofjorden	2000	18	46	230	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
Byttelocket	2000	4	24	71	3	<1	<1	<1	<1	<1	<1
Fjällbacka	2000	5	21	14	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
Kosterfjorden	2000	2	2	1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
Strömstad	2000	12	23	40	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1

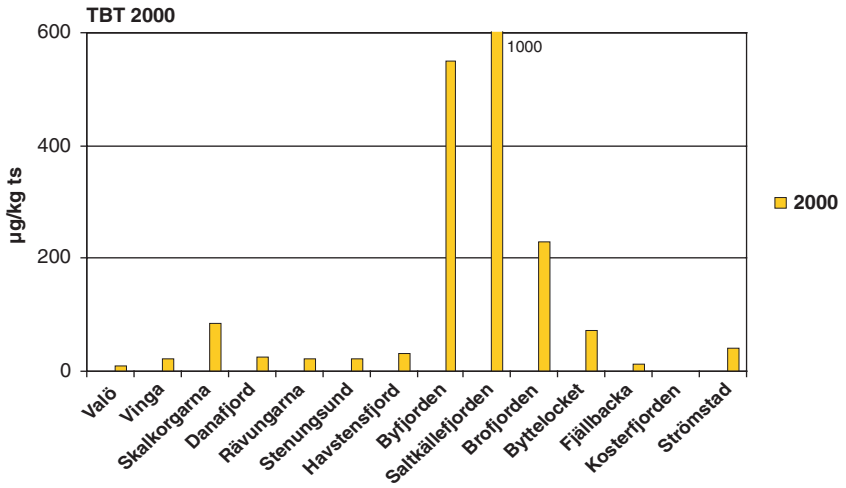


Fig 2:132. Tributyltenn (µg/kg) i Bohuskustens ytsediment (0–1 cm) 2000.
The distribution of tributhyltin (µg/kg) in 2000 in the surficial sediments (0–1 cm) of the Bohus Coast.

Tabell 2:92. Spridning, medelvärden och medianvärden för några organiska tennföreningar i ytsediment (0–1 cm) från Bohuskusten 2000.
Range, means and medians of some organo-tin compounds in the surficial sediments (0–1 cm) of the Bohus Coast in 2000.

Ämne	År	n	Intervall µg/kg	Medelvärde MV µg/kg	Medianvärde Md µg/kg	Standardavvikelse µg/kg
Monobutyltenn (MBT)	2000	14	2–20	11	10	6,4
Dibutyltenn (DBT)	2000	14	2–210	38	20	55
Tributyltenn (TBT)	2000	14	1–1000	152	28	284
Tetrabutyltenn (TeBT)	2000	14	3–17	1	<1	0,29
Monooktyltenn (MOT	2000	14	<1	<1	<1	0,16
Dioktyltenn (DOT)	2000	14	<1	<1	<1	–
Tricyklohexyltenn (TCHT)	2000	14	<1	<1	<1	–
Monofenyltenn (MFT)	2000	14	<1	<1	<1	–
Difenyltenn (DFT)	2000	14	2–14	8	<1	–
Trifenyltenn (TFT)	2000	14	8	–	–	–

Tabell 2:93. Koncentrationsintervall av tributyltenn (TBT) i ytsediment (0–1 cm) från svenska och europeiska hamnar och kustområden (från Cato 2003).
The concentration interval of tributhyltin in the surficial sediments (0–1 cm) of Swedish and European habours and coastal areas (from Cato 2003).

Område	År	Antal stationer (n)	Intervall TBT µg/kg	Referens
Skagerrak, Bohuskusten	2000	21	1–86	Cato 2003, 2005
Sverige, öppet hav	2003	16	1–110	Cato 2005 b
VF kustvattenkontroll	2000	14	1–1000	Cato 2006
Hallandskusten, Kattegatt	1994–99	11	<1–11	Cato 2003, 2005
Öresund	2000		5–14	OSPAR / COM 2000
Sydkusten, SV Östersjön	1995	10	<1–25	Cato 2003, 2005
Stockholms skärgård	1998	42	<1–99	Cato 2003, 2005
Rönnängs marina	1998	1	69	Jacobsen 1998
Dyröns marina	1998	1	150	Granmo 2002
Åstols marina	1998	1	350	Granmo 2002
Berga örlogsbas	1999	4	<1–76	Cato m.fl. 2002
Muskö örlogsbas	1999	1	20–220	Cato m.fl. 2002
Scanraffs produkthamn, Brofjorden	2000	2	160–230	Cato 2003, 2005
Göteborgs hamn	2000	1	540	Cato 2003, 2005
Uddevalla hamn	2000	1	550	Cato 2003, 2005
Studseröd, saltkälleforden	2000	1	1000	Cato 2003, 2005
Trelleborgs hamn	2002	1	1400	Cato 2003, 2005
Rotterdams hamn			50–70	OSPAR / COM 2000
Hollands kust			4–46	OSPAR / COM 2000
Belgiens kust			–81	OSPAR / COM 2000
Nordsjön	1999		<1–2	Thomas m.fl. 2000
Irländska sjön	1999		<1–2	Thomas m.fl. 2000
Norges kust o hamnar			10–1000	OSPAR / COM 2000
Southamptons estuarier	1999		50–540	Thomas m.fl. 2000
Southamptons marinor	1999		50–5800	Thomas m.fl. 2000

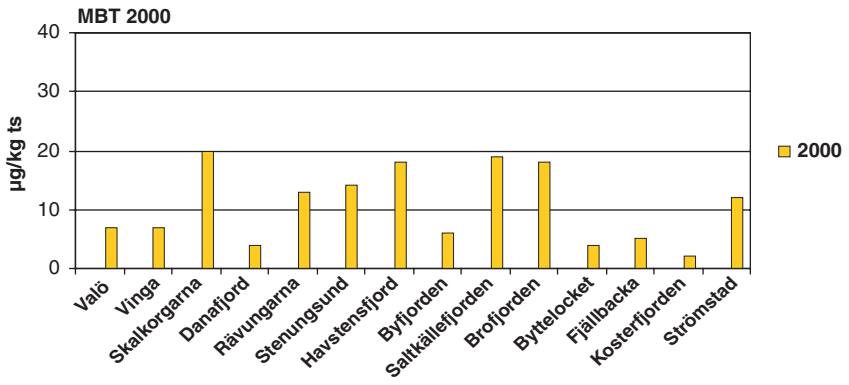


Fig 2:133. Monobutyltenn (µg/kg) i Bohuskustens ytsediment (0–1 cm) 2000.
The distribution of monobuthyltin (µg/kg) in 2000 in the surficial sediments (0–1 cm) of the Bohus Coast.

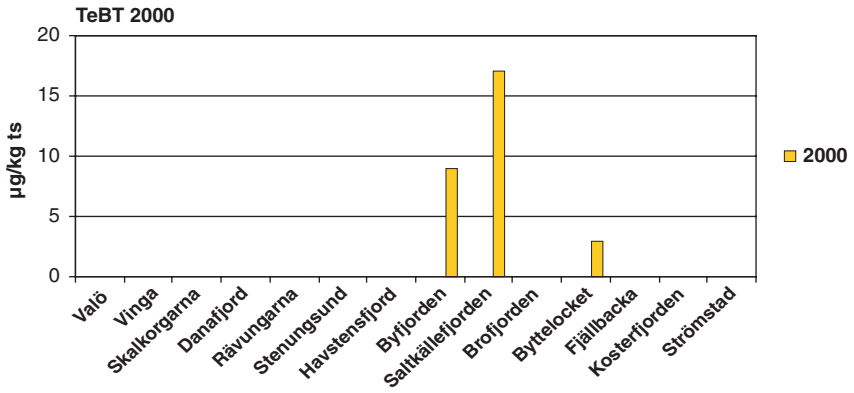


Fig 2:134. Tetrabutyltenn (µg/kg) i Bohuskustens ytsediment (0–1 cm) 2000.
The distribution of tethrabuthyltin (µg/kg) in 2000 in the surficial sediments(0–1 cm) of the Bohus Coast.

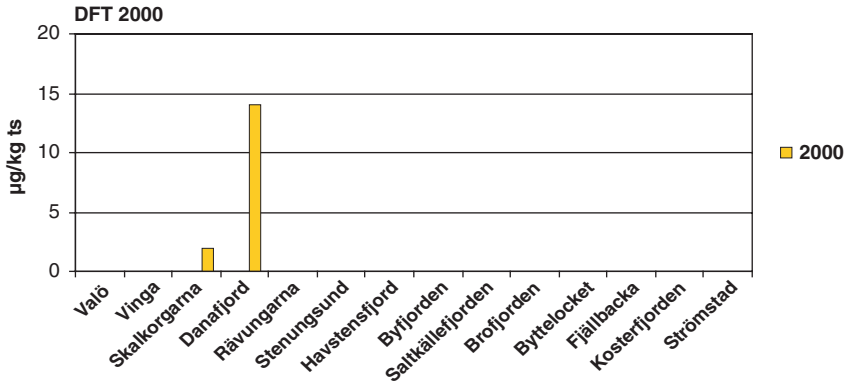


Fig 2:135. Difenyltenn (µg/kg) i Bohuskustens ytsediment (0–1 cm) 2000.
The distribution of diphenyltin (µg/kg) in 2000 in the surficial sediments of the Bohus Coast.

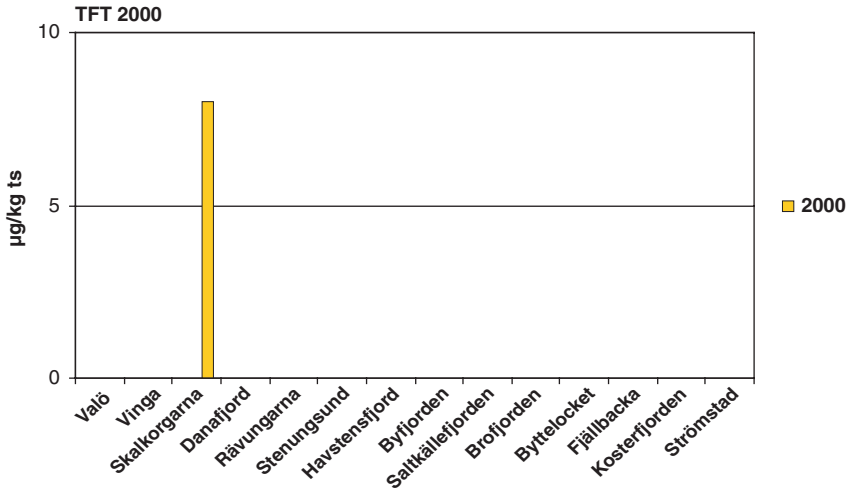


Fig 2:136. Trifenyltenn (µg/kg) i Bohuskustens ytsediment (0–1 cm) 2000.
The distribution of triphenyltin (µg/kg) in 2000 in the surficial sediments of the Bohus Coast.

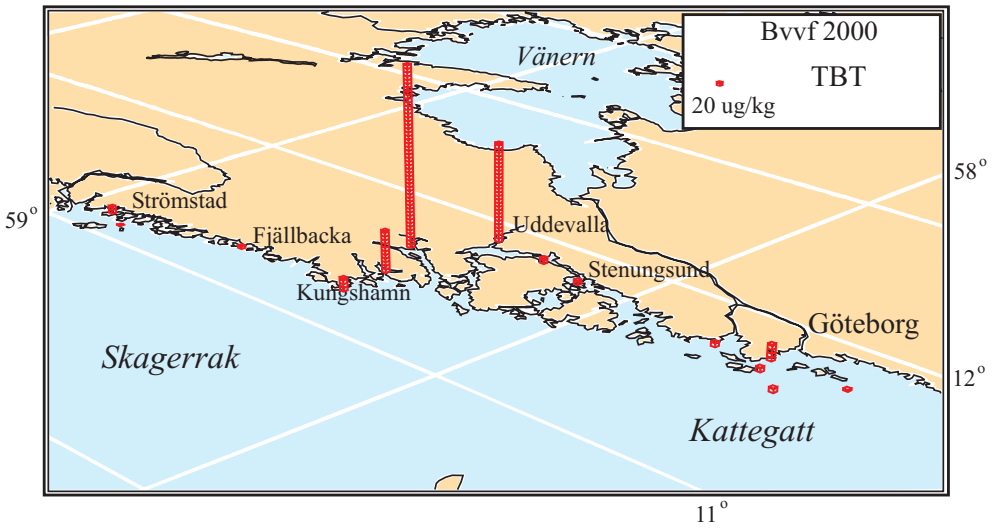


Fig 2:137. Fördelningen av tributyltenn (TBT, µg/kg) i Bohuskustens ytsediment (0–1 cm) 2000.
The distribution of tributhyltinn (TBT, µg/kg) in 2000 in the surficial sediments (0–1 cm) of the Bohus Coast.

2.7 Trendanalyser

I de föregående avsnitten har presentationen av analysresultaten främst varit inriktad på att presentera den stationsvisa koncentrationsförändringen över tiden av respektive undersökt ämne/substans, samt att med hjälp av medel- och medianvärdesförändringen för samma period ge en generell bild av utvecklingen utmed Bohuskusten. De senare uppgifterna har ställts mot framtagna inhomogenitetsfaktorer för respektive ämne i sedimentet samt mot den blandningsfaktor (biologisk och annan fysisk omröring av ytsedimentet) som beräknats från Pb-210 dateringar av åtta sedimentkärnor.

Sannolikheten för att de ovan beskrivna medelvärdesförändringarna är reella har dessutom testas statistiskt (enl. Fowler & Cohen 1996) med hjälp av s.k. t-test med (n–1) frihetsgrader för matchade datapar (dvs. data från samma stationer men härrörande från olika år 1990, 1995 och 2000). Resultaten av denna test redovisas i tabell 2:94.

Testen omfattar dels en matchning där 1990 och 1995 års data ställs mot varandra, dels motsvarande för 1995 och 2000 års data samt för 1990 och 2000 års data. Dessa s.k. trendanalyser ger med större eller mindre sannolikhet svar på hur säker en observerad förändring över tiden (trend) är.

Testen visar att med 99,9 % ($p>0,001$) sannolikhet har fosfor- och tennhalterna i ytsedimentet (0–1 cm) ökat med drygt 100 respektive 200 % mellan 1990 och 2000. Under samma period har med mellan 97,5 och 99,0 % sannolikhet ($0,025<p<0,01$) halterna av totalkol (TC), totalt organiskt kol (TOC), totalkväve (TN), koppar (Cu), nickel (Ni) och vanadin (V) ökat, medan halterna av kvicksilver (Hg), zink (Zn), totalkolväte (THC), total-PCB, pentaklorbensen (pe-CB) och hexaklorbensen (HCB) minskat.

För övriga ämnen är sannolikheten för trenden lägre (75–90 %) alternativt mycket låg (<75 %) och därmed är trenden mer osäker.

Överlagrat dessa förändringar ligger dessutom ovan beskrivna faktorer för inhomogenitet respektive fysiska omblandning av sedimentet. Den förra faktorn vanligen mindre än 10 % och den senare faktorn i genomsnitt 20 % på förändringar som ägt rum under en tioårsperiod respektive 35 % på förändringar som ägt rum under en femårsperiod. Faktorer som i flera fall är större än den med hög statistisk sannolikhet observerade genomsnittliga koncentrationsförändringarna utmed kusten. I dessa fall krävs längre observationsperioder för att öka säkerheten i slutsatsen över respektive trend.

I tabell 2:94 redovisas på motsvarande sätt den statistiska sannolikheten för förändringar observerade mellan 1990 och 1995 respektive 1995 och 2000.

Tabell 2:94 Signifikansen i medelvärdesförändringen för några metaller och organiska miljögifter i ytsediment (0–1 cm) från vattenvårdsförbundets kontrollstationer utmed Bohuskusten mellan 1990 och 2000 samt femårsintervallen däremellan. Observerad t-fördelning (t_s) med (n–1) frihetsgrader. P är den observerade sannolikheten.

The significans of the average change of some heavy metals and organinc micropollutants in surface sediments (0–1 cm) from the Bohus coast at the monitoring sites of the Bohus Coast Water Conservation Association between 1990 and 2000 and the five-years interval in between. Observed t-distribution (t_s) with (n–1) degrees of freedom. P is the observed probability.

Ämne/ /Parameter	1990–1995 t (n=10)	1990–1995 p	1995–2000 t (n=12)	1995–2000 p	1990–2000 t (n=10)	1990–2000 p
Vattenhalt	–0,3032	p<0,25	–2,0846	0,05<p<0,025	–4,8107	p>0,001
Oorg C	–1,1129	0,25<p<0,1	1,6959	0,1<p<0,05	0,3615	p<0,25
TC	–1,6354	0,1<p<0,05	–0,3091	p<0,25	–1,8544	0,05<p<0,025
TOC	0,3710	p<0,25	–1,6105	0,1<p<0,05	–2,3045	0,025<p<0,01
TN	–1,0018	0,25<p<0,1	–0,0456	p<0,25	–2,3584	0,025<p<0,01
C/N	4,4047	p>0,001	–3,1818	0,005<p0,001	–0,0907	p<0,25
P	–5,7720	p>0,001	–3,7933	0,005<p0,001	–7,0789	P>0,001
As	–2,8285	0,025<p<0,01	2,0344	0,05<p<0,025	–1,2459	0,25<p<0,1
Cd	1,0281	0,25<p<0,1	–1,6030	0,1<p<0,05	–1,2998	0,25<p<0,1
Cr	–1,2203	0,25<p<0,1	–0,4973	p<0,25	–0,6815	p<0,25
Cu	1,8068	0,1<p<0,05	–2,0264	0,05<p<0,025	–1,4299	0,025<p<0,01
Hg	1,8889	0,05<p<0,025	0,4479	p<0,25	1,4530	0,025<p<0,01
Mn			0,4268	p<0,25		
Ni	0,6073	p<0,25	–1,8088	0,05<p<0,025	–1,8052	0,025<p<0,01
Pb	0,7691	0,25<p<0,1	–1,3350	0,25<p<0,1	–0,7217	p<0,25
Sn	–3,3046	0,005<p0,001	0,8353	0,25<p<0,1	–11,6435	P>0,001
V	–1,4028	0,1<p<0,05	–0,4244	p<0,25	–1,8232	0,025<p<0,01
Zn	–0,7814	0,25<p<0,1	2,7426	0,01<p<0,005	2,0173	0,05<p<0,025
THC	2,8589	0,01<p<0,005	–1,7138	0,1<p<0,05	2,4095	0,025<p<0,01
∑16 PAH	1,1664	0,25<p<0,1	–1,0006	0,25<p<0,1	–0,3325	p<0,25
Naftalen			–1,5672	0,1<p<0,05		
∑7 PCB	1,4520	0,1<p<0,05	2,8519	0,01<p<0,005	2,0757	0,05<p<0,025
Tot PCB	1,3773	0,25<p<0,1	0,7928	0,25<p<0,1	1,7561	0,025<p<0,01
Non-orthoPCB			1,3076	p<0,25		
PeCB	1,1701	0,25<p<0,1	2,7545	0,01<p<0,005	1,4325	0,025<p<0,01
HCB	1,6093	0,1<p<0,05	0,4648	p<0,25	1,5538	0,025<p<0,01
OCS	1,6316	0,1<p<0,05	23,5455	p>0,001	1,7335	0,1<p<0,05
Lindan			1,7467*	p<0,25		
∑ PCDD/PCDF	0,0915	p<0,25	0,5490	p<0,25	1,1245	0,25<p<0,1
WHO-TEF	–1,5119	0,25<p<0,1	1,0626	0,25<p<0,1	1,2519	0,25<p<0,1
TE-Eadon	–4,0909	0,1<p<0,05	1,1273	0,25<p<0,1	1,1576	0,25<p<0,1
TE-Nordic	–6,0909	0,1<p<0,05	0,9818	0,25<p<0,1	1,2160	0,25<p<0,1
Bensen			2,3927	0,025<p<0,01		
Toluen			3,1109	0,005<p0,001		
∑ Etylben.+ xylen			3,1134	0,005<p0,001		
Dibutylftalat			1,4958**	0,25<p<0,1		
Butylbensylftalat			2,0254**	0,1<p<0,05		
Di-(2etylhexyl)ftalat			1,6901**	0,1<p<0,05		

* n = 2, ** n =4

2.8 Sammanfattning

Sedimenten utmed Bohuskusten, från Strömstad i norr till Göteborgs södra skärgård i söder, har på uppdrag av Bohuskustens vattenvårdsförbund (Bvvf) undersökts år 2000 med avseende på vissa fysiska och kemiska parametrar. Drygt ett 100-tal ämnen, tungmetaller, organiska miljögifter och näringsämnen har studerats på 14 stationer. Sveriges geologiska undersökning (SGU) har svarat för provinsamling och Alcontrol för analys av sedimentproven samt avrapportering av denna fas, medan SGU har svarat för utvärdering, trendanalys och slutlig avrapportering. Studien ingår som ett led i vattenvårdsförbundets kustvattenkontroll, omfattande bl.a. kontroll och bedömning av sedimentkvaliteten vart femte år. De föregående studierna genomfördes 1990 (Cato 1992) och 1995 (Cato 1997a).

Föreliggande undersökning föregicks av en hydroakustisk avbildning (side-scan sonarteknik) av bottenytan på de förutbestämda provtagningsplatserna. Avbildningen genomfördes i syfte att öka kunskapen om sedimentationsmiljön på och runt varje provtagningsplats. En förnyad provtagning av det översta sedimentskiktet

(0–1 cm) kunde därefter genomföras på 12 tidigare provtagna stationer samt ytterligare två i programmet tillkomna stationer. Under förutsättning att det översta sedimentskiktet till största delen utgörs av nysedimenterat material kan utvecklingen av miljökvaliteten i form av antropogent tillförda ämnen till de Bohuslänska kustvattnen avläsas genom s.k. trendanalys. I nedan redovisade och sammanfattande trendanalys återges endast den sammanvägda trenden för varje enskild parameter, ämne eller förening inom hela kustområdet. Utvecklingen på varje enskild station redovisas separat under respektive avsnitt i rapporten.

För att kunna bestämma belastningen av ett kemiskt ämne eller förening inom ett kustavsnitt eller en recipient måste i vissa fall hänsyn tas till effekten av den naturliga variationen av ämnet/föreningen som beror på variationer i halten organiskt material. Detta kan man göra genom den s.k. Gradientmetoden, där gradienten i sig utgör ett mått på belastningen. Detta förutsätter dock att ämnet/föreningen uppvisar en godtagbar och sannolik positiv korrelation (association) till sedimentens innehåll av totalt organiskt kol. I de fall där ett sådant samband föreligger inom området har belastningsgradienten också beräknats.

Varje station är geografiskt placerad på ett sådant sätt att den kan anses representera ett större kustområde, t.ex. en fjord. Hur väl varje station representerar ett utvalt område eller region är inte undersökt.

Med hjälp av Pb-210 datering bestämdes 1995 sedimentationshastigheten på stationerna Danafjord, Stenungsund, Fjällbacka och Koster. Vid undersökningarna 2000 bestämdes sedimentationshastigheten på ytterligare tre stationer (Skalkorgarna, Rävungarna och Brofjorden). På dessa sju stationer varierade hastigheten mellan 1,1 och 14 mm/år. Utifrån en beräknad blandningskoefficient (till följd av bl.a. bioturbation, dvs. sedimentomröring av bottendjur) har också en minsta möjliga förändring i tillförsel av föroreningar, som kan avläsas i sedimentet med ett provtagningsintervall på fem respektive tio år, uppskattats. Resultatet visar att på nämnda stationer krävs en förändring i tillförsel på mellan 35 och 65 % respektive 20 och 45 % om man utgår från en 10-procentig reproducerbarhet vid de kemiska analyserna. Dessa beräkningar baserar sig på en teoretisk modell och får inte betraktas som absoluta utan utgör snarare grova riktvärden. Väsentligt vid trendanalys av miljökemiska data är också samstämmigheten inom stationsnätet, dvs. om trenden är den samma på alla undersökta stationer.

Samtliga sedimentprovers halt av ler och silt, dvs. kornstorleksfraktionerna <63 µm, har bestämts i syfte att bl.a. utreda sedimentationsmiljön på de undersökta stationerna. Tillsammans med vattenhaltsbestämningarna, de radiografiska analyserna och ovan nämnda hydroakustiska avbildning av sedimentet visar resultaten att 13 av de 14 studerade stationerna inom kustvattenkontrollprogrammet härrör från potentiellt goda sedimentationsmiljöer, medan episodisk bottentransport inte kan uteslutas på en station (Danafjord). På elva av de fjorton stationerna varierar andelen ler och silt med mindre än 5 % och vattenhalten med mindre än 10 % mellan de två undersökningsåren 1995 och 2000. Detta visar på stabila bottendynamiska förhållanden.

Såväl sedimentens färg som oxidationsförhållanden på respektive station år 2000 överensstämmer relativt väl med resultaten från de två tidigare undersökningsomgångarna 1990 och 1995. Undantag är de stationer som flyttats till bättre sedimentationsmiljöer. Den levande bottenfaunan däremot förefaller att ha ökat efter 1995, då sex stationer mot tidigare en station (1995) uppvisade levande makrofauna. Sedimenten i Saltkällefjorden har vid samtliga undersökningstillfällen skilt sig från övriga stationer genom sitt innehåll av cellulosafibrer som troligen härrör från den tidigare driften vid Munkedals pappersbruk.

Sedimentens organiska kolhalt (TOC) ligger inom ett för Bohuskusten normalt intervall. I genomsnitt har halten ökat med 20 % sedan 1995 och med 16 % sedan 1990. Halten oorganiskt kol (OOC, huvudsakligen karbonatkol) har däremot minskat med i genomsnitt 35 % sedan 1995, medan halten totalkol ökat (TC) med ca 7 %. I förhållande till 1990 är halten oorganiskt kol relativt oförändrad medan totalkolhalten ökat med 24 %, främst till följd av ökningen av halten totalt organiskt kol.

Kvävet (TN) i sedimenten är till största delen organiskt bundet och uppvisar därför ett fördelningsmönster snarlikt det för totalt organisk kol. Kvävehalten i sedimenten har i genomsnitt ökat med ca 3 % och C/N-kvoten med ca 20 % mellan 1995 och 2000. Förändringen tyder på att den tidigare ökning inom området av andelen sedimenterat marint (kväverikt och cellulosafattigt) detritus som observerades mellan 1990 och 1995 nu kan ha brutits. Ett förhållande som bl.a. framgår av lutningskoefficienten för relationen mellan kväve och organiskt kol som minskat från 0,11 till 0,10 under samma period. Att förändringen beror på ett minskat tillskott av kväverik, dvs. marin detritus, framgår av det negativa samband som erhölls mellan halten kväve och C/N-kvoten i sedimentet. Orsaken till förändringarna av C/N-kvoten står närmast att finna i att den

tidigare observerade allmän eutrofieringen av området, som under många år gynnat produktionen av marint organiskt material relativt tillförseln av organiskt material från land nu tycks ha minskat. Motsvarande förändringar har observerats i Brofjorden mellan 1972 och 2000, samt i Stenungsundsområdet mellan 1975 och 2000 (se del 4 och 5 i denna samlingsvolym).

Sedimentens totalfosforhalt (tot-P) inom området ligger i överkant av det intervall som uppmätts i andra recipienter utmed Bohuskusten. Fosforhalten har ökat på samtliga stationer med i genomsnitt drygt 27 % mellan 1995 och 2000 och sedan 1990 med drygt 100 %. Motsvarande förändringar har även noterats på andra håll utmed Bohuskusten, t.ex. i Brofjorden mellan 1972 och 2000, samt i Stenungsundsområdet mellan 1995 och 2000 (se del 4 och 5 i denna samlingsvolym). Till skillnad från 1990, men i likhet med 1995, är totalfosforhalten inte relaterad till den organiska halten i sedimentet.

Det relativa fördelningsmönstret av tungmetallerna krom (Cr), koppar (Cu), mangan (Mn), nickel (Ni), bly (Pb), vanadin (V) och zink (Zn) visar med vissa mindre avvikelser att de högsta halterna i allmänhet förekommer utanför Göteborg och i området Byfjorden-Havstensfjord. De högsta halterna för arsenik (As) och tenn (Sn) uppträder vid Strömstad och Kungshamn (Byttelocket). Med undantag för den mycket höga arsenikhalten vid Strömstad är haltvariationerna för alla dessa metaller förhållandevis begränsade inom undersökningsområdet.

Ett gentemot dessa metaller delvis avvikande mönster uppvisar kadmium (Cd) och kvicksilver (Hg). De högsta kadmiumhalterna år 2000 återfinns i likhet med 1995 vid Valö, i Byfjorden och Brofjorden, medan de högsta kvicksilverhalterna påträffades i Brofjorden och utanför Göteborg (Skalkorgarna). Fördelningen visar att metallhalterna i allmänhet är högre invid de mest urbaniserade områdena.

Trendanalysen visar att halterna av alla utom två metaller har ökat i ytsedimenten (0–1 cm) med mellan 5 % och 215 % under tioårsperioden 1990–2000. Endast Hg och Zn uppvisar en minskning med 46 % respektive 17 %. Cr och Pb uppvisar en icke statistiskt signifikant ökning på 6–7 %.

Resultaten från den senaste femårsperioden (1995–2000) visar att metallhalterna stadigt fortsatt att öka samtidigt som halterna av Hg och Zn fortsätter att sjunka. Enda undantag utgör As som under den berörda perioden minskat med 25 %. Förändringarna är dock inte statistiskt signifikanta för Cr, Hg, Pb och V.

Gradientmetoden, där hänsyn tas till variationer i sedimentens organiska halt, har till följd av dålig eller negativ korrelation mellan flertalet metaller och organiskt kol endast kunna bekräfta trenden för Zn mellan 1990 och 2000.

Anrikningsfaktorn är ett uttryck för den antropogena påspädningen gentemot den lokala preindustriella bakgrunden. Anrikningsfaktorn för As och Cu visar på en 40-procentig ökning gentemot bakgrunden medan Cd, Hg, Pb och Sn ligger ca 150 % över bakgrunden. Övriga metaller visar inte på någon alternativt en mycket måttlig anrikning.

Totalkolväten (THC) påträffades på samtliga stationer. De högsta halterna (110–230 mg/kg ts) konstaterades vid Göteborg (Skalkorgarna), i Byfjorden och Brofjorden. THC-halter över 100 mg/kg ts är enligt norska kriterier att betrakta som höga. På samtliga stationer var halten lägre. På berörda stationerna förekommer en väl vädrad och komplex blandning av ej identifierade kolväten (UCM), vilket tyder på petroleumförorening. Andelen UCM har dock minskat kraftigt sedan 1990, vilket antyder minskad tillförsel av petroleumprodukter. Sedan 1990 har totalkolvätehalten minskat med i medeltal 66 %. Bohuskusten är att betrakta som moderat förorenat med avseende på THC.

16 polycykliska aromatiska kolväten (∑16 PAH) har analyserats inom området. Det areella fördelningsmönstret för respektive förening skiljer sig inte nämnvärt åt. Med undantag för naftalen återfanns de högsta halterna av respektive förening i Brofjorden. Betydligt lägre men ändå relativt sett höga halter förekom också utanför Göteborg (främst vid Vinga tipplats), i Saltkällefjorden, vid Kungshamn (Byttelocket) och Strömstad. Koncentrationer över 1 000 µg/kg uppmättes på dessa stationer och i Kosterfjorden. I medeltal har ∑8 PAH ökat med 52 % sedan 1995 och med 33 % sedan 1990. ∑16 PAH har ökat med 48 % sedan 1995. Kustområdet är med några få undantag att betrakta som förorenat med avseende på ∑16 PAH. På nio av de fjorton stationerna ligger den canserogena föreningen benso(a)pyren högt.

Metylnaftalener (främst 2-metylnaftalen) kan påvisas i låga halter utanför Göteborg och i norra kustområdet mellan Gullmarsfjorden och Strömstad. Föreningarna har inte tidigare studerats i området.

Polyklorerade bifenyler (PCB) kunde med undantag för några få kongener (PCB 28 och PCB 52) detekteras på i stort sett samtliga stationer inom undersökningsområdet. I likhet med 1995 års resultat återfinns

den högsta halten ∑7-PCB på stationen vid Strömstad. På övriga stationer låg halterna mer än 60 % lägre. Mönstret är detsamma för total PCB. I genomsnitt har summan för sju polyklorerade bifenyler (∑7 PCB) minskat med 59 % sedan 1995 och med 81 % sedan 1990. Under samma period har halten av total-PCB (beräknat som Aroklor) sjunkit med 29 % respektive 66 %.

Av den mycket toxiska gruppen nonorto-PCB (s.k. plana PCB) kunde endast en kongen (PCB 77) detekteras. Även i detta fall återfanns de högsta halterna utanför Strömstad. I medeltal har halterna sjunkit med 60 % sedan 1995.

Pentaklorbensen (pe-CB) kunde detekteras och kvantifieras på sju av fjorton stationer. Alla stationerna är belägna utanför Göteborg, Nordre älv och Strömstad samt i Kosterfjorden. Den högsta halten påträffades vid Vinga. I medeltal har pentaklorbensenhalterna successivt sjunkit med 45 % sedan 1995 och med 83 % sedan 1990.

Hexaklorbensen (HCB) förekom på samtliga stationer utom i Byfjorden. Högst halt påträffades utanför Vinga. Tidigare år har den högsta halten observerats på stationen utanför Stenungsund. Vid 1990 års undersökning uppvisade just denna station det högsta värde som någonsin observerats i Västerhavet. I medeltal har hexaklorbensenhalterna minskat inom kustavsnittet med ca 19 % sedan 1995 och med 92 % sedan 1990.

Koncentrationerna av oktaklorstyren (OCS) låg under detektionsgränsen på samtliga stationer utom vid Valö och Vinga. I medeltal har halterna sjunkit med 86 % sedan 1995 och med 99 % sedan 1990.

1995 låg i medeltal koncentrationen av insekticiden lindan (γ-HCH) inom kustavsnittet ca tre gånger högre än öppna Skagerrak och Kattegatt. År 2000 analyserades lindan på två stationer; Skalkorgarna utanför Göteborg och vid Stenungsund. På ingen av stationerna kunde föreningen detekteras.

Sedimentens innehåll av polyklorerade furaner (PCDF) och dioxiner (PCDD) studerades på fem stationer; Skalkorgarna, Stenungsund, Byfjorden, Brofjorden och Kosterfjorden. Den högsta halten noterades i Kosterfjorden. Även TCDD-ekvivalenten (WHO-TEF = giftighetspotentialen för summan av polyklorerade furaner/dioxiner, mätt som ekvivalenter av den giftigaste av dessa föreningar; 2,3,7,8-tetraklordibenzo-p-dioxin), dvs. den uppskattade toxiciteten i sedimentet på dessa stationer, var högst i Kosterfjorden. Ekvivalenten var där mellan 2 och 20 gånger högre än på de övriga stationerna.

Förändringarna av sedimentens sammanlagda PCDD- och PCDF-halter mellan 1990 och 2000 års undersökningar visar, att såväl halten av polyklorerade dioxiner och furaner som toxisiteten med avseende på dessa föreningar, stadigt ökat i Kosterfjorden. Haltökningen uppgår till 126 %. På övriga stationer, där data föreligger, har såväl halter som toxisitetsekvivalenter minskat under samma period med 64 %.

Till skillnad från 1995 kunde inga halogenerade alifater (kloroform, tetraklormetan, trikloreten och tetrakloreten), detekteras vid undersökningarna år 2000. Sannolikt beror detta på att detektionsgränsen satts för hög vid analysen (Alcontrol).

Till skillnad från 1995 års undersökningar då monoaromaterna bensen, toluen etylbensen och xylen kunde påvisas i för Bohuskusten höga halter på i stort sett samtliga stationer, kunde år 2000 endast toluen detekteras i låga halter utanför Göteborg, Stenungsund och i Havstensfjorden och xylen endast i Saltkällefjorden. I genomsnitt har halterna i undersökningsområdet minskat med mellan 95 och 100 % sedan 1995.

Styren undersöktes för första gången år 2000. Föreningen kunde endast påvisas i låg halt utanför Kungshamn (Byttelocket).

Sex olika ftalater (dimetylftalat, dietylftalat, dibutylftalat, butylbensylftalat, di-(2-etylhexyl)ftalat och dioktylftalat) undersöktes på de fyra stationer (Skalkorgarna, Stenungsund, Havstensfjord och Byfjorden) där ftalater påvisades 1995. Av dessa föreningar kunde i låga halter di-(2-etylhexyl)ftalat påvisas på alla fyra stationerna och dibutylftalat på två stationer (Skalkorgarna och Byfjorden) år 2000. Det areella fördelningsmönstret med halter som avklingar i en gradient från Byfjorden till Stenungsund visar att den ena källan med största sannolikhet finns i Uddevallaområdet. Den andra torde ligga i Göteborg. I genomsnitt har halterna för de olika ftalaterna minskat med mellan 85 och 99 % sedan 1995.

Åtta olika polybromerade difenyletrar (PBDE) undersöktes i området år 2000. Tetrabromdifenyleter (PBDE-47) påvisades i låga halter på stationerna i Byfjorden, vid Kungshamn (Byttelocket) och Strömstad, medan pentabromdifenyleter (PBDE-99) endast förekom på de två senare stationerna. Dekabromdifenyleter (deka-BDE) påvisades dels utanför Göteborg (Ving, Skalkorgarna och Danafjord), dels i Kosterfjorden. Den högsta halten uppmättes vid Vinga. En tydlig skillnad föreligger i den areella fördelningen mellan de olika

kongenerna. Deka-BDE förekommer med stor övervikt i Göteborgsområdet medan de andra två kongenerna återfinns i området mellan Gullmaren och Strömstad.

Femton av nitton olika klorfenoler analyserades för första gången på kustvattenkontrollens stationer år 2000. Av dessa kunde pentaklorfenol detekteras på samtliga stationer. Vid Valö kunde därutöver två diklorfenoler (3,4- och 3,5-diklorfenol), en triklorfenol (2,4,5-triklorfenol) och tre tetraklorfenoler (2,3,5,6-, 2,3,4,5- och 2,3,4,6-tetraklorfenol) påvisas, medan endast 3,5-diklorfenol kunde påvisas på station Rävungarna. I övrigt låg halterna under detektionsgränsen.

Med anledning av de förhållandevis höga halter av totalt extraherbart organiskt klor (EOCl) och totalt extraherbart persistent organiskt klor (EPOCl) som påvisades i Saltkällefjorden 1990 och 1995 undersöktes sedimenten år 2000 på klorguajakoler och fettsyror i syfte att bekräfta gamla utsläpp från Munkedals pappersbruk. Inga klorguajakoler kunde påvisas, men väl elva olika fettsyror. Resultaten bekräftar de tidigare utsläppen.

Förekomsten av organiska tennföreningar (ingående som ett gift i bl.a. vissa påväxthämmande båtbottenfärger) har inte ingått i analysprogrammet för Bohuskustens kontrollprogram år 2000. Däremot har de undersökts på samma stationer inom ramen för ett SGU-finansierat FoU-projekt år 2000. Den mycket toxiska föreningen tributyltenn (TBT) kunde detekteras på samtliga 14 stationer, medan tetrabutyltenn (TeBT) endast kunde detekteras i Byfjorden, Saltkällefjorden och vid Kungshamn (Byttelocket). Utanför Göteborg kunde tre olika fenyltennföreningar (PhT) påvisas. I jämförelse med andra områden kan konstateras att Bohuskusten är starkt kontaminerat med avseende på TBT.

Monobetyltenn (MBT) utgör en nedbrytningsprodukt av TBT. Detta innebär att en TBT/MBT-kvot som är mindre än 1 visar på en långt gången nedbrytning och att föroreningen är av äldre datum. Detta var fallet i Kosterfjorden, medan övriga områden och i synnerhet Byfjorden, Saltkällefjorden, Brofjorden, Kungshamn och Göteborgsområdet uppvisade höga till extremt höga kvoter, vilket visar på föroreningar av relativt färskt datum.

När det gäller Brofjorden och Göteborgsområdet så har de höga halterna delvis sin förklaring i den transoceana fartygstrafiken som löper in i dessa hamnar, medan resultaten från övriga områden är mycket anmärkningsvärda. Det senare mot bakgrund av att användning av organiska tennföreningar i båtbottenfärger förbjöds i Sverige 1989 på båtar understigande 25 meters längd och 1993 på båtar överstigande 25 m längd såvida dessa inte gick i transocean trafik. Resultaten indikerar att användningen inte upphört, i varje fall inte före år 2000.

I figur 2:138 redovisas de tre (i vissa fall två) stationer där den högsta halten av respektive studerat ämne och förening uppmätts 1990, 1995 och 2000. Alla föreningar har inte undersökts alla år och stationerna Vinga (Vi) och Byttelocket (Bl) har tillkommit i kontrollprogrammet efter 1995. Av figuren framgår att höga halter för flera ämnen/föreningar vid mer än ett undersökningstillfälle uppträder på samma stationer. Detta visar att de relativa belastningsförhållandena mellan stationerna och ämnet/föreningen inte ändrats mellan de tre undersökningstillfällena.

I figur 2:139 sammanfattas sedimentens miljökvalitet utmed Bohuskusten vad avser de ämnen/föreningar där svenska alternativt norska gränsvärden finns att tillgå. Siffrorna visar hur antalet miljöövervakningsstationer fördelar sig för varje ämne och tillståndsklass. Resultaten visar att ytsedimenten (0–1 cm) på de flesta stationerna är moderat (klass 3) till tydligt (klass 4) eller i några fall mycket (klass 5) förorenade med avseende på polycykliska aromatiska kolväten (PAH), polyklorerade bifenyler (PCB) och hexaklorbensen (HCB) samt på ca 50 % av stationerna när det gäller kvicksilver (Hg) och en station (Strömstad) vad gäller arsenik (As). För övriga ämnen och föreningar är miljökvaliteten med några få undantag bra till mycket bra (klasserna 1–2).

För de ämnen och föreningar som saknar bedömningsgrunder kan endast en relativ bedömning göras baserad på data från andra kustområden. Baserat på en sådan jämförelse kan konstateras att halterna för halogenerade alifater, monoaromater och di-(2-etylhexyl)-ftalat är låga utmed Bohuskusten, medan halterna av pentaklorfenol och polybromerade flamskyddsmedel (PBDE) är något förhöjda. Halten av TBT ligger i genomsnitt ca åtta gånger högre än nationella medelvärdet för öppet hav, och som mest 50 gånger högre. TBT framstår därmed som det idag största kända miljögiftsproblemet utmed Bohuskusten.

Utvecklingstrenden mellan 1990 och 2000 illustreras översiktligt i figur 2:140. Pilarna visar om medelkoncentrationen för respektive ämne ökat, minskat eller är oförändrad. I syfte att erhålla en mer allmängiltig

	Va	Vi	Sk	Da	Rä	St	Ha	By	Sa	Br	Bl	Fj	Ko	Sm
TOC			o				oo	o	oo	oo	o			
TN	o		oo				oo	o		oo	o			
C/N				o	ooo			o	ooo					
Tot-P						oo	ooo		ooo		o			
As			o	o		o	ooo							o
Cd	o				o			ooo	o	oo		o		
Cr		o	ooo			ooo	oo							
Cu			ooo			o	o	oo		o				o
Hg	o		ooo	o		o				o				oo
Mn		o		o		oo	oo							
Ni	o	o	oo			oo	oo			o	o			
Pb	o	o	oo	o					oo	o	o			o
Sn						o	ooo	oo		o	o			oo
V	o					oo	ooo		ooo					
Zn			o				ooo	oo	oo					
THC			oo				o	oo	oo	o		o		
∑ 16 PAH			oo				o	o	oo	o	o			o
Benso(a)pyren			oo					o	ooo	o				oo
Metylnaftalen		o		o							o			
∑7 PCB		o	o	o				o						oo
∑ nonorto-PCB		o				o					o		o	o
Pe-CB		o	o	o	o	oo	o			o			o	
HCB	o	o	oo			oo	o	o			o			
OCS	oo	o						o						o
Lindan				o				o						o
Kloroform								o				o	o	
Tetraklormet						o	o			o				
Trikloreten				o									o	o
Tetrakloreten								o				o		
∑ PCDD/PCDF		o	o			oo				o			oo	
WHO-TEF			o			oo				o			oo	
Bensen				o				o				o		
Toluen			o	oo		o		o				o		
∑Etylbensen/Xylen				o				o	o			o		
Styren											o			
Dibutylftalat							o	o						
Butylbensylftalat							o	o						
Di-2-etylhexylftalat			oo				oo	oo						
PBDE-47							o	o						o
PBDE-99								o						o
DekaBDE	o		o											
∑ klorfenol	o				o					o				
TBT								o	o					

Fig. 2:138. Markering av vilka stationer som uppvisade de tre högsta halterna av respektive ämne och förening 1990 (o), 1995 (o) och 2000 (o).

Stations where the three most elevated concentrations of each element and compound were found in 1990 (o), 1995 (o) och 2000 (o).

Va (Valö), Vi (Vinga), Sk (Skalkorgarna), Da (Danafjord), Rä (Rävungarna), St (Stenungsund), Ha (Havstensfjord), By (Byfjorden), Sa (Saltkällefjorden), Br (Brofjorden), Bl (Byttelocket), Fj (Fjällbacka), Ko (Kosterfjorden) och Sm (Strömstad).

bild av koncentrationsförändringen av respektive miljögift har respektive medelvärde över de 14 stationerna testats statistiskt med hjälp av s.k. t-test med (n–1) frihetsgrader för matchade datapar. Härigenom har den statistiska sannolikheten (p) för respektive medelvärdesförändring kunnat fastläggas. Resultaten av testen visas med olika färger för olika sannolikhetsnivåer i figur 2:140. Förändringar under 10 % är inte statistiskt signifikanta till följd av den naturliga inhomogeniteten i ett sedimentprov.

Utöver berörda test av medelvärdesförändringen måste också hänsyn tas till sedimentens omblandningsfaktor i området. Denna avgör hur stor procentuell förändring som krävs för att en förändring med säkerhet skall kunna detekteras vid ett tioårigt respektive femårigt provtagningsintervall. Förändringar över 20 respektive 35 % kan i detta fall anses säkra vid ett tioårigt respektive femårigt provtagningsintervall. I de fall dessa krav är uppfyllda har förändringarna markerats med grön färg i figur 2:140.

Sediment Bvvf 2000 Ämne/förening	Klass 1 *Bakgrund* *Background*	Klass 2 *Låg halt* *Low cont.*	Klass 3 *Medelhög halt* *Medium cont.*	Klass 4 *Hög halt* *High cont.*	Klass 5 *Mycket hög halt* *Very high cont.*
Arsenik (As)	3	9	1		1
Bly (Pb)		11	3		
Kadmium (Cd)	10	1	3		
Koppar (Cu)		11	3		
Krom (Cr)	11	3			
Kvicksilver (Hg)		7	6	1	
Nickel (Ni)	14				
Zink (Zn)	5	8	1		
Sum 11 PAH		3	2	8	1
Sum 7 PCB		3	9	2	
Tot PCB		3	10	1	
HCB		1	9	4	
Lindan (γ-HCH)			2		
*TOC**	7	6	1		
*TN**	3	9	2		
*THC**		14			
TE nordisk	2	2	1		
*pe-CB**	14				
*OCS**	14				

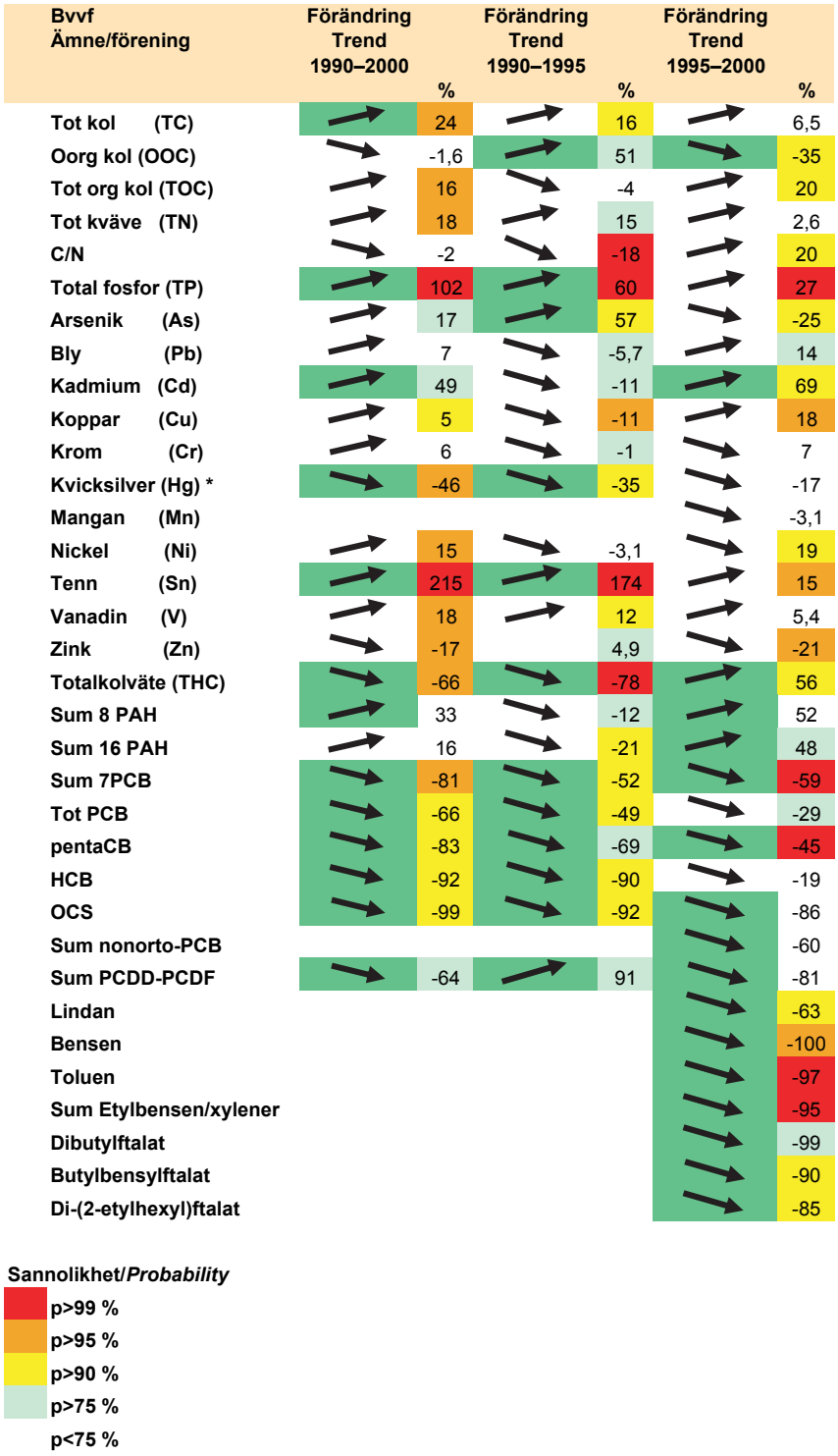
Figur 2:139. Klassificering av miljökvaliteten på de 14 sedimentstationer som ingår i kustvattenkontrollen av Bohuskusten år 2000. Siffrorna visar antalet stationer inom varje klass. Klassificering enligt svenska bedömningsgrunder (Naturvårdsverket 1999, 2005) utom i fem fall (markerade med *) där norskt klassificeringschema efter SFT (Rygg & Thèlin 1993, Konieczny & Juliussen 1995) använts.

*Classification of environmental sediment quality for the 14 stations run by the Coastal Water Monitoring Programme of the Bohus Coast in 2000. The figures refer to the number of stations within each class. Classification according to Swedish Environmental Quality Criteria (Naturvårdsverket 1999, 2005) except in five cases (marked with *) where the classification system after SFT in Norweig (Rygg & Thèlin 1993, Konieczny & Juliussen 1995) has been used.*

Med hänsyn taget till omblandningsfaktorn och den statistiska testen med matchade datapar visar resultatet från trendanalysen en starkt (p>90 %) till mycket starkt (p>99 %) signifikant minskning sedan 1990 av kvicksilver (Hg), totalkolväte (THC), PCB, pentaklorbensen (pe-CB), hexaklorbensen (HCB), oktaklorstyren (OCS) och, men med en svagare signifikans (p>75 %), för dioxiner och furaner. Under samma period har halten totalfosfor (TP), och tenn (Sn) ökat med mycket hög signifikans. Med några undantag är trenderna desamma om varje femårsintervall i perioden 1990–2000 betraktas var för sig.

Under den senaste femårsperioden kan dessutom med hög till mycket hög signifikans konstateras att halten av plana PCB (nonorto-PCB), insekticiden lindan, monoaromater (bensen, toluen och etylbensen/xylener) och ftalater minskat kraftigt, medan med något lägre signifikans halten av polycykliska aromatiska kolväten (PAH) ökat. Övriga ämnen och föreningar uppvisar ingen statistiskt signifikant förändring 1990–2000 alternativt att förändringen är mindre än vad som krävs om hänsyn tas till omblandningsfaktorn.

En samlad generaliserad bedömning av undersökningarna 1990–2000 visar att miljögiftsbelastningen på Bohuskustens havsområde successivt minskat under perioden. Ett resultat som visar att vidtagna reningsåtgärder inte varit förgäves för miljön. På den negativa sidan är ökande PAH-halter och en omfattande spridning av TBT.



Figur 2:140. Sammanställning över förändringen av medelvärdeskoncentrationen för några ämnen och föreningar i Bohuskustens ytsediment (0–1 cm) mellan 1990 och 2000. Nedåtriktad pil betyder minskad halt och uppåtriktad pil ökad halt. Grönmarkerade fält markerar förändringar som är större än de minst 20 respektive 35 %, som baserat på blandningsfaktorn, krävs för att en förändring med säkerhet skall kunna detekteras vid ett tioårigt respektive femårigt provtagningsintervall.

Compilation of the changes of the average concentrations of some elements and compounds between 1990 and 2000 in the surficial sediment (0–1 cm) of the Bohus Coast. Arrow pointed downwards implies decreasing concentration and arrow pointed upwards implies increasing concentration. Green areas mark changes bigger than the minimum of 20 and 35 % needed to detect changes with a high significance in a ten- and five-years sampling interval respectively.

2.9 Summary

At the request of the Bohus Coast Water Conservation Association (Bvvf), the bottom sediments along the Swedish Bohus Coast, from Strömstad in the north to the southernmost archipelago of Göteborg in the south, were examined with regards to certain physical and chemical parameters in 2000. Slightly more than 100 chemicals and compounds, heavy metals, organic micropollutants and nutritive substances were studied at fourteen sites. The Geological Survey of Sweden (SGU) was responsible for sampling procedures, Alcontrol for analyses of sediment samples and preliminary reporting, while SGU carried out the evaluation, trend analyses and final reporting. The study is part of the Coastal Water Monitoring Programme of the Bohus Coast, comprising i.a. control and evaluation of sediment quality every fifth year. The former studies were carried out in 1990 (Cato 1992) and 1995 (Cato 1997a).

Prior to the present investigation in 2000 the bottom surface around each sampling station was hydro-acoustically imaged (side-scan sonar). The imaging was carried out in order to increase the knowledge of the sedimentary environment at and around each sampling station. After that a resampling of the superficial sediment layer (0–1 cm) was carried out at twelve of the previous (1995) sampled stations and at additional two stations added to the programme. By assuming that the main part of this layer consists of recently deposited sediments, the trend of the environmental quality expressed as the anthropogenic load of substances to the coastal waters of the Västra Götaland County could be determined by trend analysis. In the trend analysis summarized below, only the average trend of each parameter, element or compound within the entire coastal area is given. The trend at each station is given separately, under its respective chapter in the present report.

To be able to determine the load of a certain chemical or compound within a coastal area or recipient, consideration must, in some cases, be taken of the effect of the natural variation of the element/compound. This, in turn, depends on the variation of the concentration of organic matter. This can be done by using the Gradient method, where the gradient itself expresses the degree of the anthropogenic load. However, this presupposes that the element/compound in question shows an acceptable and probable positive correlation (association) to the sedimentary organic carbon. In those cases where such a relationship exists the load gradient of the coast has been determined.

At four sites (Danafjord, Stenungsund, Fjällbacka and Kosterfjorden) the sedimentation rate was determined by Pb-210 dating in 1995. During the investigation in 2000 the rate was determined at three additional stations (Skalkorgarna, Rävungarna och Brofjorden). At these seven stations the rate varied between 1.1 and 14 mm/yr. Based on a calculated mixing coefficient (as a consequence of i.a. bioturbation) the lowest possible change in the anthropogenic load, which can be read in the sediment with a sampling interval of five and ten years respectively, can be estimated. The results show that at the sites mentioned a change in the load of between 35 and 65% and 20 and 45% is needed for respective period when an accuracy of the chemical analyses of 10% is used. These calculations are based on a theoretical model and may consequently, not be considered absolute. What is important in trend analytical work is the concordance between the sampling sites.

The content of clay and silt, i.e. the fraction <63 µm was determined at all stations as i.a. the environment of sedimentation at each site has to be examined. Together with the water content determinations of the sediment, the radiographic examination and the above mentioned hydro-acoustic imaging the results show that 13 out of 14 investigated sites within the control programme were placed in potentially good deposition environments, while periodic bottom transport not can be excluded at one site (Danafjord). At eleven out of the fourteen sites the clay and silt content varied less than 5% and the water content less than 10% between 1995 and 2000. This indicates stable dynamic bottom conditions.

There is a good correspondence between the sediment colour and oxic condition at each site between 1990, 1995 and 2000. The only exceptions from this are those sites which were moved to more optimal sedimentation environments. Besides this, the living macro fauna seems to have increased since 1995 as six sites compared to previous one site (1995) showed a living macro fauna. At all three investigations carried out the sediments of the Saltkällefjord have differed in composition from the other sites by its content of cellulose fibres, probably emanating from the former production at the Munkedal paper mill.

The total organic carbon (TOC) content of the sediments falls within an interval that can be considered as normal for the Bohus coast. On average the content has increased by 20% since 1995 and 16% since 1990. The content of inorganic carbon (OOC, mainly carbonate coal) has instead decreased by, on average, 35% since

1995 while the content of total carbon (TC) increased by c. 7%. In relation to 1990 the content of inorganic carbon is relatively unchanged, while the total carbon content increased by 24%, mainly as a consequence of the increase in total organic carbon (TOC).

The majority of the nitrogen (TN) occurring in the sediments is organically bound and therefore displays a distribution pattern closely resembling that of total organic carbon. On average the nitrogen content in the sediment has increased by 3% while the C/N ratio has decreased by 20% between 1995 and 2000. These changes indicate that the increase in the amount of deposited marine detritus (rich in nitrogen and poor in cellulose), which was observed between 1990 and 1995, now is broken. This situation is evidenced by the regression coefficient of the relationship between nitrogen and organic carbon which increased from 0.11 to 0.12 during the same period. From the negative relationship between the C/N ratio and the nitrogen content of the sediment, it is evident that the change is due to a decreased proportion of nitrogen rich detritus. The change in the C/N ratio is due to the previous observed general eutrophication of the coast area, which during many years favoured the production of marine organic matter viz. the supply of organic matter from land, now seems to have diminished. Corresponding changes have previously been observed in the Brofjorden between 1972 and 2000, and in the Stenungsund area between 1975 and 2000 (see part 4 and 5, this volume).

The sediments´content of phosphorus (tot-P) within the area of investigation lies in the upper part of that interval typical of other recipients along the Bohus Coast. On average, the phosphorus content increased in all sites by more than 27% between 1995 and 2000 and by more than 100% since 1990. Corresponding changes have also been observed at other places along the Bohus coast, e.g. the Stenungsund area between 1975 and 2000, and in the Brofjorden between 1972 and 2000 (see part 4 and 5, this volume). The cause of this change is surprising as in general c. 96% of the phosphorous in the municipal treatment plants nowadays is trapped. The increase is probably caused by diagenetic processes which enrich phosphorous in the sediment surface as a consequence of changed bottom dynamic conditions. Consequently the result does not imply increased phosphorous emission to the fiord. In contrast to 1990, but like 1995, the content of total phosphorus is not related to the organic matter content of the sediment.

The relative distribution pattern of the heavy metals chromium (Cr), copper (Cu), manganese (Mn), nickel (Ni), lead (Pb), vanadium (V) and zinc (Zn) show, with some minor exceptions, that the most elevated concentrations in general exist outside Göteborg and in the area Byfjorden-Havstensfjord. The highest concentrations of arsenic (As) and tin (Sn) are found outside Strömstad and Kungshamn (Byttelocket). With exception for the very high arsenic content outside Strömstad the variation of all these metals is proportionately limited within the investigation area.

Opposite to these metals cadmium (Cd) and mercury (Hg) partly show a different distribution pattern. The highest cadmium concentrations in 2000 are, like in 1995, found at Valö, in the Byfjorden and Brofjorden while the most elevated mercury concentrations are found in the Brofjorden and outside Göteborg (Skalkorgarna).

The trend analysis shows that all except two metals have increased by 5 to 215% in the superrficial sediments (0–1 cm) during the ten years period from 1990–2000. Only Hg and Zn show a decrease by 46% and 17% respectively. Cr and Pb show a not significant increase of 6–7 %.

The results from the last five-year period (1995–2000) show that the metal concentrations have permanently continued to increase synchronously with a decrease of Hg and Zn. The only exception is As which during the period decreased by 25%. However, the trend of Cr, Hg, Pb and V is not statistically significant.

The Gradient method, where regard is taken to the natural variation of the organic matter content in the sediment, has as a consequence of bad or negative correlation between most metals and organic carbon only been able to confirm the trend of Zn between 1990 and 2000.

The enrichment factors which express the additional anthropogenic load viz. the local preindustrial background show a 40% increase of As and Cu and c. 150% increase of Cd, Hg, Pb, and Sn. All other metals show none or a very limited enrichment.

Total hydrocarbons (THC) were detected at all sites. The highest concentrations (110-230 mg/kg dw) were found outside Göteborg (Skalkorgarna) and in the Byfjorden and the Brofjorden. THC concentrations >100 mg/kg dw have to be considered as high. At the stations mentioned a highly weathered complex mixture of unidentified substances (UCM) was found, which implies petroleum contamination. However, the proportion of UCM has strongly decreased since 1990, which may indicate a decreased supply of petroleum products.

Since 1990 the total hydrocarbon concentration has, on average, decreased by 66%. The coast of the Bohus County has to be considered as moderately contaminated with respect to THC.

Sixteen polycyclic aromatic hydrocarbons (∑16 PAH) were analysed within the area of investigation. The distribution pattern does not materially differ between the different compounds. With exception of naphthalene the most elevated concentrations of each compound were found in Brofjorden. Considerably lower but still relative high concentrations were also found outside Göteborg (mainly at the dumping site Vinga), in Saltkällefjorden and outside Kungshamn (Byttelocket) and Strömstad. Concentrations exceeding 1 000 µg/kg were measured at these four sites and in the Kosterfjorden. On average ∑8 PAH has increased by 52% since 1995 and by 33% since 1990. ∑16 PAH has increased by 48% since 1995. In respect to ∑16 PAH the coast area has to be considered as contaminated. At nine out of fourteen sites the cancerogenic compound benzo(a)pyrene is high.

Methylnaphtalenes (mainly 2-metyhlnaphtalene) were found in low concentrations outside Göteborg and in the northern coast area between Gullmarsfjorden and Strömstad. The compounds have previously not been studied in the area.

Polychlorinated biphenyls (PCBs) could with exception for two congenes (PCB-28 and PCB-52) be detected at mainly all sampling sites within the area of investigation. Like in 1995, the most elevated concentrations of ∑7-PCB were found outside Strömstad. At the other sites the concentration were about 60% lower. The pattern of total PCB is similar. On average ∑7 PCB has decreased by 59% since 1995 and by 81% since 1990. During the same period the content of total-PCB (as Aroclor) has decreased by 29% and 66% respectively.

Of the very toxic group nonortho-PCBs only one congene (PCB-77) was detected. Also in this case the highest concentration was found outside Strömstad. On average the concentrations have decreased by 60% since 1995.

Pentachlorbenzene (pe-CB) was detected and quantified at seven out of fourteen sites. All sites are situated outside Göteborg, at the mouth of Nordre Älv, Strömstad and in the Kosterfjorden. The highest concentration was found at Vinga. On average the pentachlorbenzene concentration has decreased by 45% since 1995 and by 83% since 1990.

Hexachlorbenzene (HCB) was detected at all sites. The highest concentration was found at Vinga. Previous years the most elevated concentration has been found outside Stenungsund. In the investigation in 1990 this site displayed the highest values ever observed in the Skagerrak and Kattegat. On average the HCB concentration has decreased by 19% since 1995 and by 92% since 1990.

The concentrations of octachlorstyrene (OCS) were below the detection limit at all sites except Valö and Vinga. On average the concentration has decreased by 86% since 1995 and by 99% since 1990.

On average, in 1995 the concentration of the insecticide lindane (γ-HCH) was three times higher within the coastal area compared to the open Skagerrak and Kattegat. In 2000 the compound was analysed at two sites; outside Göteborg (Skalkorgarna) and Stenungsund. At none of these stations the compound was detected.

The content of polychlorinated furans (PCDF) and dioxins (PCDD) in the sediments were studied at five stations; Skalkorgarna, Stenungsund, Byfjorden, Brofjorden and Kosterfjorden. The highest concentration was found in the Kosterfjorden. Likewise the TCDD-equivalent (WHO_TEF), i.e. the estimate of the toxicity of the sediment measured as equivalents of 2,3,7,8-tethrachlor-dibenzo-p-dioxin, was highest in Kosterfjorden. The equivalent was between 2 and 20 times higher than at the other stations.

The trend of the ∑ PCDD/PCDF shows that both the concentration and the toxicity increased in the sediment of the Kosterfjorden between 1990 and 2000. The concentration increased by 126 %. At the other sites where data are available the concentrations and the toxicity equivalents decreased by 64% during the same period.

Opposite to 1995 no aliphatic halogen compounds (chloroform, tetrachloromethane, trichloroethene, tetrachloroethene) were detected during the investigations in 2000. Most probably this is a consequence of too high detection limit used by the laboratory (Alcontrol).

In 1995 the monoaromatic compounds benzene, toluene, ∑ ethylbenzene and xylenes were found in relative high concentrations at almost all sites within the coastal area. In 2000 only toluene was detected in low concentrations outside Göteborg, Stenungsund and in Havstensfjord and xylen in Saltkällefjorden. On average the concentrations have decreased by 95–100% along the coast since 1995.

Styrene was for the first time analysed in the sediment at the stations in 2000. The compound was only detected in a low concentration outside Kungshamn (Byttelocket).

Six different phthalates (dimethylphthalate, diethylphthalate, dibuthylphthalate, buthylbensylphthalate, di-(2-ethylhexyl)phthalate and diochtylphthalate) were analysed at the four stations (Skalkorgarna, Stenungsund, Havstensfjord och Byfjorden) where phthalates were found in 1995. Out of these compounds di-(2-ethylhexyl)phthalate was found at all four sites and dibuthylphthalate at two sites (Skalkorgarna och Byfjorden) in 2000. The distribution pattern with decreasing concentrations along a gradient from Byfjorden to Stenungsund indicates that one of the sources most probably is to be found in the Uddevalla region. The other one might be located in Göteborg. On average the concentrations of the different phthalathes have decreased by 85–99% since 1995.

Eight different polybominated diphenylethers (PBDE) were investigated in 2000. Tethra-brom-diphenylether (PBDE-47) was found in low concentrations in Byfjorden, vid Kungshamn (Byttelocket) och Strömstad, while penta-brom-diphenylether (PBDE-99) only was detected at the two latter sites. Deca-brom-diphenylether (deca-BDE) was found partly outside Göteborg (Vinga, Skalkorgarna and Danafjord) and partly in the Kosterfjorden. The highest concentration was measured at Vinga. An evident difference exists in the distribution pattern between the congens. Deca-BDE occurs with predominance in the Göteborg region while the other two congens are to be found in the northern coastal area between Gullmaren and Strömstad.

Fifteen out of nineteen different chlorophenols were for the first time analysed at the coastal water monitoring stations in 2000. Out of these pentachloro-phenol was detected at all stations. In addition two dichlorophenols (3,4- and 3,5-dichlorophenol), one trichlorophenol (2,4,5-trichlorophenol) and three tethrachlorophenols (2,3,5,6-, 2,3,4,5- and 2,3,4,6-tethrachlorophenol) were found at Valö, while only 3,5-dichlorophenol was detected at Rävungarna. At the other sites the concentrations were below the detection limit.

Based on the relative high concentrations of total extractable organic chlorine (EOCL) and total extractable persistent organic chlorine (EPOCL) found in the Saltkällefjord in 1990 and in 1995 the sediment from this site was analysed for chloroguiacoles and fat acids in 2000 with the aim to verify previous emission from the paper mill in Munkedal. No chloroguiacoles were found, but eleven fat acids. The results confirm the previous emission.

An investigation of organotin compounds (used as toxicants in some antifouling paints) was not included in the monitoring programme of the Bohus Coast in 2000. However, these compounds were investigated at the same stations within the framework of a research project set up and financed by SGU in 2000. The very toxic substance tributyltin (TBT) was detected at all 14 stations, while tethrabutyltin (TeBT) only was found in Byfjorden, Saltkällefjorden and outside Kungshamn (Byttelocket). Outside Göteborg three different phenyltin (PhT) compounds were detected. In comparison with other areas it can be stated that the Bohus coast is strongly contaminated with respect to TBT.

Monobutyltin (MBT) is a degradation product of TBT. This implies that a ratio TBT/MBT less than 1 indicate a far-reaching degradation and that the contamination is of an earlier date. This was the case in the Kosterfjorden, while the other areas and in particular Byfjorden, Saltkällefjorden, Brofjorden, Kungshamn and the Göteborg region show extreme high ratios, indicating a relative recent date of the contamination.

Regarding Brofjorden and the Göteborg region the high concentrations may partly be explained by the trans-oceanic ship traffic which call these harbours, but the results from the other stations are notable. The latter towards the background that the use of organotin compounds as an antifouling paint on boats with a length less than 25 m was banned in Sweden in 1989 and on ships over 25 m, unless they were used in trans-oceanic traffic. The results indicate that the use of these antifouling substances have not come to an end, in any case not before 2000.

In Figure 2:138 the three (two) most contaminated sites with respect to each element or compound studied in 1990, 1995 and 2000 are given. All chemicals have not been analysed each year and the sites Vinga (Vi) and Byttelocket (Bl) have been added to the programme after 1995. From the figure can be gathered that high concentrations of several elements/compounds at more than one occasion are to be found at the same station. This implies that the relative contamination load between the stations and the element/compound not have changed between the three sediment investigations.

In Figure 2:139 the environmental sediment quality within the Bohus coast is summarized with respect to each element/compound when Swedish alternative Norwegian environmental quality criteria are available. The figures show the distribution of the number of sites with respect to each element/compound and the class of anthropogenic impact. The results imply that the superficial sediments (0–1 cm) at most stations

is moderately (class 3) to evidently (class 4) or in a few cases strongly (class 5) contaminated with respect to polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH), polychlorinated biphenyls (PCB) and hexachlorobenzene (HCB). This is also valid regarding mercury (Hg) at 50% of the sites and at one site (Strömstad) regarding arsenic (As). With respect to all other elements and compounds the environmental quality with a few exceptions is good to very good (classes 1–2).

Concerning the elements and compounds that lack environmental quality criteria only a relative assessment, based on data from other coastal areas, can be made. Based on such a comparison it can be stated that the concentrations of aliphatic halogen compounds, monoaromatic compounds and di-(2-ethylhexyl)-phtalate are low along the Bohus coast, while the concentrations of pentachlorophenols and polybrominated diphenyl ethers (PBDE) are slightly high. The concentration of TBT is on average about eight times higher and as most, 50 times higher, than the national average value of the open sea. Thus TBT stands out as the utmost environmental problem regarding known contaminants along the Bohus coast.

The trend of the sediment quality status between 1990 and 2000 is summarized in Figure 2:140. The arrows show whether the average concentration of each element or compound increased, decreased or is unchanged. For the purpose to clarify a more generalized view of the concentration changes of the contaminants each average change of the 14 site data has been statistically tested using a t-test with (n–1) degrees of freedom for matched pairs. By this method the statistical probability (p) of each average change was established. The results of the test are presented with different colours for different levels of probability in Figure 2:140. Changes less than 10% can not be considered as statistically significant as a consequence of the natural inhomogeneity in a sediment sample.

However, consideration has also to be taken to the bioturbation factor. This determinates how strong change that is needed, with a high probability, to detect changes at a ten- and five-year interval of sampling respectively. In this case, changes of more than 20 and 35% respectively have to be considered. In those cases where this is fulfilled the changes has been marked with green colour in figure 2:140.

With respect taken to the mixing factor and the statistically test the results of the trend analyses show a strong (p>90 %) to very strong (p>99%) significant decrease since 1990 regarding mercury (Hg), total hydrocarbons (THC), PCB, pentachlorobenzene (pe-CB), hexachlorobenzene (HCB), octachlorostyrene (OCS) and, but with a weaker significance (p>75%), regarding dioxins and furanes. During the same period the content of total phosphorous (TP), and tin (Sn) have increased with a high significance. With some exceptions the trends are similar when each five-year interval of the period 1990–2000 is analysed separately.

During the last five-year period it can be stated with a high to very high probability that the concentration of nonortho-PCB, the insecticide lindane, the monoaromatic compounds (benzene, toluene and ethylbenzene/xylene) and phtalates have strongly decreased, while with slightly less significance the polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH) have increased. Most other elements and compounds showed no statistically significant changes between 1990 and 2000, alternative a change less than what is needed with respect to the mixing factor.

A summarized and generalised assessment of the investigations 1990–2000 shows that the contaminant load on the marine part of the Bohus coast successively has decreased during the period. A result that shows that taken treatment steps not has been taken in vain to the environment. On the negative side are the increasing PAH-concentrations and the widespread distribution of TBT.

2.9 Referenser

Abrahamsson, K., 1992: Studies of the distribution of anthropogenic and biogenic volatile and phenolic halogenated compounds in Skagerack. Report to the Research Committee at Swedish EPA, 1992 (in Swedish).

Ahlborg, U.G., Hanberg, A. & Kenne, K., 1992: Risk assessment of polychlorinated biphenyls (PCBs).*NORD 1992:26*, Nordiska ministerrådet, 99 s.

Alcontrol, 2004: Bohuskustens vattenvårdsförbund 2001-2002. Resultat från undersökningar av sediment och biologiskt material. Rapport Alcontrol Laboratories 2004, 361 s.

Axe, P., Andersson, L., Håkansson, B., Sahlsten, E. & Ingemansson, A., 2004: Sammanställning och utvärdering av hydrografiska mätningar längs Bohuskusten. *SMHI Rapport 2004-57*, 144 s.

Berge, J.A. & Helland, A., 1993: Øvervåkningsundersøkelser i Iddefjorden 1991/92. Miljögifter i sediment, ål, torsk og taskekrabbe. *NIVA-rapport 531/93*, 56 s.

Bergqvist, P.-A., Tysklind, M., Marklund, S., Åberg, A, Sundqvist, K., Näslund, M., Rosen, I., Tsytsik, P., Malmström, H., & Cato, I., 2005: Kartläggning av utsläpp för oavsiktligt bildade ämnen: PCDD/F, PCB och HCB. *Rapport Miljökemi, Kemiska institutionen, Umeå universitet MK2005:01*, 241 p.

Bjerk,J.E. & Brevik, E.M., 1980: Organochlorine compounds in aquatic environments. *Arch. Environ. Contam. Toxical. 9*, 743-750.

Bornmalm, L., 1988: Begränsad geokemisk undersökning i Gullmarsfjorden. Gullmarsfjorden, Naturvårdsområde. Kontrollprogram och vårdåtaganden 1986/87. Länstyrelsen, *Naturvårdsenheten 1988:1,* 1–15.

Cato, I., 1977: Recent sedimentological and geochemical conditions and pollution problems in two marine areas in southwestern Sweden. *Striae 6*, 158 s.

Cato, I., 1983: *Hur sedimentens innehåll av organiskt kol, kväve och fosfor i Skagerrak och Kattegatt kan spegla eutrofieringssituationen i området.* Prel. rapp. Maringeol. inst., Göteborgs universitet, 25 s.

Cato, I., 1986a: Sedimentens belastning av tungmetaller och närsalter i Göteborgs skärgård 1982, samt förändringar efter 1966. Göteborgs universitet, *Maringeologiska institutionen, Rapp. 2*. 95 s.

Cato, I., 1986b: Tungmetaller och petrogena (organiska) substanser i Stenungsundsområdets bottensediment 1985, samt förändringar efter 1975. *Naturvårdsverket Rapport 3152/Miljöutredningen för Stenungsund Rapport Nr 25*, 49 s.

Cato, I., 1990: Sedimentundersökningar i Brofjorden särskilt Trommekilen 1989, samt förändringar efter 1972 och 1984. *Sveriges geologiska undersökning Rapporter & meddelanden 64*, 75 s.

Cato, I., 1992: Sedimentundersökningar längs Bohuskusten 1990 – Göteborgs och Bohus läns kustvattenkontroll. *Sveriges geologiska undersökning Rapporter & meddelanden 74*, 97 s.

Cato, I., 1997a: Sedimentundersökningar längs Bohuskusten 1995 samt nuvarande trender i kustsedimentens miljökvalitet – en rapport från fem kontrollprogram. *Sveriges geologiska undersökning Rapporter & meddelanden 95*, 193–266.

Cato, I., 1997b: Contaminants in the Skagerrak and Kattegat sediments. *I* Cato, I. & Klingberg, F. (red.): The proceedings of the fourth Marine Geological Conference – the Baltic. Uppsala 1995. *Sveriges geologiska undersökning Ca 95,* 23–36.

Cato, I., 1999: Undersökning med sedimentfällor i recipienten utanför Mönsterås Bruk 1996/97. *Sveriges geologiska undersökning Maringeologi Rapport 1999:3*, 29 p.

Cato, I., 2003: Organotin compounds in Swedish sediments – an overlooked environmental problem. *I* FoU-seminarium vid SGU 11–12 mars 2003, Dokumentation. *SGU-rapport* 2003:4, 6–8.

Cato, I., 2004: Miljökemisk sedimentundersökning av bottensedimenten utmed Bottenvikskusten i Skellefteå kommun 2003. *Sveriges geologiska undersökning, SGU-rapport 2004:24*, 105 s.

Cato, I., 2005b: Organiska tennföreningar – ett miljöproblem i svenska kust- och havsområden. *Sveriges geologiska undersökning, SGU-rapport* 2005:7, 5–7.

Cato, I., 2005: The national Swedish status and trend monitoring programme based on chemical contaminaton in offshore sediment – an overview of the results from 2003. *Sveriges geologiska undersökning, SGU-rapport 2005:25*, 20 s.

Cato, I., 2006: Miljökvalitet och trender i sediment och biota utmed Bohuskusten 2000/2001 – en rapport från sju kontrollprogram. *Sveriges geologiska undersökning Rapporter & meddelanden 122*.

Cato, I., Mattsson, J. & Lindskog, A., 1986: Tungmetaller och petrogena kolväten i Brofjordens bottensediment 1984, samt förändringar efter 1972. Unviersity of Göteborg, *Dep. of Marine Geology, Report No 3*. 95 s. (English summary).

Cato, I., Olsson, I. & Rosenberg, R., 1978: Sediment, meiofauna och makrofauna i Askimsviken. *SNV PM 1046*. 90 s.

Cato, I., Rindby, A. & Rudolfsson, J., 2000: Unik sedimentscanner utvecklad. *Geologiskt forum 25*, 13–15.

Cato, I., Gönczi, M., Jonsson, P. & Sandkvist, Å. 2002: Sedimentundersökningar i Muskö- och Horssfjärdsområdet. *Sveriges geologiska undersökning, SGU-rapport 2002:16*, 67 s.

Cato, I. & Sellén, E., 2004: Miljökemisk sedimentundersökning utanför Rönnskärsverken 2003. *Sveriges geologiska undersökning, SGU-rapport2004:14*, 63 s.

Clark, R.C. & Brown, D.W., 1977: *Petroleum: Properties and Analyses in Biotic and Abiotic Systems*. *I*: D.C. Malins: Effects of Petroleum on Arctic and Subartic Marine Environments and Organisms. Vol I., Academic Press.

Dave, G. & Nilsson, E., 1994: Sediment toxicity in the Kattegat and Skagerrak. *Journal Aquat. Ecosystem Health 3*, 193–206.

Edgren, M., 1978: Tungmetaller i Mälarens och Östersjöns sediment. *SNV PM 1018*, 110 s.

Farrington, J.W., 1980: An Overview of the Biogeochemistry of Fossil Fuel Hydrocarbons in the Marine Environment. In: Petroleum in the Marine Environment. Ed: Petrakis & F T Weiss. American Chemical Society.

Fält,L.-M., 1982: Late Quaternary sea-floor deposits off the Swedish West Coast. CTH och Göteborgs univ. *Geol. inst. Publ. A37*, 259 s.

Gustavsson, I., 1982: *Omgivningskontroll Vatten. Kapitel Sediment.* Statens naturvårdsverk, 4 s.

Göthberg, A. & Johansson, M., 1981: Brofjorden. Naturvårdsverket *SNV PM 1500*, 11 s.

Hektoen, H., Helland, A., Naes, K. & Rygg, B., 1992: Overvåkning av Hvaler – Singlefjorden og munningen av Iddefjorden. Sedimenterende materiale, bunnsedimenter, bløtbunnsfauna og diagnostik undersøkelse av skrubbe. *NIVA Rapport TA 871/1992*, 96 s.

Helland, A., Naes, K. & Skei, J., 1990: Undersökelser av partikler i vannmassen, sedimentasjon og bunnsedimenter i svensk/norsk grensefarvann. *NIVA Rapport 432/90*, 117 s.

Helland, A., Brevik, E.M. & Godal, A., 1996: Sedimentudersøkelser i Göteborgs og Bohus läns kystvann 1995. *NIVA Rapport LNR 3499-96,* 66 s.

Håkanson,L., Jonsson,B., Jonsson,P. & Martinsen,K., 1988: Påverkansområden för klorerat organiskt material fråm massablekerier. *SNV Rapport 3522*, 165 s.

Jensen, A., 1996: Pb-210 datering af fem sedimentkerner fra Bohus kysten. *I* A. Helland,E.M. Brevik & A. Godal (red.): Sedimentudersøkelser i Göteborgs og Bohus läns kystvann 1995. *NIVA Rapport LNR 3499-96, vedlegg 7.3.6,* 10 s.

Jonasson, A. & Olausson, E., 1966: New devices for sedimentsampling. *Mar. Geol. 4*, 365–372.

Joslin, O., 1982: *Begränsad geokemisk undersökning i Gullmarsfjorden. Förstudier till kontrollprogrammet. Redovisning av provtagningsresultat budgetåret 1981/82. Bilaga 13.* Länsstyrelsen i Göteborgs- och Bohus län. 40 s.

Knickmeyer, R. & Steinhart, H., 1988: The distribution of cyclic organochlorines in North Sea sediments. *Dt. Hydrogr. Z. 41*, 1–21.

Konieczny, R.M., 1994: Miljøgiftundersøkelser i Indre Oslofjord. Delrapport 4. Miljøgifter i sedimenter. *NIVA Rapport TA nr 1074/1994,* 124 s.

Konitzer,K. (in prep): *Benthic foraminifera and geochemistry reflecting environmental conditions of a cored late Holocene sequence from Gullmarsfjorden, Western Sweden.* B.Sc Thesis Dep of Paleontology. Univ of Uppsala.

Konieczny, R.M. & Juliussen, A., 1995: Sonderende undersøkelser i Norske havner og utvalgte kystområder. Fase 1. Miljøgifter i sedimenter på strekningen Narvik Kragerø. *NIVA-Rapport 587/94.* 185 s.

Kuijpers, A., Dennegård, B., Albinsson, Y. & Jensen, A., 1992: Sediment transport pathways in the Skagerrak and Kattegatt as indicated by sediment Chernobyl radioactivity and heavy metals. *I* B. Dennegård & A. Kujpers (red.): Marine geological environmental investigations in the Skagerrak and northern Kattegatt. GU, *Maringeol inst Report 7*, 27 s.

Kuijpers, A., Dennegård, B., Troelstra, S.R., Gustafsson, O., Jensen, A., Schwarz, U., Svensson, R. & Cristvall, A., 1989: Areal distribution patterns of heavy metals, radionuclides and benthic foraminifera in surface sediments of the northern Kattegatt and adjacent Skagerrak. *GU Maingeologiska inst Report 6*, 81 s.

Lohse, J., 1988: Ocean incineration of toxic wastes: a footprint in North Sea Sediments. *Mar. Pollut. Bull. 19*, 366–371.

Magnusson, M., Borgegren, A., Granmo, Å. & Cato, I., 2005: *Eventuellt samband mellan halten tennföreningar i vävnaden hos nätsnäckan Nassarius nitidus och halten tennföreningar i sedimentet.* Rapport Göteborgs universitet, Naturvårdsverket och Sveriges geologiska undersökning, 21 p.

Naturvårdsverket 1999: Bedömningsgrunder för miljökvalitet i Kust och hav. *Naturvårdsverket Rapport 4914*, 134 s.

Naturvårdsverket 2005: ://www.naturvardsverket.se/index.php3?main=/dokument/fororen/orggift/organisk.html.

Naes, K, 1983: Basisundersökelse i Hvaleområdet og Singlefjorden. Löste metaller og suspendert partikulaert materiale i overflatevann og kjemisk sammensetning av bunnsedimenter, 1980–81. *NIVA Rapport 0-89095502/03*, 51 s.

Niemistö, L., 1974: A gravity corer for studies of soft sediments. *Havsforskningsinst., Skr. Helsinki, 238*, 33–38.

Odén, S. & Ekstedt, J., 1976: PCB and DDT in Baltic sediments. *Ambio Special Rep. 4*, 125–129.

Olausson, E., 1975a: Man-made effect on sediments from Kattegatt and Skagerrak. *Geol. Fören. Stockh. Förh. 97*, 3–12.

Olausson, E., 1975b: Byfjorden sediment, sedimentation och geokemi. *Statens Naturvårdsverk SNV PM 564*, 30 s.

Parkman, H. & Remberger, M., 1995: Phtahalates in Swedish sediments. *IVL-report B1167*, 22 s.

Rohde, J., 1996: On the dynamics of the large-scale circulation of the Skagerrak. *Journ. Sea. Res. 35*, 9–21.

Rudling, L., 1976: Oil Pollution in the Baltic Sea. Statens Naturvårdsverk. *SNV PM 783*, 1–80.

Rygg, B. & Thélin, I., 1993: Klassificering av miiljøkvalitet i fjordar og kystfarvann. Kortversion. *SFT-veiledning nr 93:02*, 20 s.

SFT 1994: Tillstandsrapport for Nordsjøen 1993. *SFT 94:13*, 50 s.

Sleeter, T.D., Butler, J.N. & Barbash, J.E., 1980: *Hydrocarbons in the Sediments of the Bermuda Region Lagoonal to Abyssal Depths. I* L. Petrakis & F.T. Weiss (red.): Petroleum in the Marine Environment. American Chemical Society.

SNV 1992: Toxiska ämnen till Västerhavet 1990. *Naturvårdsverket Rapport 4082,* 62 s.

Sternbeck, J., Brorström-Lundén, E., Remberger, M., Kaj, L., Palm, A., Junedahl, E. & Cato, I., 2003: WFD Priority substances in the sediments from Stockholm and the Svealand coastal region. *IVL Report B1538*, 82 s.

Sturm, R., Knauth, H.D., Reinhardt, K.H. & Grandrass, J., 1986: Chlorkohlen Wasserstoff-Verteilung in Sediment und Scwebstoffen der Elbe. *Wasser 67*, 23–38.

Svansson, A., 1975: Physical and chemical oceanography of the Skagerrak and the Kattegat. I. Open Sea Conditions. Fish. Bd. *Swedish Inst. Mar. Res., Report No. 1*, 88 s.

Del 3

Föroreningar och miljökvalitet i Göta Älvs sediment 2000 samt förändringar efter 1990 – Göta Älvs kontrollprogram

Contaminants and environmental quality of the Göta Älv river sediment in 2000 and changes after 1990 – the Water Monitoring Programme of Göta Älv

Innehållsförteckning

Abstract 151
3.1. Inledning 151
3.2 Undersökningsområde 152
3.3 Metoder 154
3.4 Analyser 156
3.5 Resultat 157
3.5.1 Kornstorleksfördelning och sedimenttyper 157
3.5.2 Sedimentens färg och grad av bioturbering 157
3.5.3 Vattenhalt samt förändringar efter 1990 157
3.5.4 Totalkol och oorganiskt kol samt förändringar efter 1990 159
3.5.5 Organiskt kol samt förändringar efter 1990 159
3.5.6 Totalkväve samt förändringar efter 1990 159
3.5.7 Kol-kvävekvoten (C/N) samt förändringar efter 1990 160
3.5.8 Totalfosfor samt förändringar efter 1990 161
3.5.9 Tungmetaller samt förändringar efter 1990 162
3.5.10 Totalanalys av tungmetaller 163
3.5.11 Totalkolväten samt förändringar efter 1990 165
3.5.12 Polycykliska aromatiska kolväten samt förändringar efter 1990 166
3.5.13 Metylnaftalener 167
3.5.14 Polyklorerade bifenyler samt förändringar efter 1990 168
3.5.15 Plana PCB samt förändringar efter 1995 170
3.5.16 Klorbensener och klorstyren samt förändringar efter 1990 171
3.5.17 Halogenerade alifater (haloformer) samt förändringar efter 1995 172
3.5.18 Monoaromater samt förändringar efter 1995 173
3.5.19 Polybromerade difenyletrar 175
3.5.20 Klorfenoler 176
3.6 Sammanfattning 176
3.7 Summary 180
3.8 Referenser 182

Abstract

Surface sediment samples collected from 2 sites along the Göta Älv river between Nödinge and Göteborg city, in south-western Sweden, were analysed for total organic carbon, inorganic carbon, total nitrogen, total phosphorus, heavy metals (As, Cd, Cr, Cu, Hg, Mn, Ni, Pb, Sn, V, Zn), total hydrocarbons (THC), polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH), methylnaphtalenes, polychlorinated biphenyls (PCB), nonortho-PCBs, chlorobenzenes (pe-CB, HCB), octachlorostyrene (OCS), some aliphatic halogen compounds, some monoaromatic compounds (BTEX), some polybrominated diphenylethers (PBDE) and some chlorophenols with simultaneously determinations of grain-size distribution and water content. The main purposes were: 1) to describe the present status of the sampling sites, 2) to identify the changes that have taken place between 1990, 1995 and 2000, and 3) to try to clarify whether any unknown or unwanted loads of contaminants exist along the river. A comparison with corresponding studies carried out in the Skagerrak and Kattegat has been made. The results show that the most urbanized area, i.e. Göta Älv estuary, in general was moderately to obviously contaminated with respect to most of the elements and compounds studied, and severely contaminated with respect to Hg, PCB, HCB and PAHs. With the exception of Cu, Cr, PCB, HCB and PAHs, the river was not or slightly contaminated upstreams Göteborg. With respect to the bioturbation factor the trend of the changes in sediment quality between 1990 and 1995 demonstrated a moderate to strongly significant increase of tot-P, and a corresponding decrease of the concentrations of Zn, THC, PCB, nonortho-PCB and HCB. In a ten-year perspective (1990–2000) the concentrations of TN, tot-P, Ni, Sn och V have increased, while all other elements and substances (Pb, Cd, Hg, Zn, THC, PAH, PCB, pe-CB och HCB) have decreased with 20 to 90%.

3.1 Inledning

Göta Älvs Vattenvårdsförbund bildades 1957 med syfte att verka för god vattenvård. Förbundet är en frivillig sammanslutning av intressenter som påverkar eller påverkas av Göta älv och dess biflöden från utloppet ur Vänern till Göta respektive Nordre älvs mynningsområden vid kusten. Arbetet sker i nära samråd med miljöövervakande organ såsom länsstyrelsernas miljövårdsenheter och kommunernas miljö- och hälsoskyddsnämnder liksom med företrädare för näringsliv, forskning och naturvård i vidaste bemärkelse.

Primärt sker arbetet genom att samordna och genomföra erforderlig vatten-dragskontroll inom området med bl.a. målsättning att fastlägga miljöstatus och följa förändringar och utveckling i verksamhetsområdet. Detta sker bl.a. genom kontinuerliga mätningar i sju fasta mätstationer samt genom månadsvisa stickprovtagningar. Parametrar som bl.a. studeras är vattenföring, turbiditet, konduktivitet, redoxpotential, permanganattal, närsalter, metaller och organiska miljögifter. Därutöver har flera specialundersökningar genomförts, bl.a. med avseende på bakteriologiska förhållanden, metallförekomst i vattenmossa samt miljögifter i sediment.

Den första sedimentundersökningen inom ramen för Göta Älvs Vattenvårdsförbund ägde rum 1982 och omfattade 32 stationer inom Göteborgs skärgårdsområde från Göta älvs och Nordre älvs mynningar och ut till några kilometer utanför de yttersta skären inom kommungränsen (Cato 1986a). Sexton av dessa stationer sammanföll mer eller mindre med Göteborgs Vattenvårdsanläggningars undersökning för havsutsläpp 1966–1967 (Arnborg m.fl. 1968). Utvecklingen av och skillnader i analysmetoder medförde dock att jämförbarheten mellan dessa undersökningar var begränsad. Resultaten visade dock att skärgårdsområdet var hårt belastat av framför allt kadmium (Cd) och kvicksilver (Hg), och att södra delen av skärgården uppvisade en efter år 1966 tydligt tillkommen eutrofiering samtidigt som fosforbelastningen sjunkit inom området. Vidare konstaterades en sedan 1966 avsevärd förändring av ytsedimentens kornstorlekssammansättning och innehåll av organiskt material inom farlederna; troligen en följd av att den genomsnittliga fartygsstorleken

som anlöpte Göteborgs hamn ökade med 500 % mellan 1966 och 1982 (Cato 1986a). Fördjupningar och breddningar har sedan dess ägt rum i Böttöleden och Torhamnsleden.

Den andra sedimentundersökningen genomfördes i samverkan med Göteborgs och Bohus läns Vattenvårdsförbund 1990 (Cato 1992). Det senare förbundet hade då övertagit kustvattenkontrollen omfattande fyra stationer i berörda skärgårdsområde. Göta Älvs Vattenvårdsförbund upprättade två stationer vid respektive Bohus och Älvsborgsbron i Göta älv. Resultaten från undersökningen visade att stationen vid Älvsborgsbron var kraftigt kontaminerad med avseende på såväl tungmetaller som organiska miljögifter medan stationen vid Bohus uppvisade låga halter med avseende på de studerade ämnena. Den senare stationen utgjorde dock ingen lämplig sedimentationsbotten varför den vid 1995 års undersökningar (Cato 1997) flyttades till ett älvområde utanför Dösebacka. Förändringar i älvbotten medförde att en mindre förflyttning av stationen också blev nödvändig vid provtagningarna år 2000.

Resultaten från 1995 års undersökningar visade att halten av främst tenn men även av arsenik, krom, nickel, vanadin och dioxiner/furaner hade ökat signifikant sedan 1990 på stationen i inre delen av Göteborgs estuarium samtidigt som halten av kvicksilver, kadmium, totalkolväten, PAH, PCB, penta- och hexaklorbensener minskat. Bland näringsämnena kunde noteras en signifikant ökning av halten totalfosfor och totalkväve samtidigt som halten totalt organiskt kol var oförändrad. Under perioden sjönk C/N-kvoten med ca 27 %, vilket antogs bero på en allmänt observerad eutrofiering av kustområdet som gynnat produktionen av marint organiskt material relativt tillförseln av organiskt material från land. Sammantaget utvisade resultaten att inre delen av Göta älvs estuarium år 1995 hade en relativt dålig status vad avser ett flertal ämnen, bl.a. kvicksilver, totalkolväten vissa PAH (t.ex. det cancerogena benso(a)pyren) samt PCB och dioxiner/furaner.

Föreliggande rapport behandlar 2000 års sedimentundersökning omfattande ovan nämnda två stationer i Göta älv med dess estuarium. Sveriges geologiska undersökning (SGU) genomförde provtagningen, medan analys och rapportering av analysdata har utförts av Alcontrol i Nyköping. Sveriges geologiska undersökning svarar för sammanställning och utvärdering av resultaten.

3.2 Undersökningsområde

Göta älv (figurerna 3:1 och 3:2) är Sveriges vattenrikaste vattendrag med en medelvattenföring av 550 m^3/sek. Vänern och en stor del av västra Mellansverige hör till dess nederbördsområde, som omfattar ca 50 000 km^2. Älvens längd mellan Vänern och havet är 93 km. Vid Kungälv delar den sig i två grenar, Nordre och Göta älv, vilka omsluter Hisingen. Göta älv har 25 % av den totala vattenföringen och rinner genom Göteborg medan Nordre älv för ut 75 % av vattnet i mynningsområdet norr om Björlanda.

Götaälvdalen är en utpräglad sprickdal med både välutbildade och oregelbundna dalsidor. Från utloppet ur Vänern följer dalen i stort sett berggrundens allmänna NNO-SSV strykningsriktning. Berggrunden är ofta uppspjälkad i större och mindre enheter, vilka bitvis sticker upp som isolerade hällpartier i dalbottens sediment. Berggrunden domineras av ådergnejs, vilken genombryts av diabasgångar, yngre graniter och äldre ögongraniter, vanligen gnejsiga.

Höjdskillnaden mellan dalbotten och de omgivande höjdområdena är genomgående omkring 100 meter. De lösa avlagringarna i dalgångens södra delar har uppmätts till mer än 100 meter vilket medför att nivåskillnaderna i berggrunden kan uppgå till mer än 200 meter. Norr om Lilla Edet har älven skurit ut höga brinkar i sedimenten medan vattenytan längre söderut ligger nästan i nivå med omgivande dalbotten. Det låga partiet mellan Lödöse och Älvängen har en relativt orörd natur och karakteriseras av den plana dalbotten, sankängar, Hajs sjö och uppstickande bergknallar.

Älvdalens mer eller mindre mäktiga sedimentavlagringar, dominerade av postglaciala och glaciala leror som ställvis underlagrar siltiga sediment, har avsatts efter landisens avsmältning från området för drygt 12 000 år sedan. Genom landhöjningen har sedimentlagrena kommit i dagen. Genom vattenerosion, ras och skred har älvdalens ravinlandskap bildats. Via Göta älv transporteras ca 130 000 ton oorganiskt sediment som till största delen avsätts i Göta och Nordre älvs estuarier (Sundborg & Norrman 1963).

En profil utvisande den geologiska uppbyggnaden av Göta älvs bottens visas i figur 3:3. Mäktiga glaciala leror täcks delvis av ett tunt lager postglacial lera i övrigt anstår den glaciala leran öppet i bottenytan indikerande pågående erosion. Vid Dösebacka övertväras älven av en glacifluvial avlagring (randbildning) som underlagrar glacialleran.

Göta älv fungerar som vattentäkt för inemot 700 000 människor och har stor betydelse för industrin som energikälla, transportled och vattentäkt. Älven är en viktig vandringsled för lax, havsöring och ål till reproduktionsområdena i älvens biflöden (Göta Älvs Vattenvårdsförbund 1997).

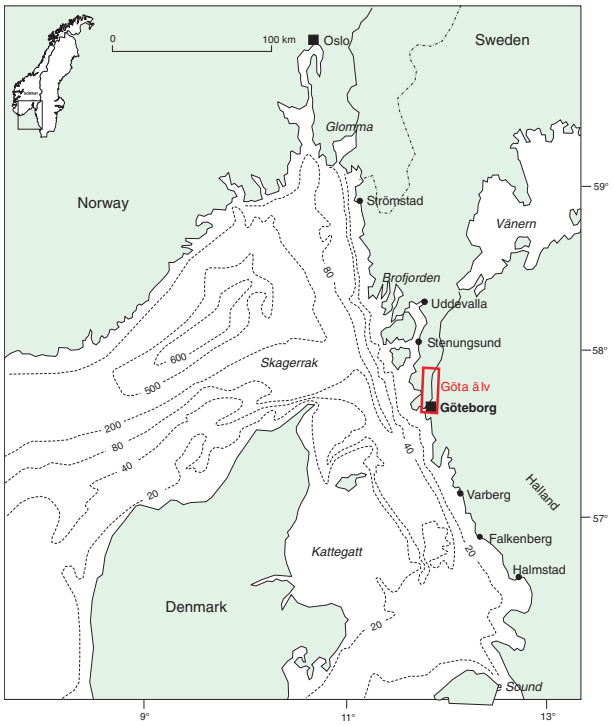
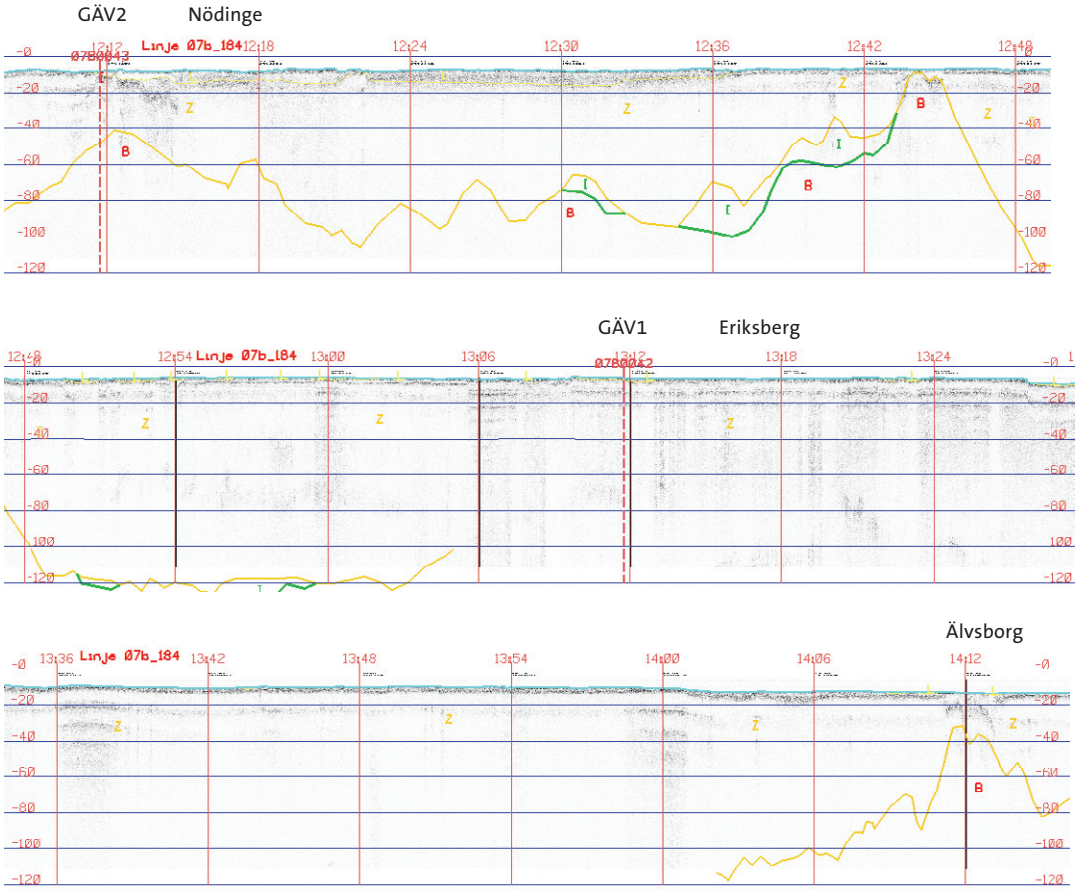


Fig. 3:1. Översiktskarta över Skagerrak och Kattegatt med undersökningsområdet markerat.

Outline map of the Skagerrak and Kattegat showing the location of the investigated area.

Fig. 3:2. Karta över Göta älv utvisande läget för stationerna GÄV1 och GÄV2.

Map of the river Göta Älv showing the position of the sites GÄV1 and GÄV2.



• = bottenyta
• = postglacial lera (L, ljusgul)
• = glaciallera (Z, mörkt gul)
• = isälvsmaterial (I)
B = kristallint berg

• = *bottom surface*
• = *postglacial clay (L, light yellow)*
• = *glacial clay (Z, dark yellow)*
• = *glacifluvial deposits* (I)
B = *crystalline bedrock*

Fig. 3:3. Sedimentekolodsprofil som visar ett vertikalt snitt genom sedimentlagren längs mätlinje 07b_184 i Göta älv mellan ett område strax norr om Nödinge (överst t.v.) och Älvsborg (nederst t.h.) i Göta älvs yttre estuarium. Tolkningarna baseras också på reflektionsseismisk information. Provtagningsstationerna GÄV1 och GÄV2 är markerade med röd streckad linje. För förklaringar, se legend.

Subbottom profile showing a vertical cut through the sediment layers along the run line 07b_184 in Göta Älv between an area north of Nödinge (upper left) and Älvsborg (lower right) in the lower Göta Älv estuary. The interpretations are also based on information recieved from shallow seismic measurements. The sampling sites GÄV1 and GÄV2 are marked with red hatched lines. For explanation, see legend.

3.3 Metoder

Göta Älvs geokemiska status i bottensedimenten undersöktes på två stationer 1990 (Cato 1992). Den ena stationen är belägen vid Bohus och den andra vid Älvsborgsbron. Vid utvärderingen av 1990 års undersökningar framkom det att stationen vid Bohus inte utgjorde någon lämplig plats för långsiktig övervakningsverksamhet, eftersom botten tidvis var utsatt för erosion. Depositionsbottnar är sällsynta i strömmande vattendrag. Vid 1995 års undersökningar gjordes ett nytt försök att finna en lämplig botten för provtagning. Den nya stationen fick beteckningen GÄV2 och ligger något sydost om Nödinge (Dösebacka). Stationen vid Älvsborgsbron flyttades något uppströms till i höjd med Eriksberg i Göteborg och fick beteckningen GÄV1. Dessa förändringar innebar att sedimentdata från stationerna 1990 respektive 1995 inte är helt jämförbara med varandra. Vid provtagningarna år 2000 visade det sig att botten vid station GÄV2 eroderats. En mindre förflyttning till en lämpligare plats med troligtvis stabilare depositionsförhållanden blev därför nödvändigt. Trots att stationerna mellan de olika undersökningsåren inte är helt jämförbara överensstämmer de så till motto att stationerna för respektive år representerar platser uppströms respektive i Göteborg, dvs. uppströms respektive nedströms en starkt urbaniserad region.

Analysprogrammet för 2000 har utökats något i jämförelse med 1990 och 1995. Kartan i figur 3:2 utvisar läget för de två provtagningsstationerna. I figur 3:4 visas en side scan sonarbild över botten vid provtagningsstation GÄV1 utanför Eriksberg. Centralt i älven syn släpspår efter ankring och muddringar.

Vid 1995 och 2000 års sedimentundersökning positionsbestämdes stationerna med hjälp av DGPS (Differential Global Positioning System). Positionsuppgifter jämte vattendjupsdata baserade på ekolodsdata från respektive undersökningsår redovisas i tabell 3:1.

Tabell 3:1. Provtagningsstationer vid 2000 års sedimentundersökning och tidigare inom ramen för Göta älvs kontrollprogram. DGPS-positioner i WGS 84.

Sampling sites of the sedimentological investigations in 2000 and earlier within the framework of the Göta Älv Monitoring Program. DGPS-positions are given in WGS 84.

Station	Stations-namn	Provnr. SGU	År	Latitud N	Longitud E	Vattendjup (m)
GÄV1	Älvsborgsbron		1990	57°41,830'	11°54,870'	13
	Eriksberg		1995	57°41,955'	11°55,045'	15
	Eriksberg	07b-0042 07b-0096	2000	57°41,932'	11°54,855'	12
GÄV2	Bohus		1990	57°52,550'	12°01,650'	5
	Nödinge		1995	57°54,577'	12°03,011'	5
	Nödinge	07b-0043	2000	57°54,518'	12°02,741'	5

2000 års sedimentprov från GÄV1 insamlades med hjälp av en box-corer (Olausson & Jonasson 1966) och sedimentkärna för röntgenanalys med hjälp av en Gemini corer (Niemistö 1974) från SGUs undersökningsfartyg S/V Ocean Surveyor. Station GÄV2 provtogs med en liten huggare av typ Ekman (Ekman 1911). Provtagningarna ägde rum under perioden 18–23 september 2000 och ombesörjdes av Sveriges geologiska undersökning.

På båda stationerna togs prov ut från sedimentytan (0–1 cm). Proverna överfördes till plastburkar för oorganiska respektive glasburkar för organiska analyser samt frystes i väntan på vidare analys. Sedimentkärnan röntgades i en ITRAX sediment scanner (Cato m.fl. 2000).

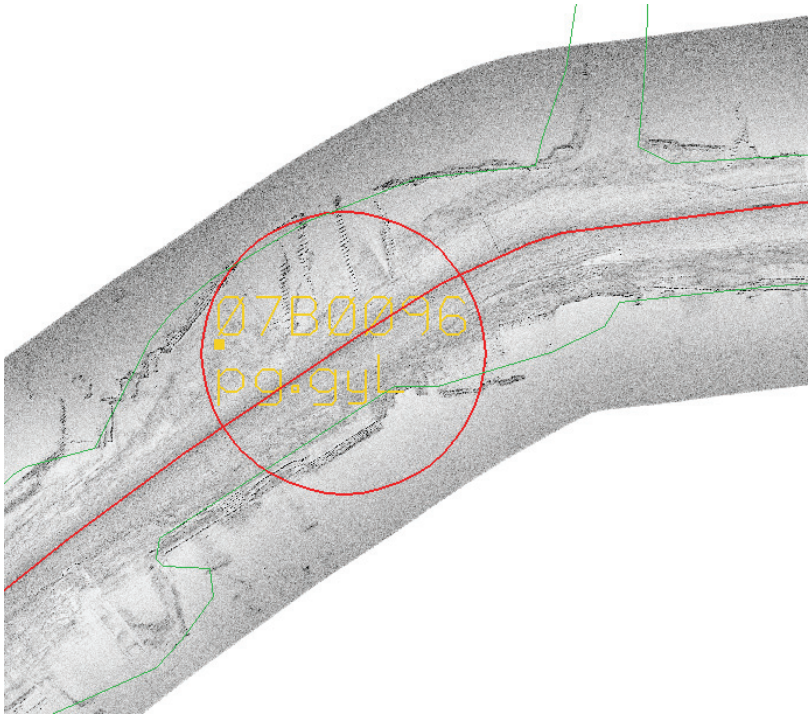


Fig. 3:4. Side scan sonarbild utvisande bottenytan vid station GÄV1 (prov nr 07b0096) i Göta älvs estuarium. Grön linje markerar strandlinje/kajer, gul fyrkant inom röd ring markerar provtagningsplatsen och röd linje markerar läget för profilen som visas i figur 3:3.

Side scan-sonar image showing the bottom surface at site GÄV1 (sample no. 07b0096) in the Göta Älv estuary. Green line marks shoreline/quays, yellow square within red circle marks the sampling site and red line marks the position of the profile shown in Fig. 3:3.

3.4 Analyser

Sedimentproverna analyserades med avseende på ett flertal parametrar, grundämnen och organiska substanser (se tabell 3:2). Av tabellen framgår också vilka ämnen och substanser som analyserats tidigare. Analysprogrammet har utökats under åren, men vissa ämnesgrupper har också utgått ur programmet till följd av att man inte kunnat detektera dem eller funnit dem vara av mindre värde.

En viktig komponent i analysprogrammet har varit att med hjälp av kornstorleksanalyser, sedimentens vattenhalt, innehåll av organiskt material, samt optisk besiktning av sedimentprovet (s.k. sedimentbeskrivning) och genom röntgning av en sedimentkärna söka klarlägga de bottendynamiska förhållandena på respektive plats. En övervakningsstation för sedimentkontroll skall för att vara effektiv vara förlagd till en depositionsbotten, dvs. en botten med kontinuerlig deposition av finsediment (<0,006 mm). Ju högre sedimentationshastighet ju lämpligare botten för miljöövervakning.

Prover avsedda för fysikaliska analyser och analyser av metaller frystorkades innan vidare analys. Övriga prov gick direkt till analys. Alocontrol har samordnat analysarbetet. Följande laboratorier har medverkat: MikroKemi i Uppsala (kol och kväve), Alcontrol i Linköping (övriga kemiska analyser) och Statens geotekniska institut (SGI) i Linköping (kornstorleksanalyser). Använd analysmetodik finns beskriven i Alcontrol (2004).

Tabell 3:2. Analyserade miljögifter och parametrar i sediment från Göta älv 1990–2000. Asterisk (*) markerar vad som analyserats respektive år.

Analysed pollutants and parameters in sediments from the Göta River in 1990–2000. Asterisk marks type of analyses carried out respective year.

Ämnesgrupper analyserade i sediment	1990	1995	2000
Totalkolväten	*	*	*
Polycykl aromat kolväten (PAH)	*	*	*
Bicykl aromat. kolväten (NPD)		*	*
Extraherbart organiskt bundet klor (EOCl /EPOCl)	*	*	*
Extraherbart organiskt bundet brom (EOBr /EPOBr)	*	*	*
Pentaklorbensen (Pe-CB)	*	*	*
Hexaklorbensen (HCB)	*	*	*
Oktaklorstyren (Okt-CB)	*	*	*
Polyklorerade bifenyler (PCB)		*	*
Total PCB	*	*	*
Plana PCB		*	*
Lindan (gamma-HCH)		*	
Klordaner		*	*
Polyklorerade furaner/dioxiner (PCDF/PCDD)		*	*
Bromerade difenyletrar (BDE)		*	*
Monoaromater (BTEX)		*	*
Alifatiska halogenföreningar (haloformer)		*	*
Ftalater		*	
Gujakoler		*	
Nonyfenol		*	
Klorfenoler			*
Totalkol (TC)	*	*	*
Organiskt kol (TOC)	*	*	*
Totalväve (Tot-N)	*	*	*
Totalfosfor (Tot-P)	*	*	*
Svavel (S)		*	
Metaller (As, Cd, Cr, Cu, Hg, Mn, Ni, Pb, Sn, V, Zn)	*	*	*
Kornstorlek	*	*	*
Vattenhalt	*	*	*
Sedimentationshastighet			

3.5 Resultat

I tabell 3:3 redovisas analysresultaten för 1995 års undersökningar vad avser ytsedimentens kornstorleksfördelning (fraktionen <63 µm), vattenhalt, innehåll av totalkol, oorganiskt kol, totalt organiskt kol, totalkväve, kol-kvävekvoten (C/N) och totalfosfor på de två stationerna GÄV1 och GÄV2. Motsvarande data för undersökningsåret 1990 (Cato 1992) och 1995 (Cato 1997a) redovisas också i den mån de analyserats tidigare. Eftersom stationernas lägen har ändrats något mellan åren (se tabell 3:1) kan ingen exakt jämförelse göras dem emellan. Den jämförelse som i det följande kommer att ske bör därför främst betraktas som skillnaden mellan stationer belägna uppströms respektive nedströms en starkt urbaniserad region som Göteborg.

3.5.1 KORNSTORLEKSFÖRDELNING OCH SEDIMENTTYPER

Ytsedimentens kornstorleksfördelning undersöktes inte i sin helhet vid 1995 års undersökningar, utan endast fraktionen <63 µm, dvs. viktsandelen ler och silt bestämdes i proven. Vid undersökningarna 2000 undersöktes kornstorleksfördelningen i sin helhet. Resultaten redovisas i tabell 3:3. Motsvarande analyser från 1990 års undersökningar saknas.

På station GÄV1 utanför Eriksberg är andelen ler och silt, dvs. fraktionen <63 µm, 100 viktsprocent, dvs. ingen förändring har skett sedan 1995. På den nya stationen GÄV2 vid Nödinge är den 82 viktsprocent. Detta indikerar att båda stationerna representerar en god depositionsmiljö. Detta var inte fallet för GÄV2 1995.

Sedimenten på de två stationerna klassificeras enligt svensk standard (SGU 1974) som gyttjefinlera.

Tabell 3:3. Kornstorleksfraktionen <63 µm, vattenhalt, totalkol (TC), oorganiskt kol (OOC), totalt organiskt kol (TOC), glödrest, totalkväve (TN), kol-kvävekvoten (C/N) och totalfosfor (Tot-P) i Göta Älvs ytsediment 1990–2000. Data finns inte från alla år.

The grain-size fraction <63 µm, water content, total carbon (TC), inorganic carbon (OOC), total organic carbon (TOC), loss of ignition, total nitrogen (TN), carbon-nitrogen ratio (C/N) and total phosphorous (Tot-P) in the surficial sediments of the Göta Älv in 1990–2000. Data are lacking for some years.

Station	Nr.	År	Silt +ler vikts-%	Vattenhalt %	TC g/kg	OOC g/kg	TOC g/kg	Glödrest g/kg	TN g/kg	C/N	Tot-P g/kg
Eriksberg	GÄV 1	1990	-	66	27,3	1,3	26	-	2,2	11,7	0,61
		1995	99,0	79	32,8	4,4	28,4	890	3,3	8,6	1,1
		2000	100	73	30	3,0	27	900	2,7	10	1,7
Nödinge	GÄV 2	1990	-	48	4,02	0,02	4	-	0,39	10,3	0,48
		1995	41,1	51,9	9,8	0	9,8	978	<1,0	<9,8	0,51
		2000	82	68,1	27	3,0	24	940	2,3	10,4	0,93

3.5.2 SEDIMENTENS FÄRG OCH GRAD AV BIOTURBERING

Färgen på det klastiska sedimentet på station GÄV2 är ljust grått under ett ca 15 cm mörkgrått till gråsvart skikt. På station GÄV1 övergick det mörkgrå ytsedimentet från ca 10 cm djup och djupare ned gradvis till svart färg, dvs. till kraftigt reducerande förhållanden en bit ned i sedimentet. Provet doftade olja och svavelväte. Inga organismer observerades i bottensedimenten på de två stationerna, inte heller några strukturer som tyder på bioturbation.

3.5.3 VATTENHALT SAMT FÖRÄNDRINGAR EFTER 1990

Mätresultaten vad avser ytsedimentens vattenhalt för undersökningsåret 2000 redovisas i tabell 3:3 tillsammans med motsvarande data från 1990 och 1995 års undersökningar. Vattenhalten på de två stationerna skiljer sig inte mycket åt år 2000; 73 och 68 % för respektive stationerna GÄV1 och GÄV2. Resultaten befäster på motsvarande sätt som kornstorleksfördelningen (se ovan) att s tationerna är belägna på depositionsbottnar, vilket inte var fallet för GÄV2 1990 och 1995.

Differensen i vattenhalt mellan åren 1995 och 2000 är 6 % för station GÄV1 och 16 % för station GÄV2 (fig. 3:5). Det senare beror på att stationen flyttats till en mer lämplig botten med depositionsförhållanden vid provtagningarna 2000.

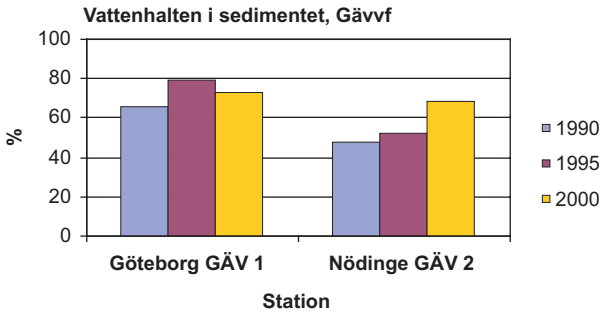


Fig 3:5. Variationen i ytsedimentens (0–1 cm) vattenhalt mellan 1990 och 2000 på stationerna GÄV1 och GÄV2 i Göta älv.

The variation of the water content in the surficial sediments (0–1 cm) between 1990 and 2000 at the sites GÄV1 and GÄV2 in the river Göta Älv.

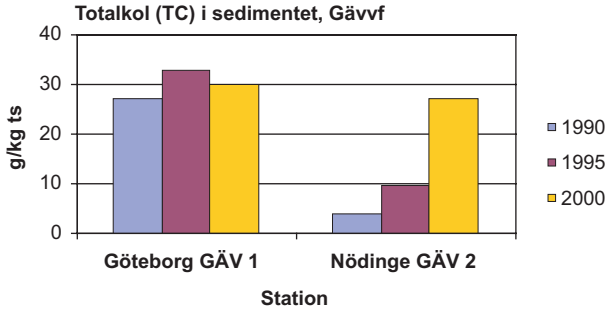


Fig 3:6. Variationen i ytsedimentens (0–1 cm) totalkolhalt (TC) mellan 1990 och 2000 på stationerna GÄV1 och GÄV2 i Göta älv.

The variation of the content of total carbon (TC) in the surficial sediments (0–1 cm) between 1990 and 2000 at the sites GÄV1 and GÄV2 in the river Göta Älv.

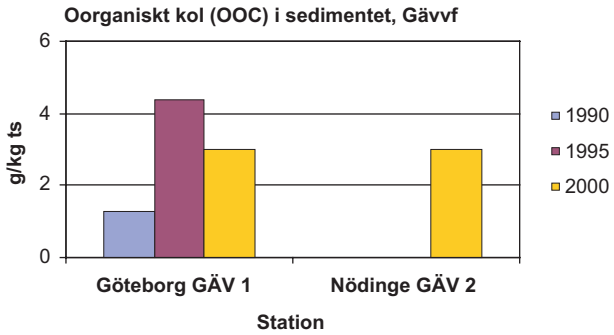


Fig 3:7. Variationen i ytsedimentens (0–1 cm) halt av oorganiskt kol (OOC) mellan 1990 och 2000 på stationerna GÄV1 och GÄV2 i Göta älv.

The variation of the content of iorganic carbon (OOC) in the surficial sediments (0–1 cm) between 1990 and 2000 at the sites GÄV1 and GÄV2 in the river Göta Älv.

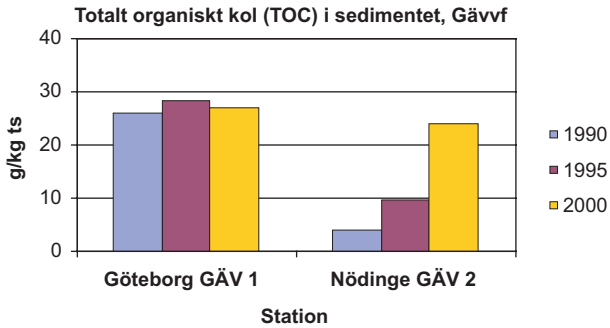


Fig 3:8. Förändringen i ytsedimentens (0–1 cm) organiska kolhalt (TOC) mellan 1990 och 2000 på stationerna GÄV1 och GÄV2 i Göta älv.

The change of total organic carbon (TOC) in the surficial sediments (0–1 cm) between 1990 and 2000 at the sites GÄV1 and GÄV2 in the Göta Älv river.

3.5.4 TOTALKOL OCH OORGANISKT KOL SAMT FÖRÄNDRINGAR EFTER 1990

Analysresultaten vad avser halten av totalkol (TC) och oorganiskt kol (OOC) i ytsedimenten (0–1 cm) för 2000 redovisas i tabell 3:3 samt i figurerna 3:6 och 3:7 tillsammans med motsvarande data från 1990 och 1995 års undersökningar. Halten totalkol i ytsedimenten 2000 skiljer sig inte nämnvärt åt mellan de båda stationerna. 1995 var skillnaden däremot stor då totalkolhalten på station GÄV1 var nästan 4 gånger högre än på station GÄV2. Halten oorganiskt kol var då obefintlig på station GÄV2. År 2000 uppgår halten oorganiskt kol till 3 g/kg ts. Haltskillnaderna mellan de olika undersökningsåren på station GÄV2 hänför sig främst till att stationen flyttats från områden med transportbotten till ett område med depositionsbotten (se ovan).

Som jämförelse till ovan uppmätta halter kan nämnas att medelvärdet för oorganiskt kol i Brofjorden 1989 och 1995 var respektive 2,5 g/kg ts (Cato 1990) och 8,1 g/kg (Cato 1997). Motsvarande data från Stenungsundsområdet 1985 och 1995 var 1,7 g/kg ts (Cato 1986b) respektive 5,5 g/kg (Cato 1997). Halten oorganiskt kol är således i samma storleksordning på stationerna GÄV1 och GÄV2, dvs. i Göta älvs estuarium respektive på depositionsbotten i själva älven. Oorganiskt kol i västkustsedimenten utgörs till största delen av karbonatkol och till en mycket liten del av grafitkol. Förekomsten av skalfragment blir därför ofta avgörande för resultatet. Totalkolhalten domineras på båda stationerna av halten organiskt kol (se nedan).

3.5.5 ORGANISKT KOL SAMT FÖRÄNDRINGAR EFTER 1990

Analysresultaten för 2000 års undersökningar avseende totalt organiskt kol (TOC) i ytsedimenten (0–1 cm) på stationerna GÄV1 och GÄV2 redovisas i tabell 3:3 tillsammans med motsvarande data från 1990 och 1995 års undersökningar. Skillnaden i halt mellan de två stationerna är endast 3 g/kg ts, vilket innebär att sedimentens bindningskapacitet för miljögifter i detta avseende är i det närmaste likvärdig mellan de två stationerna. Vid 1990 och 1995 års undersökningstillfällen var halten organiskt kol ca tre gånger lägre på station GÄV2 jämfört med station GÄV1.

Koncentrationen på den senare stationen ligger inom ett för västkusten normalt intervall om de på organiskt material belastade recipienterna undantas (se tabell 2:8, del 2 i denna samlingsvolym). Enligt Norsk klassificering av miljökvalitet i fjordar och kustvatten (Rygg & Thélin 1993) faller båda stationerna i klass I (”god”) enär halten är <30 g/kg ts. Svenska bedömningsgrunder för TOC saknas.

Skillnaderna mellan åren, vad avser ytsedimentens innehåll av organiskt kol på respektive station, illustreras i figur 3:8. På station GÄV1 ligger halten 3,7 % högre respektive 5,1 % lägre än motsvarande värden för 1990 och 1995. Skillnaden mellan 1995 och 2000 är statistiskt signifikant eftersom variationskoefficienten för organiskt kol till följd av ytsediments (0-2 cm) inhomogenitet vid Bohuskusten har analyserats och beräknats till 3,8±2,8 % (Cato 1977). Förändringen på station GÄV1 är dock betydligt mindre än de minst 35 %, som baserat på blandningsfaktorn (se avsnitt 2.5, del 2 i denna samlingsvolym), krävs för att en förändring skall kunna detekteras vid ett femårigt provtagningsintervall.

Haltförändringarna på station GÄV2 kan inte jämföras på samma sätt eftersom stationen flyttats mellan åren från ett område med transportbotten till ett område med utpräglad depositionsbotten.

3.5.6 TOTALKVÄVE SAMT FÖRÄNDRINGAR EFTER 1990

Analysresultaten från 2000 års sedimentundersökningar avseende totalkväve (N) på stationerna GÄV1 och GÄV2 redovisas i tabell 3:3 tillsammans med motsvarande data från 1990 och 1995 års undersökningar. Vid de två tidigare undersökningstillfällena var halten mycket låg (<1 g/kg ts) på station GÄV2 medan den var ca tre gånger så hög på station GÄV1. Skillnaderna mellan stationerna år 2000 är betydligt mindre (0,4 g/kg ts) till följd av att station GÄV2 flyttats från ett område med transportbotten till ett område med depositionsbotten där halten organiskt material är högre. Koncentrationen på stationerna överensstämmer med andra på organiskt material icke belastade recipienter längs västkusten (se tabell 2:9 i del 2, denna samlingsvolym). Enligt Norsk klassificering av miljökvalitet i fjordar och kustvatten (Rygg & Thélin 1993) faller stationerna i klass II (”mindre god”). Svenska bedömningsgrunder för kväve i sediment saknas.

Förändringen mellan 1990 och 2000 vad avser ytsedimentens innehåll av totalkväve på respektive station illustreras i figur 3:9. På station GÄV1 har halten ökat mellan 1990 och 1995 med ca 50 % för att därefter

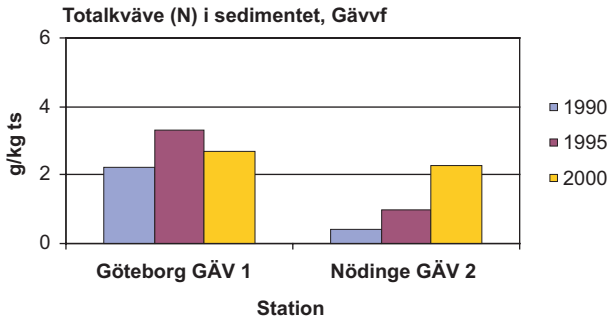


Fig. 3:9. Förändringen i ytsedimentens (0–1 cm) totalkvävehalt (TN) mellan 1990 och 2000 på stationerna GÄV1 och GÄV2 i Göta älv.
The change of total nitrogen (TN) in the surficial sediments (0–1 cm) between 1990 and 2000 at the sites GÄV1 and GÄV2 in the river Göta Älv.

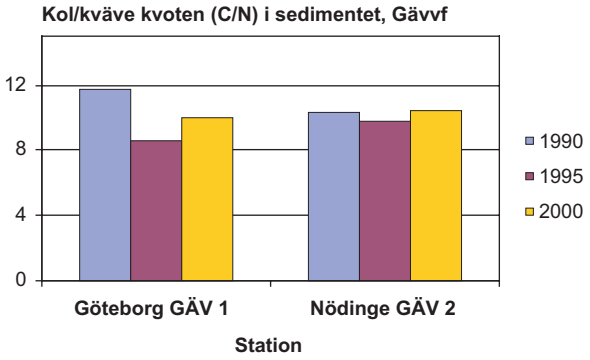


Fig 3:10. Förändringen i ytsedimentens (0–1 cm) kol-kväve kvot (C/N) mellan 1990 och 2000 på stationerna GÄV1 och GÄV2 i Göta älv.
The change of carbon to nitrogen ratio (C/N) in the surficial sediments (0–1 cm) between 1990 and 2000 at the sites GÄV1 and GÄV2 in the river Göta älv.

sjunka med ca 18 % fram till 2000. Dock ligger halten 23 % högre än halten 1990. Skillnaderna mellan åren på station GÄV2 kan i huvudsak hänföras till den ovan omnämnda förflyttningen av stationen från en transportbotten till en depositionsbotten. Förändringen på station GÄV1 är statistiskt signifikant eftersom variationskoefficienten för totalkväve till följd av ytsediments (0–2 cm) inhomogenitet vid Bohuskusten har analyserats och beräknats till 3,2±2,9 % (Cato 1977). Koncentrationsminskningen på station GÄV1 är dock mindre än de minst 35 %, som baserat på blandningsfaktorn (se avsnitt 2.5, del 2 i denna samlingsvolym), krävs för att en förändring skall kunna detekteras vid ett femårigt provtagningsintervall.

3.5.7 KOL-KVÄVEKVOTEN (C/N) SAMT FÖRÄNDRINGAR EFTER 1990

De beräknade C/N-kvoterna i ytsedimenten (0–1 cm) på stationerna GÄV1 och GÄV2 för undersökningsåret 2000 redovisas i tabell 3:3 tillsammans med motsvarande data från 1990 och 1995 års undersökningar. C/N-kvoten för 2000 varierar mellan 10 och 10,4. Det högre värdet är relaterat till station GÄV2, dvs. uppe i älven. Den senare kvoten är lika med den som erhölls 1990 medan kvoten på GÄV1 är 26 % lägre (26 %). I båda fallen är de något högre än 1995 års kvoter. På station GÄV1 har den ökat med hela 16 % och på station GÄV2 med 6 % (fig 3:10). I det senare fallet är skillnaden inte statistiskt signifikant.

Kvoterna för 2000 ligger i övre delen av det intervall som är känt från västkustens, på organiskt material från land, icke belastade recipienter (se tabell 2:8 i del 2, denna volym). Till skillnad från 1995 uppvisar båda stationerna 2000 en C/N-kvot över 10. Detta är normalt för sediment dominerat av organiskt material rikt på cellulosa. Anmärkningsvärt är dock att kvoten inte är högre i älven uppströms Göteborg.

Förändringen på station GÄV1 kan tyda på att den ökning inom området av andelen sedimenterat marint (kväverikt) detritus som noterades mellan 1990 och 1995 ersatts av en situation som mer domineras av

terrestriskt organiskt material. Detta kan tyda på att den tidigare observerade allmänna eutrofieringen av kustområdet (som gynnat produktionen av marint organiskt material) inklusive Göta älvs estuarieområde kan ha minskat.

Motsvarande förändringar konstaterades i Göteborgs skärgård mellan 1966 och 1982 (Cato 1986 a), i Brofjorden mellan 1972 och 1989 (Cato 1990) och fram till 1995 (del 5, denna samlingsvolym), i Stenungsundsområdet mellan 1975 och 1995 (del 4, denna samlingsvolym), i Gullmarsfjorden mellan 1980 och 1995, samt på kustvattenkontrollens stationer mellan 1990–1995 (del 2 och 6, denna samlingsvolym). Den ökning av kvoten som noterats i 2000 års undersöknin har även noterats i övriga undersökningar utmed Bohuskusten år 2000 (se avsnitt 2.5, del 2 i denna samlingsvolym).

3.5.8 TOTALFOSFOR SAMT FÖRÄNDRINGAR EFTER 1990

Analysresultaten från 1995 års sedimentundersökningar avseende totalfosfor (Tot-P) i ytsedimenten (0–1 cm) på stationerna GÄV1 och GÄV2 redovisas i tabell 3:3 tillsammans med motsvarande data från 1990 och 1995 års undersökningar. Totalfosforhalten 2000 varierar mellan 0,9 och 1,7 g/kg ts. Precis som 1995 ligger koncentrationen på station GÄV1 dubbelt så högt som på station GÄV2. Vid en jämförelse med vad som tidigare konstaterats för andra recipienter utmed västkusten (se tabell 2:11 i del 2, denna samlingsvolym) kan konstateras att koncentrationen på station GÄV1 ligger högt.

Utvecklingen mellan 1990 och 2000 vad avser ytsedimentens innehåll av totalfosfor på respektive station illustreras i figur 3:11. På station GÄV1 har halten ökat med 55 % sedan 1995 och med 180 % sedan 1990. På station GÄV2 är ökningen mellan 1995 och 2000 hela 82 % – en ökning som endast delvis kan förklaras med stationens nya läge som resulterat i en högre halt av organiskt material (se avsnitt 3.5.5).

Förändringarna är statistiskt signifikanta eftersom variationskoefficienten för totalfosfor till följd av ytsediments (0–2 cm) inhomogenitet vid Bohuskusten har analyserats och beräknats till 1,8±0,6 % (Cato 1977). Ökningen på båda stationerna är också betydligt större än de minst 35 %, som baserat på blandningsfaktorn (se avsnitt 2.5, del 2 i denna samlingsvolym), krävs för att en förändring skall kunna detekteras vid ett femårigt provtagningsintervall. Koncentrationsökningen speglar sannolikt den ökade tillförseln av fosfor som skett till älven under perioden 1993–1995 och senare (tabell 3:4).

Tabell 3:4. Beräknade totalfosforflöden till Göta älv under perioden 1993-1995 (Göta Älvs Vattenvårdsförbund 1996).
Estimated flow of total phosphorous to the river Göta älv in the period 1993-1995 (Göta Älvs Vattenvårdsförbund 1996)

1993 Totalfosfor ton/år	1994 Totalfosfor ton/år	1995 Totalfosfor ton/år
292	367	586

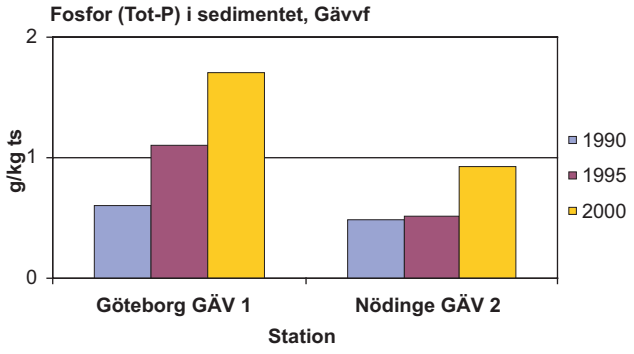


Fig 3:11. Förändringen i ytsedimentens (0–1 cm) totalfosforhalt (tot-P) mellan 1990 och 2000 på stationerna GÄV1 och GÄV2 i Göta älv.
The change of total phosphorous (tot-P) in the surficial sediments (0–1 cm) between 1990 and 2000 at the sites GÄV1 and GÄV2 in the Göta Älv river.

3.5.9 TUNGMETALLER SAMT FÖRÄNDRINGAR EFTER 1990

I tabell 3:5 redovisas analysresultaten för 2000 års undersökningar vad avser ytsedimentens innehåll av tungmetallerna arsenik (As), kadmium (Cd), krom (Cr), koppar (Cu), kvicksilver (Hg), nickel (Ni), bly (Pb), vanadin (V) och zink (Zn) på stationerna GÄV1 och GÄV2 i Göta älv. Motsvarande data för år 1990 och 1995 (Cato 1992, 1997a) redovisas också i den mån de analyserats tidigare.

Tabell 3:5. Arsenik (As), kadmium (Cd), krom (Cr), koppar (Cu), kvicksilver (Hg), mangan (Mn), nickel (Ni), bly (Pb), tenn (Sn), vanadin (V) och zink (Zn) i ytsedimenten (0–1 cm) på stationerna GÄV1 och GÄV2 i Göta älv 1990, 1995 och 2000. Data finns inte från alla år. Metallanalyser efter uppslutning med salpetersyra respektive fluorvätesyra (HF).

Arsenic (As), cadmium (Cd), chromium (Cr), copper (Cu), mercury (Hg), manganese (Mn), nickel (Ni), lead (Pb), ten (Sn) vanadium (V) and zinc (Zn) in the surficial sediments (0–1 cm) between 1990, 1995 and 2000 at the sites GÄV1 and GÄV2 in the Göta Älv river. Data are lacking for some years. Metal analyses after extraction with nitric and fluss acid (HF) respectively.

Station	Nr.	År	As mg/kg	Cd mg/kg	Cr mg/kg	Cu mg/kg	Hg mg/kg	Mn mg/kg	Ni mg/kg	Pb mg/kg	Sn mg/kg	V mg/kg	Zn mg/kg
Eriksberg	GÄV 1	1990	8,6	0,78	37	61	1,21	-	18	56	2,6	39	203
		1995	10,3	0,6	41,2	55,6	0,75	367	21,1	41,8	5,2	62,3	203
		2000	8,9	0,51	40	51	0,97	400	22	43	5,9	54	130
Nödinge	GÄV 2	1990	3,0	0,08	21	9,4	0.05	-	11	11	<0,2	36	64
		1995	1,3	0,1	11,4	6,6	0,02	199	5,7	9,68	1	23,7	63,6
		2000	2	0,35	24	16	0,058	240	9,6	19	<1	28	90
(HF)	GÄV 2	1995	-	0,17	37	10,8	-	335	11,7	23	-	45,7	84
		2000	2,3	0,5	46	44	0,067	420	13	34	7,4	70	130

I jämförelse med övriga icke belastade områden utmed Bohuskusten kan konstateras att tungmetallhalterna 2000 ligger inom för kusten normala intervall (se tabellerna 2:16–2:26 i del 2, denna samlingsvolym).

Enligt svenska bedömningsgrunder för kust och hav (Naturvårdsverket 1999) faller station GÄV2 vid Nödinge i klasserna 1 och 2, dvs. *ingen/obetydlig* till *liten* avvikelse från jämförvärdet (bakgrundsvärdet) vid samtliga tre undersökningstillfällen 1990–2000 (tabell 3:6).

Motsvarande förhållanden för station GÄV1 vid Eriksberg gäller endast As och Ni. Cd, Cr, Cu och Zn uppvisar en *tydlig avvikelse* (klass 3) från jämförvärdet medan Hg uppvisar en *stor avvikelse* (klass 4) från jämförvärdet. Avvikelsen för både Cu och Hg var större i början av 1990-talet.

Svenska bedömningsgrunder finns inte för alla metaller.

Skillnaden mellan stationerna GÄV1 och GÄV2 samt förändringen av sedimentens metallhalter mellan 1990 och 2000 illustreras i figur 3:12. För mangan saknas uppgifter från tiden före 1995.

I jämförelse med 1990 och 1995 visar resultaten från station GÄV2 att samtliga metallhalter utom As och V är betydligt högre år 2000. Denna utveckling har inget med förändrad emission att göra utan beror på att station GÄV2 år 2000 flyttats från en transportbotten till en depositionsbotten med högre halt av organiskt material och därmed större bindningskapacitet för bl.a. tungmetaller.

På station GÄV1 har halten av kadmium och koppar successivt minskat mellan undersökningsåren 1990, 1995 och 2000. Koncentrationsminskningen är 35 respektive 16 % sedan 1990. Vanadin och zink har minskat med 13 respektive 36 % efter 1995. Halten av tenn däremot har successivt ökat under tioårsperioden (1990–2000) med totalt 127 %, medan kvicksilver först minskade mellan 1990 och 1995 för att sedan öka något fram till 2000. Sedan 1995 har kvicksilver ökat med 29 %. För övriga metaller är halterna relativt oförändrade mellan åren. Ni uppvisar dock en successiv ökning med 22 % och Pb en minskning med 23 % sedan 1990.

Samtliga konstaterade förändringar är större än de variationskoefficienter för respektive element som till följd av ytsedimentens (0–2 cm) inhomogenitet analyserats och beräknats för Bohuskusten (Cato 1977). Förändringarna kan därför betraktas som reella. Dock kan i flera fall konstateras att förändringarna är mindre än de minst 20 respektive 35 %, som baserat på blandningsfaktorn (se avsnitt 2.5, del 2 i denna samlingsvolym), krävs för att en förändring skall kunna detekteras vid ett tioårigt respektive femårigt provtagningsintervall. Därmed kan endast med säkerhet fastläggas att den koncentrationsförändring som skett för zink mellan

Station	Nr.	År	As mg/kg	Cd mg/kg	Cr mg/kg	Cu mg/kg	Hg mg/kg	Mn mg/kg	Ni mg/kg	Pb mg/kg	Sn mg/kg	V mg/kg	Zn mg/kg
Eriksberg	GÄV 1	1990	8,6	0,78	37	61	1,21	-	18	56	2,6	39	203
		1995	10,3	0,6	41,2	55,6	0,75	367	21,1	41,8	5,2	62,3	203
		2000	8,9	0,51	51	40	0,97	400	22	43	5,9	54	130
Nödinge	GÄV 2	1990	3	0,08	21	9,4	0,05	-	11	11	<0.2	36	64
		1995	1,3	0,1	11,4	6,6	0,02	199	5,7	9,68	1	23,7	63,6
		2000	2	0,35	16	24	0,058	240	9,6	19	<1	28	90
(HF)	GÄV2	1995	-	0,17	37	10,8	-	335	11,7	23	-	45,7	84
		2000	2,3	0,5	46	44	0,067	420	13	34	7,4	70	130

Metaller
Avvikelse från jämförvärde

Klass 1	Ingen obetydlig avvikelse
Klass 2	Liten avvikelse
Klass 3	Tydlig avvikelse
Klass 4	Stor avvikelse
Klass 5	Mycket stor avvikelse

Tabell 3:6. Klassning av ytsedimenten (0–1 cm) på stationerna GÄV1 och GÄV2 med avseende på metallinnehåll 1990–2000. Klassning enligt svenska bedömningsgrunder (Naturvårdsverket 1999).

Classification of the surface sediments (0–1 cm) at the sites GÄV1 and GÄV2 with respect to metal content 1990–2000. Classification according to Swedish Environmental Quality Criteria (Naturvårdsverket 1999).

1995 och 2000 är faktisk och sannolikt beror på minskad emission. För flera andra metaller (Cu, Cd, Hg, Pb och Zn) är minskningen under tioårsperioden 1990–2000 mycket signifikant och visar än tydligare att emissionen minskat. En omvänd utveckling med mycket sannolik koncentrationsökning kan noteras för Ni, Sn och V, medan statistisk osäkerhet råder om förändringarna av As- och Cr-halterna.

3.5.10 TOTALANALYS AV TUNGMETALLER

De i föregående avsnitt beskrivna metalldata är analyserade enligt svensk standard (SIS), dvs. genom ett lakнings- eller extraktionsförfarande. Metoden är selektiv, vilket innebär att till mineralen hårt bundna metaller inte omfattas av analysen. Internationella havsforskningsrådet (the International Council for the Exploration of the Sea, ICES) rekommenderar numera att metallanalyser på sediment utförs på totalprovet, dvs. att hela provet upplöses genom t.ex. fluorvätesyra (HF) inför analysen. Därigenom skapar man en bättre jämförbarhet mellan prover från olika områden som innehåller sediment med varierande mineralsammansättning. Sedimentprovet från station GÄV2 har analyserats enligt båda metoderna såväl 1995 som 2000.

Resultatet presenteras i tabell 3:5 och är markerat med HF (fluorvätesya). Arsenik, kvicksilver och tenn är inte analyserat enligt totalupplösningsmetoden 1995. I tabell 3:8 redovisas hur stor procentuell andel av sedimentets totala metallhalt som det lakningsbara (SIS) metallinnehållet utgör. Utbytet 1995 var betydligt lägre än vad som erhölls i en motsvarande studie på kustvattenkontrollens stationer 1995 (Cato 1997a). Med undantag för Cu, Mn och Sn är förhållandena de omvända 2000. Detta tyder på att en större andel av metallkoncentrationen har antropogent ursprung i Göta älvs sediment jämfört med kustområdets sediment.

Tabell 3:8. Utbytet i procent för SIS metoden relaterat till totalhalten på station GÄV2.

The exchange in percentages of the SIS method related to the total content at site GÄV2 .

SIS	As	Cd	Cr	Cu	Hg	Mn	Ni	Pb	Sn	V	Zn
Utbyte 1995	-	59 %	31 %	61 %	-	59 %	49 %	42 %	-	52 %	76 %
Utbyte 2000	87 %	70 %	55 %	36 %	87 %	57 %	74 %	56 %	<14 %	40 %	69 %

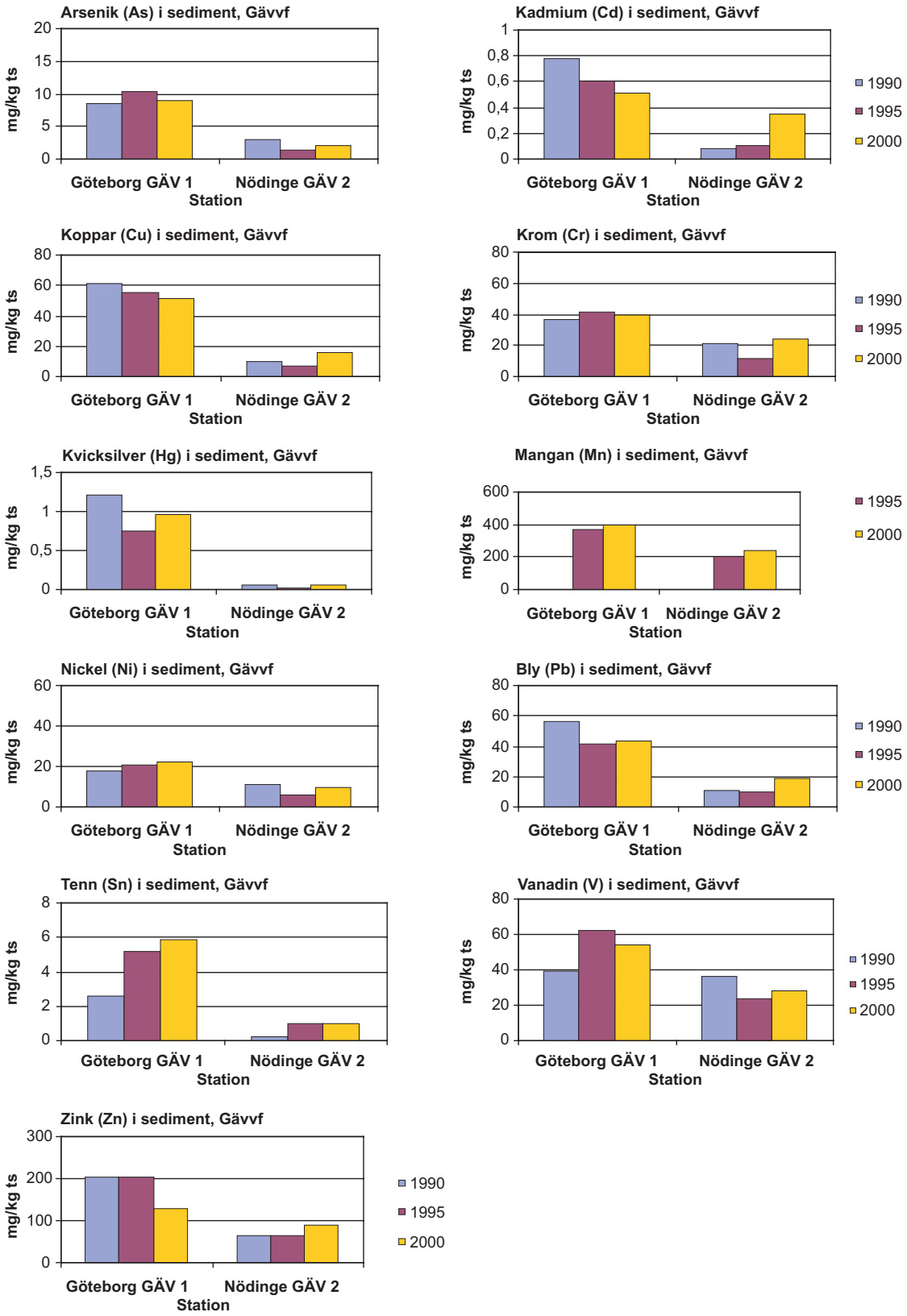


Fig. 3:12. Förändringen mellan 1990 och 2000 av arsenik (As), kadmium (Cd), krom (Cr), koppar (Cu), kvicksilver (Hg), mangan (Mn), nickel (Ni), bly (Pb), tenn (Sn), vanadin (V) och zink (Zn) i ytsedimenten (0–1 cm) på stationerna GÄV1 och GÄV2 i Göta älv. Streckade linjer motsvarar den undre gränsen för respektive klass enligt Naturvårdsverket bedömningsgrunder (1999), se tabell 3:6.

The change of arsenic (As), cadmium (Cd), chromium (Cr), copper (Cu), mercury (Hg), manganese (Mn), nickel (Ni), lead (Pb), tin (Sn), vanadium (V) and zinc (Zn) in the surficial sediments (0–1 cm) between 1990 and 2000 at the sites GÄV1 and GÄV2 in the Göta Älv river. Hatched lines correspond to the lower limit of of respective class in the Environmental Quality Criteria according to Naturvårdsverket (1999).

3.5.11 TOTALKOLVÄTEN SAMT FÖRÄNDRINGAR EFTER 1990

Analysresultaten från 2000 års sedimentundersökningar avseende totalkolväten (THC) på stationerna GÄV1 och GÄV2 i Göta älv redovisas i tabell 3:9 tillsammans med motsvarande data från 1990 och 1995 års undersökningar. Ytsedimentens (0–1 cm) koncentration av totalkolväte 2000 varierade från 28 till ca 58 mg/kg ts. Den högsta halten påträffas på station GÄV1 (Eriksberg) i Göteborg.

I tabell 2:37 i del 2, denna samlingsvolym, redovisas THC-halter i ytsedimenten från några områden utmed Bohuskusten, Skagerrak och Kattegatt. En jämförelse med föreliggande undersökning visar att THC-halterna på båda stationerna i Göta älv ligger inom ett för Bohuskusten normalt intervall. Enligt miljöklassificeringskriterier för THC föreslaget från Norge (jfr Konieczny & Juliussen 1995) faller båda stationerna i tillståndsklass II (”mindre god”). I jämförelse med 1995 är detta en förbättring av förhållandena på station GÄV1. Svenska bedömningsgrunder för THC i sediment saknas.

Tabell 3:9. Koncentrationen av totalkolväte (THC), summa polyaromatiska föreningar ((∑11 PAH och ∑16 PAH) och naftalen i ytsedimentet (0–1 cm) på stationerna GÄV1 och GÄV2 i Göta älv 1990-2000.

Total hydrocarbon (THC), the sum of polyaromatic hydrocarbons (∑11 PAH and ∑16 PAH) and naphtalene in surfical sediments (0–1 cm) at the sites GÄV1 and GÄV2 in the Göta Älv river in 1995–2000.

Station	Nr.	År	THC mg/kg
Eriksberg	GÄV 1	1990	650
		1995	191,9
		2000	58
Nödinge	GÄV 2	1990	14
		1995	4,5
		2000	28

Förändringen av sedimetens THC innehåll mellan 1990 och 2000 illustreras i figur 3:13. På station GÄV1 har totalkolvätehalten sjunkit med ca 70 % sedan 1995 och med ca 91 % sedan 1990. En förändring som är betydligt större än de minst 35 %, som baserat på blandningsfaktorn (se avsnitt 2.5, del 2 i denna samlingsvolym), krävs för att en förändring skall kunna detekteras vid ett femårigt provtagningsintervall. Halten på station GÄV2 var såväl 1995 som 2000 betydligt lägre än den halt som påträffades uppströms Göteborg 1990. Detta till trots att stationen flyttats från en transportbotten till en depositionsbotten. Den senare förändringen förklarar koncentrationsökningen på station GÄV2 mellan 1995 och 2000.

GC/FID-kromatogrammen (redovisade i Alcontrol 2004) från båda stationerna uppvisar en typisk sedimentprofil skild ifrån den typiska mineraloljeprofilen. Identifierade kolväten ligger i stort sett inom kokpunktsintervallet n-C_{15} till n-C_{40} alkaner (270–520 °C). Sedimentprofilerna på de båda stationerna skiljer sig emellertid något åt genom förekomsten av en s.k. ”bulle” i kromatogrammet från station GÄV1 bestående

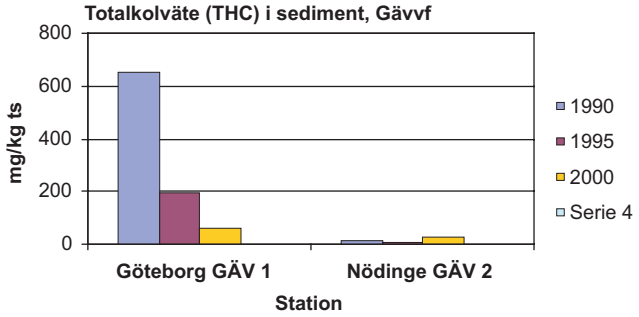


Fig. 3:13. Förändringen mellan 1990 och 2000 av totalkolväte (THC) i ytsedimenten (0–1 cm) på stationerna GÄV1 och GÄV2 i Göta älv.

The change of total hydrocarbon (THC) in the surficial sediments (0–1 cm) between 1990 and 2000 at the sites GÄV1 and GÄV2 in the Göta Älv river.

av en ”unresolved complex mixture” (UCM), som utgörs av en mängd grenade, omättade, cykliska och aromatiska kolväten. Denna bulle bildas då det förekommer ett stort antal isomerer och molekyler med likartad strukturformel inom samma kokpunktsintervall (Rudling 1976, Clark & Brown 1977, Farrington 1980, Sletter m.fl. 1980) och indikerar petroleumursprung. Motsvarande UCM, men då betydligt större konstaterades även 1990 och 1995 (redovisade i Cato 1992 respektive i Helland m.fl. 1996). På station GÄV2 finns ingen tendens till UCM, varken 2000 eller tidigare.

Resultaten tyder på att ett spill av petroleumprodukter till Göta älv framför allt sker inom Göteborg och dess hamnområde men att spillet minskat avsevärt under berörda tioårsperiod.

3.5.12 POLYCYKLISKA AROMATISKA KOLVÄTEN SAMT FÖRÄNDRINGAR EFTER 1990

Analysresultaten från stationerna GÄV1 och GÄV2 avseende identifierade polycykliska aromatiska kolväten (NPD + PAH) samt S16 och ∑11 från den s.k. EPA-listan redovisas i tabell 3:10. Vilka dessa kolväten är framgår av tabellen. Halterna från 2000 års undersökningar varierar mellan 980 och 1100 µg/kg ts. Det lägsta värdet hänför sig till station GÄV2, dvs. uppströms Göteborg. Motsvarande värden för de enskilda PAH-föreningarna framgår av tabell 3:10. Den mest frekventa föreningen 2000 är benso(b+k)fluoranten som i medeltal utgör 20 % av ∑16 PAH. 1995 var förhållandet detsamma men då utgjorde föreningen 11 % av ∑16 PAH.

Enligt svenska bedömningsgrunder för kust och hav (Naturvårdsverket 2005) faller stationerna GÄV1 i klass 4 och GÄV 2 år 2000 i klass 3, dvs. *hög respektive medelhög halt* (fig. 3:14). Trenden 1990–2000 visar att utvecklingen på GÄV1 går mot klass 3, dvs. en förbättrad miljökvalitet med avseende på PAH.

Tabell 3:10. Enskilda polyaromatiska kolväten i ytsedimenten (0–1 cm) på stationerna GÄV1 och GÄV2 i Göta älv 1990, 1995 och 2000.
Individual polyaromatic hydrocarbons in the surficial sediments (0–1 cm) of the sites GÄV1 and GÄV2 in the Göta Älv river in 1990, 1995 and 2000.

Summaparameter/ /förening µg/kg	År	Station GÄV1	Station GÄV2	Median-värde Västerhavet n = 92	Bakgrund Östersjön 200 cm (Cato 1997)	Bakgrund Färöarna Ref. 1 (Cato 1992)
∑16 (NPD + PAH)	1995	1312	471	-	-	-
	2000	1100	980			
∑11 PAH	1990	3 000	280	-	-	-
	1995	1 039	395	-	-	-
	2000	853	799			
Naftalen	1995	26	6,1	-	-	-
	2000	22	<10			
Acenaftylen	1995	12	2,1	-	-	-
	2000	<10	<10			
Acenaften	1995	12	3,3	-	-	-
	2000	<10	11			
Fluoren	1990	10	0			
	1995	20	5,6	-	-	-
	2000	16	13			
Fenantren	1990	260	30	-	-	-
	1995	78	33	37	3	8
	2000	65	74			
Antracen	1990	100	0	-	-	-
	1995	38	8,7	7	<1	3
	2000	25	71			
Fluoranten	1990	800	80	-	-	-
	1995	146	89	84	2	21
	2000	130	150			
Pyren	1990	500	70	-	-	-
	1995	117	67	53	3	39
	2000	120	120			
Benzo(a)antracen	1990	300	20	-	-	-
	1995	103	33	36	<4	11
	2000	88	71			
Krysen/Trifenylen	1990	300	20			
	1995	133	50	49	<5	13
	2000	100	91			

Summaparameter/ /förening µg/kg	År	Station GÄV1	Station GÄV2	Median-värde Västerhavet n = 92	Bakgrund Östersjön 200 cm (Cato 1997)	Bakgrund Färöarna Ref. 1 (Cato 1992)
Benso(b+k)fluoranten	1995	224	64	230	<2	55
	2000	225	170			
Benso(a)pyren	1990	300	20	-	-	-
	1995	104	24	64	<2	22
	2000	98	65			
Benso(ghi)perylen	1990	190	10			
”	1995	122	32	120	<2	80
	2000	88	55			
Indeno(1,2,3-cd)pyren	1990	220	10	-	-	-
	1995	107	32	170	<2	55
	2000	120	80			
Dibenso(a,h)antracen	1990	20	20			
	1995	71	21	-	-	-
	2000	21	12			

Utvecklingen baserad på S16 PAH illustreras i figur 3:15. Eftersom vissa PAH-föreningar som identifierades 1995 och 2000 inte studerades vid 1990 års undersökningar, baseras den tidigare jämförelsen i figur 3:14 på summan av de 11 PAH-föreningar som analyserats vid de tre undersökningsomgångarna. Vilka dessa är framgår av tabell 3:10.

Resultaten för år 2000 visar på en dramatisk sänkning med 72 % sedan 1990 och med 18 % sedan 1995 av halten ∑11 PAH på station GÄV1. Den ökning som kan noteras på station GÄV2 hänger samman med att denna station förflyttats från en transportbotten 1995 till en depositionsbotten 2000, dvs. till en botten med en högre halt av organiskt material och därmed större bindningskapacitet för föroreningar. Om hänsyn tas till detta genom en normalisering mot TOC visar station GÄV 2 en motsvarande utveckling som station GÄV1, dvs. en 72-procentig minskning av halten sedan 1990.

Förändringen på stationerna är betydligt större än de minst 20 respektive 35 %, som baserat på blandningsfaktorn (se avsnitt 2.5, del 2 i denna samlingsvolym), krävs för att en förändring skall kunna detekteras vid ett tioårigt respektive ett femårigt provtagningsintervall. Resultaten tyder på att förhållandena i Göta älvs estuarium förbättrats från en tydligt förorenad situation 1990 till en moderat förorenad situation 2000.

3.5.13 METYLNAFTALENER

Analysresultaten vad avser 1-metylnaftalen och 2-metylnaftalen i ytsedimenten (0–1 cm) på stationerna GÄV1 och GÄV2 redovisas i tabell 3:11. Endast små mängder av 2-metylnaftalen kunde detekteras på station GÄV1. Svenska bedömningsgrunder för dessa föreningar saknas. I jämförelse med övriga Bohuskusten är halterna mycket låga (se avsnitt 2.6.15 i denna volym).

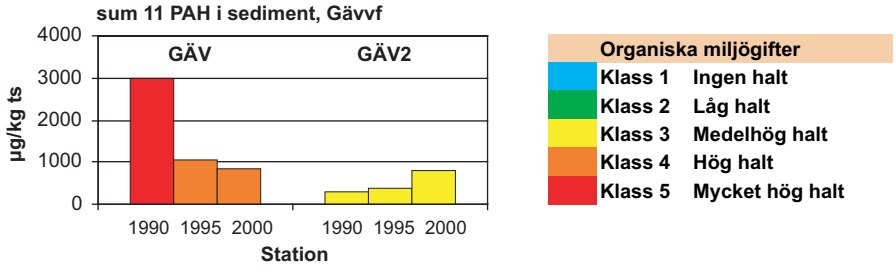


Fig. 3:14. Miljökvaliteten med avseende på polyaromatiska kolväten (∑11 PAH) i ytsedimenten (0–1 cm) på stationerna GÄV1 och GÄV2 i Göta älv. Klassning enligt Naturvårdsverkets bedömningsgrunder för kust och hav (Naturvårdsverket 2005).

Environmental Quality Criteria with respect to polycyclic aromatic hydrocarbons (∑11 PAH) in the surficial sediments (0–1 cm) at the sites GÄV1 and GÄV2 in the Göta Älv river. Classification according to Swedish Environmental Quality Criteria (Naturvårdsverket 2005).

Tabell 3:11. Metylnaftalener i ytsediment (0–1 cm) från stationerna GÄV1 och GÄV2 i Göta älv 2000.

Methyl-naphtalenes in the surficial sediments (0–1 cm) of the sites GÄV1 and GÄV2 in the Göta Älv river in 2000.

Station	Nr	År	1-metylnaftalen µg/kg	2_metylnaftalen µg/kg
Eriksberg	GÄV 1	2000	<10	11
Nödinge	GÄV 2	2000	<10	<10

3.5.14 POLYKLORERADE BIFENYLER SAMT FÖRÄNDRINGAR EFTER 1990

Analysresultaten vad avser icke plana polyklorerade bifenyler (PCB) redovisas i tabell 3:12. Värdena avser dels summan av sju identifierade PCB:er (PCB 28, PCB 52, PCB 101, PCB 118, PCB 153, PCB 138 och PCB 180), vilka sammanförts under begreppet ∑7-PCB, dels övriga identifierade PCB:er (dvs. förutom nämnda PCB:er också PCB 105, PCB 156, PCB157, PCB 167 och PCB 209).

Koncentrationen av ∑7-PCB i ytsedimenten år 2000 varierar mellan 4.1 och 26 µg/kg ts. Den lägsta halten återfinns på station GÄV2. Halten på den senare stationen ligger något under medelvärdet, medan halten på station GÄV1 är ca 5 gånger högre än medelvärdet för öppna Kattegat och Skagerrak (tabell 2:49 i del 2, denna samlingsvolym).

Enligt svenska bedömningsgrunder för kust och hav (Naturvårdsverket 2005) faller stationerna GÄV1 i klass 4 (*hög halt*) och station GÄV2 i klass 3 (*medelhög halt*). I förhållande till 1990 och 1995 har miljökvaliteten med avseende på PCB förbättrats (fig. 3:16, tabell 3:12).

Utvecklingstrenden mellan de tre undersökningsåren 1990 till 2000 har inte varit möjlig att studera direkt eftersom data från 1990 endast omfattar totalhalter. Eftersom ∑7 PCB utgör ca 50 % av totalhalten PCB har den senare dividerats med 2 (De Voogt & Brinkman 1989). På station GÄV1 har halten minskat med 59 % sedan 1995 och med 74 % sedan 1990. Under samma period har halten ökat något på station GÄV2 (fig. 3:16). Det senare hänger samman med den flytt av stationen som skett från en transportbotten till en depositionsbotten med bättre depositionsförhållanden. Det senare speglar således inte en förändring relaterad till emissionen av PCB.

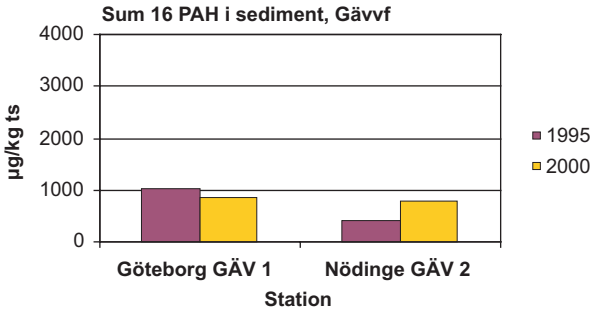


Fig. 3:15. Förändringen mellan 1995 och 2000 av polyaromatiska kolväten (∑16 PAH) i ytsedimenten (0–1 cm) på stationerna GÄV1 och GÄV2 i Göta älv.

The change of polycyclic aromatic hydrocarbons (∑16 PAH) in the surficial sediments (0–1 cm) between 1995 and 2000 at the sites GÄV1 and GÄV2 in the Göta Älv river.

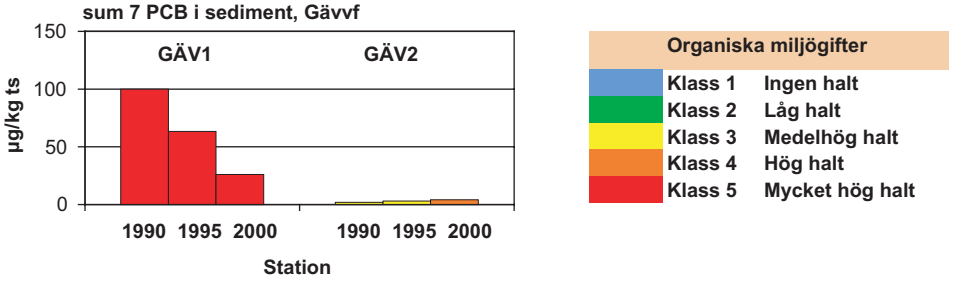


Fig. 3:16. Förändringar i halt och miljökvaliteten med avseende på polyklorerade bifenyler (∑7 PCB) i ytsedimenten (0–1 cm) på stationerna GÄV1 och GÄV2 i Göta älv. Klassning enligt Naturvårdsverkets bedömningsgrunder för kust och hav (Naturvårdsverket 2005).

The changes in concentration and Environmental Quality Criteria with respect to polychlorinated biphenyls (∑7 PCB) in the surficial sediments (0–1 cm) at the sites GÄV1 and GÄV2 in the Göta Älv river. Classification according to Swedish Environmental Quality Criteria (Naturvårdsverket 2005).

Tabell 3:12. Enskilda polyklorerade bifenyler (PCB), ∑7 PCB och total PCB i ytsedimenten (0–1 cm) på stationerna GÄV1 och GÄV2 i Göta älv 1990, 1995 och 2000.

Individual polychloronated biphenyls, ∑7 PCB and total PCB in the surficial sediments (0–1 cm) of the sites GÄV1 and GÄV2 in the Göta Älv river in 1990, 1995 and 2000.

Summaparameter/ /förening µg/kg	År	Station GÄV1	Station GÄV2	Medianvärde Västerhavet n = 92	Bakgrund Färöarna Ref. 1 (Cato 1992)
∑7 PCB	1990	100*	2*		
	1995	63,4	3,1	5,3	1,2
	2000	26	4,1		
Tot-PCB (Aroclor 1254)	1990	200	4		
	1995	-	-		
	2000	91	14		
PCB 28	1995	0,7	0,2		
	2000	1,3	0,52		
PCB 52	1995	2,7	0,2		
	2000	2,0	0,48		
PCB 101	1995	10,4	0,5		
	2000	4,7	0,56		
PCB 118	1995	7,9	0,4		
	2000	3,5	0,43		
PCB 138	1995	15,7	0,7		
	2000	5,1	0,72		
PCB 153	1995	15,1	0,7		
	2000	5,8	0,81		
PCB 180	1995	10,9	0,4		
	2000	3,6	0,54		
PCB 105	1995	2,8	0,1		
	2000	1,3	0,17		
PCB 156	1995	2,5	0,1		
	2000	0,680	0,098		
PCB 157	1995	-	-		
	2000	0,120	0,017		
PCB 167	1995	-	-		
	2000	0,290	0,045		
PCB 209	1995	0,6	0,2		
	2000	-	-		

- = Ej analyserat. Not analysed.
* = Tot-PCB x ½

Förändringen på station GÄV1 är betydligt större än de minst 20 respektive 35 %, som baserat på blandningsfaktorn (se avsnitt 2.5, del 2 i denna samlingsvolym), krävs för att en förändring skall kunna detekteras vid ett tioårigt respektive femårigt provtagningsintervall.

Motsvarande utvecklingstrend jämte miljökvaliteten för total PCB mellan de två undersökningsåren 1990 och 2000 illustreras i figur 3:17. Data saknas från 1995. Totalhalten PCB (mätt som Aroclor) har minskat med 55 % sedan 1990. Även i detta fall är förändringen på station GÄV1 betydligt större än de minst 20 %, som baserat på blandningsfaktorn (se avsnitt 2.5, del 2 i denna samlingsvolym), krävs för att en förändring skall kunna detekteras vid ett tioårigt provtagningsintervall.

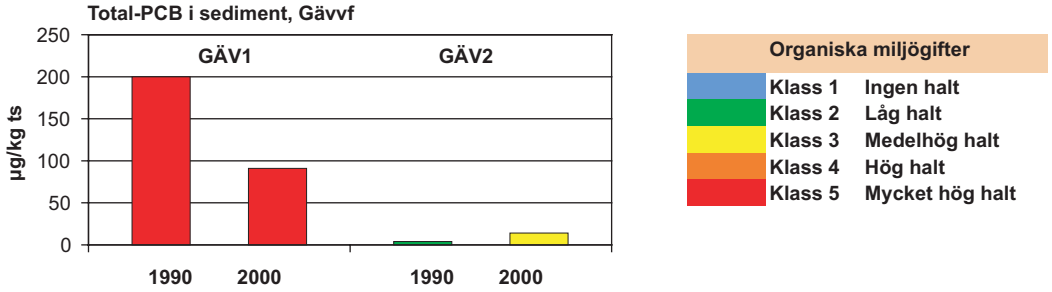


Fig. 3:17. Förändringar i halt och miljökvalitet med avseende på polyklorerade bifenyler (tot-PCB) i ytsedimenten (0–1 cm) på stationerna GÄV1 och GÄV2 i Göta älv. Klassning enligt Naturvårdsverkets bedömningsgrunder för kust och hav (Naturvårdsverket 2005).

The changes in concentration and Environmental Quality Criteria with respect to polychlorinated biphenyls (tot-PCB) in the surficial sediments (0–1 cm) at the sites GÄV1 and GÄV2 in the Göta Älv river. Classification according to Swedish Environmental Quality Criteria (Naturvårdsverket 2005).

Under samma period har halten ökat med 250 % på station GÄV2. Det senare hänger samman med den ovannämnda flytt av stationen som skett från en transportbotten till en depositionsbotten med bättre depositionsförhållanden. Det senare speglar således inte en förändring relaterad till emissionen av PCB.

Resultaten visar att förhållandena med avseende på PCB i Göta älvs estuarium förbättrats från en mycket starkt kontaminerad situation 1990 till en mindre förorenad situation 2000.

3.5.15 PLANA PCB SAMT FÖRÄNDRINGAR EFTER 1995

En speciell och mycket toxisk grupp av PCB utgör de s.k. plana PCB-erna, dvs. PCB-kongener med kloratomer i molekylens para- och meta-positioner. Dessa s.k. nonorto PCBer, omfattar i föreliggande studie kongenerna PCB-77, PCB-81, PCB-126 och PCB-169. Resultaten redovisas i tabell 3:13. I tabellen återges också ∑ plana PCB, toxisitetsekvivalenterna TE(WHO) enligt Ahlborg m.fl. (1994) samt i-TE(Safe) enligt Safe (1994).

Resultaten från undersökningsomgång 2000 visar att koncentrationen av plana PCB i ytsedimentet (0–1 cm) på station GÄV1 (96 ng/kg ts) är 1,5 gånger högre än på station GÄV2 uppströms Göteborg. Mellan 1995 och 2000 har halten på station GÄV1 sjunkit med 74 % (fig. 3:18). Förändringen är betydligt större än de minst 35 %, som baserat på blandningsfaktorn (se avsnitt 2.5, del 2 i denna samlingsvolym), krävs för att en förändring skall kunna detekteras vid ett femårigt provtagningsintervall. Resultaten visar i likhet med övriga PCB (se ovan) att emissionen minskat under 5-årsperioden.

I tabell 2:59 (denna samlingsvolym) redovisas de fåtal data som finns över plana PCB från Bohuskusten. Halterna på stationerna GÄV1 och GÄV2 ligger högre än för övriga Bohuskusten. Detsamma gäller toxicitetsekvivalenterna. Även dessa resultat står i överensstämmelse med Dave & Nilssons (1994) observationer i Göteborgs skärgårdsområde vad avser testad sedimenttoxicitet.

Tabell 3:13. Förekomsten av plana PCB jämte beräknade toxisitetsekvivalenter i ytsedimenten (0–1 cm) på station GÄV1 i Göta älv 1995 och 2000.

The concentration of nonortho PCB and the accounted toxic equivalents in the surficial sediments (0–1 cm) at site GÄV1in the Göta Älv river in 1995 and 2000.

Station	År	Eriksberg GÄV1 ng/kg	Nödinge GÄV2 ng/kg
33´44´-TeCB (PCB-77)	1995	340	-
	2000	71	61
344´5-TeCB (PCB-81)	1995	6.2	-
	2000	-	-
33´44´5 PeCB (PCB-126)	1995	25	-
	2000	15	<10
33´44´55´-HxCB (PCB-169)	1995	3,7	-
	2000	<10	<10
Summa nonorto PCB	1995	375	-
	2000	96	61
TE (WHO)	1995	2,72	-
	2000	1,54	0,03
i-TE (Safe)	1995	6,09	-
	2000	2,21	0,61

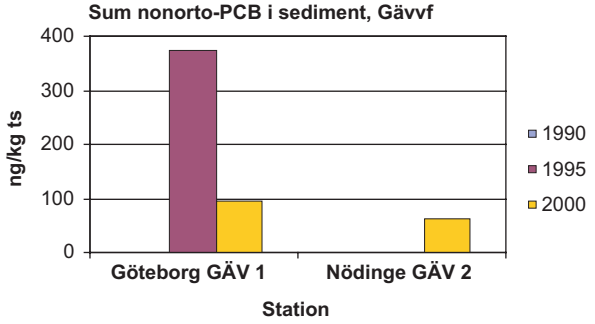


Fig. 3:18. Förändringen mellan 1995 och 2000 av plana polyklorerade bifenyler (∑4 nonorto-PCB) i ytsedimenten (0–1 cm) på stationerna GÄV1 och GÄV2 i Göta älv.

The change of polychlorinated nonorto biphenyls (∑4 nonorto-PCB) in the surficial sediments (0–1 cm) between 1995 and 2000 at the sites GÄV1 and GÄV2 in the Göta Älv river.

3.5.16 KLORBENSENER OCH KLORSTYREN SAMT FÖRÄNDRINGAR EFTER 1990

Analysresultaten från 2000 års undersökning avseende pentaklorbensen (pe-CB), hexaklorbensen (HCB) och oktaklorstyren (OCS) redovisas i tabell 3:14.

Pentaklorbensen

Koncentrationen av pentaklorbensen (pe-CB) varierade mellan 0,024 och 0,22 µg/kg ts. Det lägre värdet hänför sig till station GÄV2 uppströms Göteborg. Halterna motsvarar de som uppmätts inom andra områden av Bohuskusten (se tabell 2:50 i del 2, denna samlingsvolym). Norska klassificeringskriterier (Rygg & Thèlin 1993) saknas för pentaklorbensen, men i Konieczny & Juliussen (1995) föreslås gränsen <0,5 µg/kg för tillståndsklass I ("god"). Detta innebär att pentaklorbensenhalterna i Göta älv kan betraktas som låga. Svenska bedömningsgrunder för pe-CB saknas.

Tabell 3:14. Pentaklorbensen (pe-CB), hexaklorbensen (HCB) och oktaklorstyren (OCS), i ytsedimentet (0–1 cm) på stationerna GÄV1 och GÄV2 i Göta älv 1990 till 2000.

Pentachlorobenzene (pe-CB), hexachlorobenzene (HCB) and octachlorostyrene (OCS) between 1990 and 2000 in the surficial sediments (0–1 cm) at the sites GÄV1 and GÄV2 in the river Göta Älv river.

Station	Nr.	År	5CB µg/kg	HCB µg/kg	OCS µg/kg
Eriksberg	GÄV 1	1990	1,5	2,8	n.d.
		1995	0,3	1,8	<0,1
		2000	0,22	1,1	<0,01
Nödinge	GÄV 2	1990	0,4	0,1	n.d.
		1995	0,1	<0,1	<0,1
		2000	0,024	0,08	<0,01

n.d. = Ej påvisat. Not detected.

Motsvarande data vad avser pe-CB från ytsediment mellan Hvaler i Norge och Kosteröarna på svenska västkusten varierade mellan 0,1 och 0,5 µg/kg ts (Helland m.fl. 1990). Från övre delen av Löperen i Norge konstaterades pe-CB-halter i sedimenten på mellan 2 och 10 µg/kg ts (Naes 1983). Värden som får anses höga.

I jämförelse med 1990 års pentaklorbensenhalter är halterna betydligt lägre på båda stationerna 1995 och 2000. Halterna på station GÄV1 har sjunkit med 85 % sedan 1990 och med 27 % sedan 1995 (fig. 3:19). En förändring som är större än de minst 20 respektive 35 %, som baserat på blandningsfaktorn (se avsnitt 2.5, del 2 i denna samlingsvolym), krävs för att en förändring skall kunna detekteras vid ett tioårigt respektive femårigt provtagningsintervall.

I förhållande till den bakgrunden (0,02 µg/kg ts), hämtad från Färöarna, är halten på station GÄV1 hög, medan den är låg på station GÄV2 uppströms Göteborg.

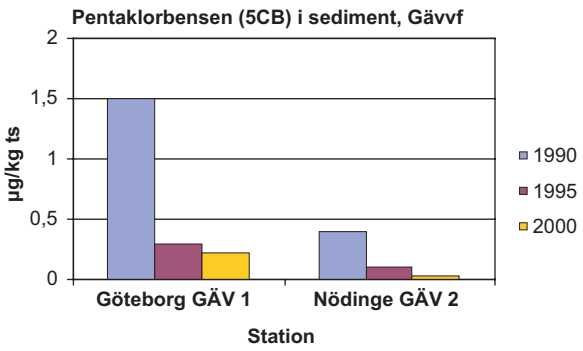


Fig. 3:19. Förändringen mellan 1990 och 2000 av pentaklorbensen (5-CB) i ytsedimenten (0–1 cm) på stationerna GÄV1 och GÄV2 i Göta älv.

The change of pentachlorobenzene (5-CB) in the surficial sediments between (0–1 cm) 1990 and 2000 at the sites GÄV1 and GÄV2 in the Göta Älv river

Hexaklorbensen

Koncentrationen av hexaklorbensen (HCB) varierade i ytsedimentet mellan 0,033 och 0,41 µg/kg ts (tabell 3:14). Det lägre värdet hänför sig till station GÄV2 uppströms Göteborg. Det senare värdet är i nivå med medelvärdet för Skagerrak och Kattegatt (tabell 2:51 i del 2, denna samlingsvolym).

Enligt svenska bedömningsgrunder för kust och hav (Naturvårdsverket 2005) faller stationerna GÄV1 i klass 5 (*mycket hög halt*) och station GÄV2 i klass 3 (*medelhög halt*). I förhållande till 1990 och 1995 har miljökvaliteten med avseende på HCB förbättrats (Fig. 3:20).

Från övre delen av Löperen i Norge konstaterades HCB-halter i sedimenten på mellan 2 och 10 µg/kg ts respektive 20 och 100 µg/kg ts (Naes 1983). Nordsjösedimenten innehåller mellan 0,001 och 0,26 µg/kg ts (Knickmeyer & Steinhart 1988). Något högre värden på mellan 0,002 och 3 µg/kg ts har dock rapporterats från södra Nordsjön (Lohse 1988). Koncentrationen av HCB i Elbe-estuariet varierade 1985 mellan 10 och 200 µg/kg ts (Sturm m.fl. 1986), medan t.ex. variationer på mellan 320 och 530 µg/kg ts redovisats från den kraftigt kontaminerade Frierfjorden i Norge (Bjerk & Brevik 1980). Från undersökningar i Stenungsundsområdet 1990 rapporterades halter på upp till 12 µg/kg ts (Cato 1992).

I jämförelse med 1990 och 1995 års hexaklorbensenhalter är halterna betydligt lägre på station GÄV1 år 2000. Halten har sjunkit med 39 % sedan 1995 och med 41 % sedan 1990 (fig. 3:20). En förändring som är betydligt större än de minst 20 respektive 35 %, som baserat på blandningsfaktorn (se avsnitt 2.5, del 2 i denna samlingsvolym), krävs för att en förändring skall kunna detekteras vid ett tioårigt respektive femårigt provtagningsintervall. Halten på station GÄV2 har minskat med 20 % sedan 1995.

Resultaten visar att en tydlig förbättring av sedimentstatusen skett i Göta älv. I förhållande till bakgrunden (0,02 µg/kg ts), hämtad från Färöarna, är dock halterna vid GÄV1 fortfarande fem gånger högre, medan ingen anrikning kan konstateras på station GÄV2 uppströms Göteborg.

Oktaklorstyren

Koncentrationen av oktaklorstyren (OCS) låg såväl 1995 som 2000 under detektionsgränsen (<0,01 µg/kg ts) på båda stationerna i Göta älv (tabell 3:14). Förhållandena är de samma utmed hela Bohuskusten såväl 1995 som 2000 (se tabell 2:65 i del 2 denna samlingsvolym). Bakgrunden uppmätt på Färöarna är 0,02 µg/kg.

3.5.17 HALOGENERADE ALIFATER (HALOFORMER) SAMT FÖRÄNDRINGAR EFTER 1995

Analysresultaten vad avser kloroform, tetraklormetan (koltetraklorid), trikloreten (trikloretylen) och tetrakloreten (tetrakloretylen) i ytsedimenten (0–1 cm) på stationerna GÄV1 och GÄV2 i Göta älv redovisas tillsammans med motsvarande data från 1995 i tabell 3:15.

Såväl kloroform som tetraklormetan påvisades på båda stationerna 1995 (fig. 3:23–3:24). Trikloreten däremot påvisades endast på station GÄV2 medan tetrakloreten inte kunde detekteras på någon av stationerna. Detektionsgränsen var då 0,05 µg/kg ts, dvs. 10 gånger lägre än vid undersökningarna 2000. Inga haloformer kunde därför påvisas vid undersökningarna 2000. Utvecklingstrenden är därför osäker

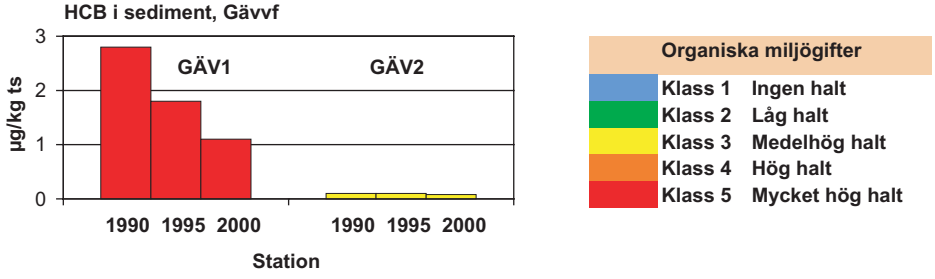


Fig. 3:20. Förändringar i halt och Miljökvaliteten med avseende på hexaklorbensen (HCB) i ytsedimenten (0–1 cm) på stationerna GÄV1 och GÄV2 i Göta älv. Klassning enligt Naturvårdsverkets bedömningsgrunder för kust och hav (Naturvårdsverket 2005).

Changes in concentration and Environmental Quality Criteria with respect to hexachlorobenzene (HCB) in the surficial sediments (0–1 cm) at the sites GÄV1 and GÄV2 in the Göta Älv river. Classification according to Swedish Environmental Quality Criteria (Naturvårdsverket 2005).

(markerad med ”?” i figurerna) eftersom det inte kan uteslutas att ämnena förekommer år 2000 i halter under 50 µg/kg ts.

Koncentrationen av tetraklormetan på station GÄV1 var 1995 den högsta som konstaterats utmed Bohuskusten (Cato 1997a).

Tabell 3:15. Alifatiska halogenföreningar i ytsediment (0–1 cm) från stationerna GÄV1 och GÄV2 i Göta älv 1995 och 2000.
Aliphatic halogen compounds in the surficial sediments (0–1 cm) of the sites GÄV1 and GÄV2 in the Göta Älv river in 1995 and 2000.

Station	Nr	År	Kloroform µg/kg	Tetraklor-metan µg/kg	Trikloreten µg/kg	Tetraklor-eten µg/kg
Eriksberg	GÄV 1	1995	0,1	1,3	-	-
		2000	<50	<50	<50	<50
Nödinge	GÄV 2	1995	0,3	0,3	0,02	-
		2000	<50	<50	<50	<50

- = Ej påvisat. Not detected.

3.5.18 MONOAROMATER SAMT FÖRÄNDRINGAR EFTER 1995

Analysresultaten år 2000 vad avser BTEX, dvs. bensen (B), toluen (T) och summan av etylbensen och xylener (EX) samt styren i ytsedimenten (0–1 cm) på de två stationerna GÄV1 och GÄV2 i Göta älv redovisas tillsammans med motsvarande data för 1995 i tabell 3:16 och figurerna 3:23–3:25. Endast toluen kunde detekteras år 2000 på station GÄV2 och ∑etylbenzen och xylener på station GÄV1. Styren kunde inte påvisas på någon station.

1995 kunde samtliga ämnen (utom styren) detekteras på station GÄV2.

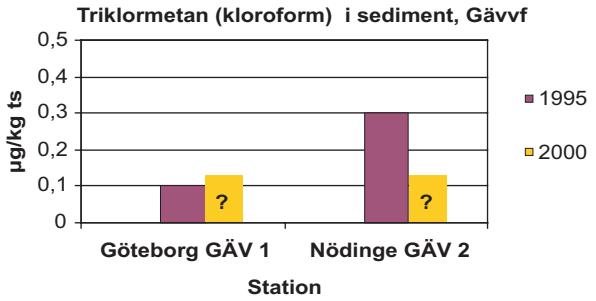


Fig. 3:21. Koncentrationen av kloroform i ytsedimenten (0–1 cm) på stationerna GÄV1 och GÄV2 i Göta älv 1995–2000. För förklaring se texten.

The concentrations of chloroforme in the surficial sediments (0–1 cm) of the sites GÄV1 and GÄV2 in the Göta Älv river in 1995–2000. For explanation, see the text.

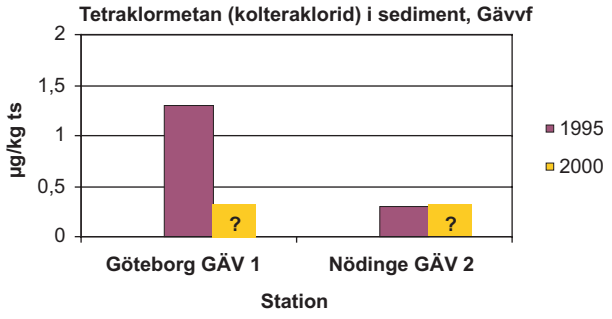


Fig. 3:22. Koncentrationen av tetraklormetan i ytsedimenten (0–1 cm) på stationerna GÄV1 och GÄV2 i Göta älv 1995–2000. För förklaring se texten.

The concentrations of tethrachloromethane in the surficial sediments (0–1 cm) of the sites GÄV1 and GÄV2 in the Göta Älv river in 1995–2000. For explanation, see the text.

I motsatts till alla andra ämnen som undersökts inom ramen för kontrollprogrammet 1995 uppvisade station GÄV2 de högsta halterna av BTEX. År 2000 var förhållandet detsamma för toluen, medan summan av etylbensen och xylener var högst på station GÄV1.

Utvecklingen mellan 1995 och 2000 visar med ett undantag på en stark minskning av halterna på station GÄV2. Halterna har där sjunkit med mellan 56 och 82 %. På station GÄV1 däremot har summan av etylbensen och xylener ökat med 28 %. Med undantag för det senare är förändringarna betydligt större än de minst 35 %, som baserat på blandningsfaktorn (se avsnitt 2.5, del 2 i denna samlingsvolym), krävs för att en förändring skall kunna detekteras vid ett femårigt provtagningsintervall.

I tabellerna 2:71–2:74 i del 2 (denna samlingsvolym) redovisas halterna av respektive BTEX i ytsedimenten från några andra områden utmed Bohuskusten. Vid en jämförelse framkommer att BTEX-halterna på

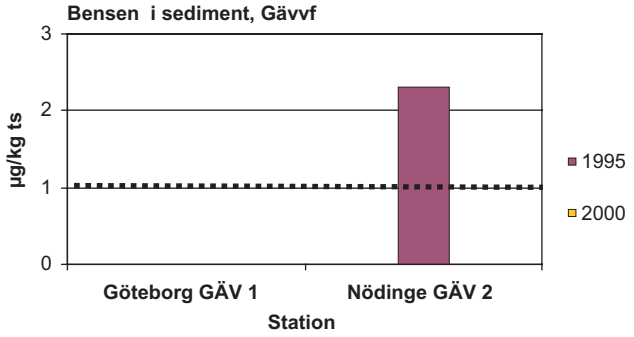


Fig. 3:23. Koncentrationen av bensen i ytsedimenten (0–1 cm) på stationerna GÄV1 och GÄV2 i Göta älv 1995–2000. Streckad linje = detektionsgräns.

The concentrations of benzene in the surficial sediments (0–1 cm) of the sites GÄV1 and GÄV2 in the Göta Älv river in 1995–2000. Hatched line = detection limit.

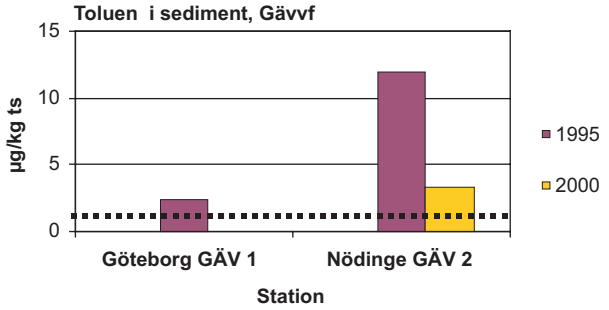


Fig. 3:24. Koncentrationen av toluen i ytsedimenten (0–1 cm) på stationerna GÄV1 och GÄV2 i Göta älv 1995–2000. Streckad linje = detektionsgräns.

The concentrations of toluene in the surficial sediments (0–1 cm) of the sites GÄV1 and GÄV2 in the Göta Älv river in 1995–2000. Hatched line = detection limit.

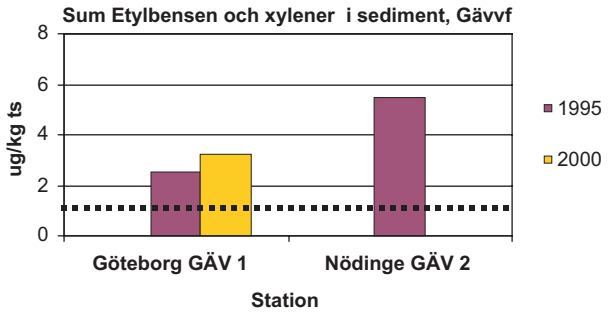


Fig. 3:25. Koncentrationen av ∑etylbenzen och xylener i ytsedimenten (0–1 cm) på stationerna GÄV1 och GÄV2 i Göta älv 1995–2000.

The concentrations of ∑etylbenzen och xylener in the surficial sediments (0–1 cm) of the sites GÄV1 and GÄV2 in the Göta Älv river in 1995–2000.

stationerna GÄV1 och GÄV2 i Göta älv ligger inom den undre delen av det intervall som konstaterades för Bohuskusten 2000. Svenska bedömningsgrunder för kust- och havssediment saknas för monoaromater.

Tabell 3:16. BTEX (bensen, toulen och summa etylbensen och xylener) i ytsediment (0–1 cm) från stationerna GÄV1 och GÄV2 i Göta älv 1995.

BTEX (benzene, toulene and the sum of ethylbenzene and xylenes) in 1995 in the surficial sediments (0–1 cm) at the sites GÄV1 and GÄV2 in the Göta Älv river.

Station	nr	År	Bensen µg/kg	Toluen µg/kg	∑etylbensen och xylener µg/kg	Styren µg/kg
Eriksberg	GÄV 1	1995	-	<2,4	2,5	-
		2000	<1	<1	3,2	<1
Nödinge	GÄV 2	1995	2,3	12,0	5,5	-
		2000	<1	3,3	<1	<1

3.5.19 POLYBROMERADE DIFENYLETRAR

Analysresultaten från 2000 års sedimentundersökningar avseende polybromerade difenyletrar (PBDE) på stationerna GÄV1 och GÄV2 i Göta älv redovisas i tabell 3:17 samt vad avser Deca-PBDE i figur 3:26. Av totalt 209 kongener analyserades åtta stycken. Av dessa kunde endast PBDE-47, PBDE-99 och DekaBDE detekteras på station GÄV1. Inga PBDE kunde detekteras på station GÄV2.

Vid 1995 års undersökningar kunde två typer av kongener påvisas på station GÄV2, dels 4Br-PBDE, dels 5Br-PBDE, dvs. molekyler med fyra respektive fem bromatomer. Analysmetodiken var inte kongenspecific 1995 varför en jämförelse mellan de två provtagningsomgångarna inte är möjlig. Svenska bedömningsgrunder för PBDE saknas.

I tabellerna 2:82 i del 2 (denna samlingsvolym) redovisas halterna av respektive PBDE i ytsedimenten från några andra områden utmed Bohuskusten. Vid en jämförelse framkommer att PBDE-halterna på stationerna GÄV1 och GÄV2 i Göta älv ligger inom det intervall som konstaterades för Bohuskusten 2000. Undantag utgör Deca-PBDE som ligger något högre. Svenska bedömningsgrunder för kust- och havssediment saknas polybromerade difenyletrar.

Tabell 3:17. Polybromerade difenyletrar (PBDE) i ytsediment (0–1 cm) på station GÄV1 och GÄV2 i Göta älv år 2000.

Polybromined diphenylethers (PBDE) in 2000 in the surficial sediments (0–1 cm) at the sites GÄV1 and GÄV2 in the Göta Älv river.

Ämne	År	Eriksberg GÄV1 µg/kg	Nödinge GÄV2 µg/kg
PBDE-47 (Tetra-)	2000	0,14	<0,1
PBDE-100 (Penta-)	2000	<0,1	<0,1
PBDE-99 (Penta-)	2000	0,16	<0,1
PBDE-85 (Penta-)	2000	<0,1	<0,1
PBDE-154 (Hexa-)	2000	<0,1	<0,1
PBDE-153 (Hexa-)	2000	<0,1	<0,1
PBDE-138 (Hexa-)	2000	<0,1	<0,1
DekaBDE-209	2000	2,2	<0,1

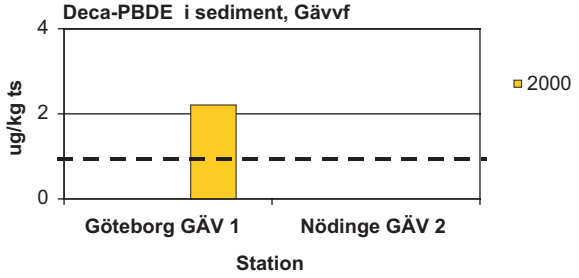


Fig. 3:26. Koncentrationen av Deca-PBDE i ytsedimenten (0–1 cm) på stationerna GÄV1 och GÄV2 i Göta älv 2000.

The concentrations of Deca-PBDE in the surficial sediments (0–1 cm) of the sites GÄV1 and GÄV2 in the Göta Älv river in 2000.

3.5.20 KLORFENOLER

Femton av nitton olika klorfenoler undersöktes år 2000 i ytsedimenten (0–1 cm) på stationerna GÄV1 och GÄV2. Resultaten presenteras i tabell 3:18. Endast bekämpningsmedlet pentaklorfenol kunde påvisas. På station GÄV1 var koncentrationen fem gånger högre än på station GÄV2 uppströms Göteborg (fig. 3:27). Resultaten tyder på att pentaklorfenol emitteras från Göteborg. Klorfenoler undersöktes inte vid 1995 års provtagningsomgång, varför inga utvecklingstrender kan anges.

Svenska bedömningsgrunder för klorfenoler i kust- och havssediment saknas. I tabellerna 2:88 i del 2 (denna samlingsvolym) redovisas halterna av S 15 klorfenoler i ytsedimenten från några andra områden utmed Bohuskusten. Vid en jämförelse framkommer att halterna av S 15 klorfenoler på stationerna GÄV1 och GÄV2 i Göta älv ligger inom det intervall som konstaterades för Bohuskusten 2000. Halterna är dock låga i jämförelse med t.ex. de värden som 1996/97 uppmättes i sedimentfällor utanför Mönsterås Bruk i Kalmarsund; pentaklorfenol: <0,01–688 µg/kg ts, S klorfenol: 6,3–709 µg/kg ts (Cato 1999).

Tabell 3:18. Klorfenoler i ytsediment (0–1 cm) på station GÄV1 och GÄV2 i Göta älv år 2000.
Chlorophenols in 2000 in the surficial sediments (0–1 cm) at the site GÄV1 and GÄV2 in the Göta Älv river.

Ämne	År	Eriksberg GÄV1 µg/kg	Nödinge GÄV2 µg/kg
2,4/2,5-Diklorfenol	2000	<1	<1
2,3-Diklorfenol	2000	<1	<1
2,6-Diklorfenol	2000	<1	<1
3,5-Diklorfenol	2000	<1	<1
3,4-Diklorfenol	2000	<1	<1
2,3,5-Triklorfenol	2000	<1	<1
2,4,6-Triklorfenol	2000	<1	<1
2,4,5-Triklorfenol	2000	<1	<1
2,3,4-Triklorfenol	2000	<1	<1
2,3,6-Triklorfenol	2000	<1	<1
2,4,5-Triklorfenol	2000	<1	<1
2,3,5,6-Tetraklorfenol	2000	<1	<1
2,3,4,5-Tetraklorfenol	2000	<1	<1
2,3,4,6-Tetraklorfenol	2000	<1	<1
Pentaklorfenol	2000	7,8	1,7
Summa klorfenoler	2000	7,8	1,7

3.6. Sammanfattning

Sedimenten i Göta älv har på uppdrag av Göta Älvs Vattenvårdsförbund undersökts med avseende på vissa fysiska och kemiska parametrar 2000. Ett 90-tal ämnen, tungmetaller, organiska miljögifter och näringsämnen har studerats på två stationer; den ena belägen i Göteborgs hamn och den andra uppströms Göteborg i höjd med Nödinge. Sveriges geologiska undersökning (SGU) har svarat för provinsamling och Alcontrol för analys av sedimentproven samt avrapportering av denna fas, medan SGU har svarat för utvärdering, trendanalys och slutlig avrapportering. Studien ingår som ett led i Göta älvs vattendragskontroll, omfattande bl.a. kontroll och bedömning av sedimentkvalitet vart femte år. Den föregående studierna genomfördes 1990 (Cato 1992) och 1995 (Cato 1997a).

2000 års undersökning har omfattat provtagning av bl.a. det översta sedimentskiktet (0–1 cm) vid eller i närheten av 1995 års stationer. Att provtagningen inte kunde ske på exakt samma plats i Göta älv vid Nödinge (station GÄV2) som 1995 berodde på att bottenförhållandena ändrats. En ny depositionsbotten fick därför uppsökas i närheten. Detta innebär att jämförelser med data från 1990 och 1995 inte är möjliga för station GÄV2 om en koncentrationsökning skett 2000 eftersom denna ökning kan vara en effekt av att sedimentet på den nya platsen har en högre organisk halt och därmed större bindningskapacitet för kemiska ämnen. Om halten år 2000 däremot är lägre än tidigare år så är trenden reell.

Under förutsättning att det översta sedimentskiktet till största delen utgörs av nysedimenterat material kan utvecklingen av miljökvaliteten i form av antropogent tillförda ämnen till Göta älv avläsas genom s.k. trendanalys. I nedan redovisade och sammanfattande trendanalys återges trenden för varje enskild para-

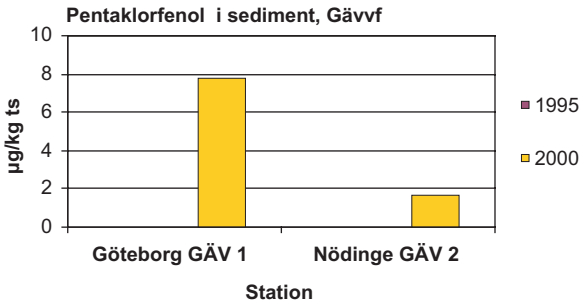


Fig. 3:27. Koncentrationen av pentaklorfenol i ytsedimenten (0–1 cm) på stationerna GÄV1 och GÄV2 i Göta älv 2000.
The concentrations of penta-chlorophenol in the surficial sediments (0–1 cm) of the sites GÄV1 and GÄV2 in the Göta Älv river in 2000.

meter, ämne eller förening på i första hand station GÄV1. Förhållandet mellan station GÄV1 och GÄV2 visar Göteborgs, dvs. den starkt urbaniserade miljöns påverkan på sedimentkvaliteten.

För att kunna bestämma belastningen av ett kemiskt ämne eller förening inom ett kustavsnitt eller en recipient måste i vissa fall hänsyn tas till effekten av den naturliga variationen av ämnet/föreningen som beror på variationer i halten organiskt material. Detta kan man göra genom den s.k. Gradientmetoden, där gradienten i sig utgör ett mått på belastningen. Detta förutsätter dock att ämnet/föreningen uppvisar en godtagbar och sannolik positiv korrelation (association) till sedimentens innehåll av totalt organiskt kol. Detta har inte kunnat avgöras enär två stationer utgör ett alltför magert statistiskt underlag.

Halten av ler och silt, dvs. kornstorleksfraktionerna <63 µm, har bestämts i syfte att bl.a. utreda sedimentationsmiljön på de undersökta stationerna. Tillsammans med vattenhaltsbestämningarna och radiografisk analys av sedimentet visar resultaten att station GÄV1 tillhör en potentiellt god sedimentationsmiljö medan station GÄV2 representerar sedimentationsförhållanden typiska för rinnande vattendrag. Ingen levande fauna observerades på någon av stationerna.

Den organiska kolhalten (TOC) i sedimenten ligger inom ett för Bohuskusten normalt intervall. Halten av organiskt kol och totalkol (TC) har ökat något (ej signifikant) på station GÄV1 sedan 1990, medan halten av oorganiskt kol (OOC, huvudsakligen karbonatkol) ökat med hela 130 % under samma period. Den senare ökningen är främst en följd av mängden skalfragment i sedimenten och har således inget med miljökvaliteten att göra.

Kvävet (TN) i sedimenten är till största delen organiskt bundet och uppvisar därför ett fördelningsmönster snarlikt det för totalt organisk kol. Kvävehalten i sedimentet på station GÄV 1 har minskat med 18 % sedan 1995 medan C/N-kvoten ökat med 16 %. I jämförelse med 1990 ligger dock kvävehalten fortfarande högre (23 %) och C/N-kvoten lägre (15 %) år 2000. Förändringen på station GÄV1 kan tyda på att den ökning inom området av andelen sedimenterat marint (kväverikt) detritus som noterades mellan 1990 och 1995 ersatts av en situation som mer domineras av terrestriskt organiskt material. Detta kan tyda på att den tidigare observerade allmänna eutrofieringen av kustområdet (som gynnat produktionen av marint organiskt material) inklusive Göta älvs estuarieområde kan ha minskat.

En motsvarande förändringar av C/N kvoten har även konstaterats utmed Bohuskusten mellan 1990 och 2000, i Brofjorden mellan 1972 och 2000, samt i Stenungsundsområdet mellan 1975 och 2000 (se del 2, 4 och 5 i denna samlingsvolym).

Sedimentens totalfosforhalt (tot P) i älven ligger i överkant av det intervall som uppmätts i andra recipienter utmed Bohuskusten. Fosforhalten har mellan 1990 och 2000 successivt ökat med närmare 180 % på station GÄV1, dvs. i Göta älvs estuarium. Koncentrationsökningen speglar sannolikt den ökade tillförseln av fosfor som skett till älven under perioden 1993/1995 och senare.

I figur 3:28 sammanfattas sedimentens miljökvalitet år 2000 på stationerna GÄV1 och GÄV2 vad avser de ämnen/föreningar där svenska bedömningsgrunder finns att tillgå (Naturvårdsverket 1999, 2005). Stationerna har med avseende på varje ämne placerats in i tillämplig tillståndsklass. Resultatet visar att med avseende på flera tungmetaller (främst As, Cd, Pb, Hg, Ni och Zn), organiskt kol (TOC), totalkväve (TN),

totalkolväten (THC), pentaklorbensen (pe-CB) och oktaklorstyren (OCS) har station GÄV2 en god status (klasserna 1–2). Med avseende på Cu, Cr, polycykliska aromatiska kolväten (PAH) och hexaklorbensen (HCB) är statusen mindre god (klass 3) och vad avser polyklorerade bifenyler (PCB) dålig (klass 4).

Station GÄV1 i Göta älv estuarium uppvisar endast en god status vad gäller As, Ni, TOC, TN, THC, pe-CB och OCS. Med avseende på Cd, Cu, Cr och Zn är statusen mindre god (klass 3) och med avseende på Hg, PAH, t.ex. det cancerogena benso(a)pyren), PCB och HCB är statusen dålig (klass 4) och mycket dålig vad avser PCB och HCB.

Halten av nonorto-PCB, dvs. plana PCB, är betydligt högre än vad som uppmätts utmed hela Bohuskusten, medan monoaromaterna, pentaklorfenol och polybromerade difenyletrar (PBDE) ligger i nivå med övriga kusten. Undantag utgör Deca-PBDE som ligger något högre. Inga andra klorfenoler kunde påvisas. Situationen vad gäller halogenerade alifater har inte kunnat bedömas till följd av för hög detektionsgräns vid analysen.

På station GÄV2, belägen uppströms Göteborg, är halterna genomgående betydligt lägre än i estuariet, vilket visar påverkan från tätorten Göteborg.

Utvecklingstrenden mellan 1990 och 2000, vad avser station GÄV1, illustreras översiktligt i figur 3:29. Pilarna visar om koncentrationen för respektive ämne ökat, minskat eller är oförändrat under perioden. Förändringar under 10 % är inte statistiskt signifikanta. Hänsyn måste också tas till sedimentens omblandningsfaktor. Denna avgör hur stor procentuell förändring som krävs för att en förändring med säkerhet skall kunna detekteras vid ett tioårigt respektive femårigt provtagningsintervall. Förändringar över 20 respektive 35 % kan i detta fall anses säkra vid ett tioårigt respektive femårigt provtagningsintervall. I de fall dessa krav är uppfyllda har förändringarna markerats med grönt i figur 3:29.

Resultatet från trendanalysen visade, med hänsyn taget till vad som krävs enligt omblandningsfaktorn, en moderat till starkt signifikant ökning mellan 1995 och 2000 av tot-P, och motsvarande minskning av halterna av Zn, THC, PCB, plana PCB och HCB. I ett tioårigt perspektiv (1990–2000) har halterna ökat vad gäller TN, tot-P, Ni, Sn och V, medan halterna för övriga ämnen (Pb, Cd, Hg, Zn, THC, PAH, PCB, pe-CB och HCB) sjunkit med mellan 20 och 90 % (fig. 3:29).

De flesta andra ämnen och föreningar uppvisade, med hänsyn taget till omblandningsfaktorn, ingen eller ingen statistiskt signifikant förändring under perioden. Någon trendanalys har inte varit möjlig att ge för station GÄV2 eftersom stationen flyttats till en ny plats 2000.

Göta älv År 2000 Ämne/förening	Klass 1 *Bakgrund* *Background*	Klass 2 *Låg halt* *Low cont.*	Klass 3 *Medelhög halt* *Medium cont.*	Klass 4 *Hög halt* *High cont.*	Klass 5 *Mycket hög halt* *Very high cont.*
Arsenik (As)	GÄV1 o. 2				
Bly (Pb)	GÄV2		GÄV1		
Kadmium (Cd)		GÄV2	GÄV1		
Koppar (Cu)			GÄV1 o. 2		
Krom (Cr)			GÄV1 o. 2		
Kvicksilver (Hg)		GÄV2		GÄV1	
Nickel (Ni)	GÄV1 o. 2				
Zink (Zn)		GÄV2	GÄV1		
Sum 11 PAH			GÄV2	GÄV1	
Sum 7PCB				GÄV2	GÄV1
Tot PCB			GÄV2		GÄV1
HCB			GÄV2		GÄV1
*TOC**	GÄV1 o. 2				
*TN**	GÄV1 o. 2				
*THC**		GÄV1 o. 2			
*pe-CB**	GÄV1 o. 2				
*OCS**	GÄV1 o. 2				
** enligt SFT*					

Fig. 3:28. Klassificering av miljökvaliteten i ytsedimenten (0–1 cm) år 2000 på sedimentstationerna GÄV1 och GÄV2 som ingår i Göta älvs kontrollprogram. Klassificering enligt svenska bedömningsgrunder (Naturvårdverket 1999, 2005) utom I fem fall (markerade med *) där norskt klassificeringsschema efter SFT (Rygg & Thèlin 1993, Konieczny & Juliussen 1995) använts.

*Classification of environmental sediment quality in the surficial sediment (0–1 cm) in 2000 at station GÄV1 and GÄV2 in the Göta älv. Monitoring Programme. Classification according to Swedish Environmental Quality Criteria (Naturvårdsverket 1999, 2005) except in three cases (marked with *) where the classification system after SFT in Norweig (Rygg & Thèlin 1993, Konieczny & Juliussen 1995) has been used.*

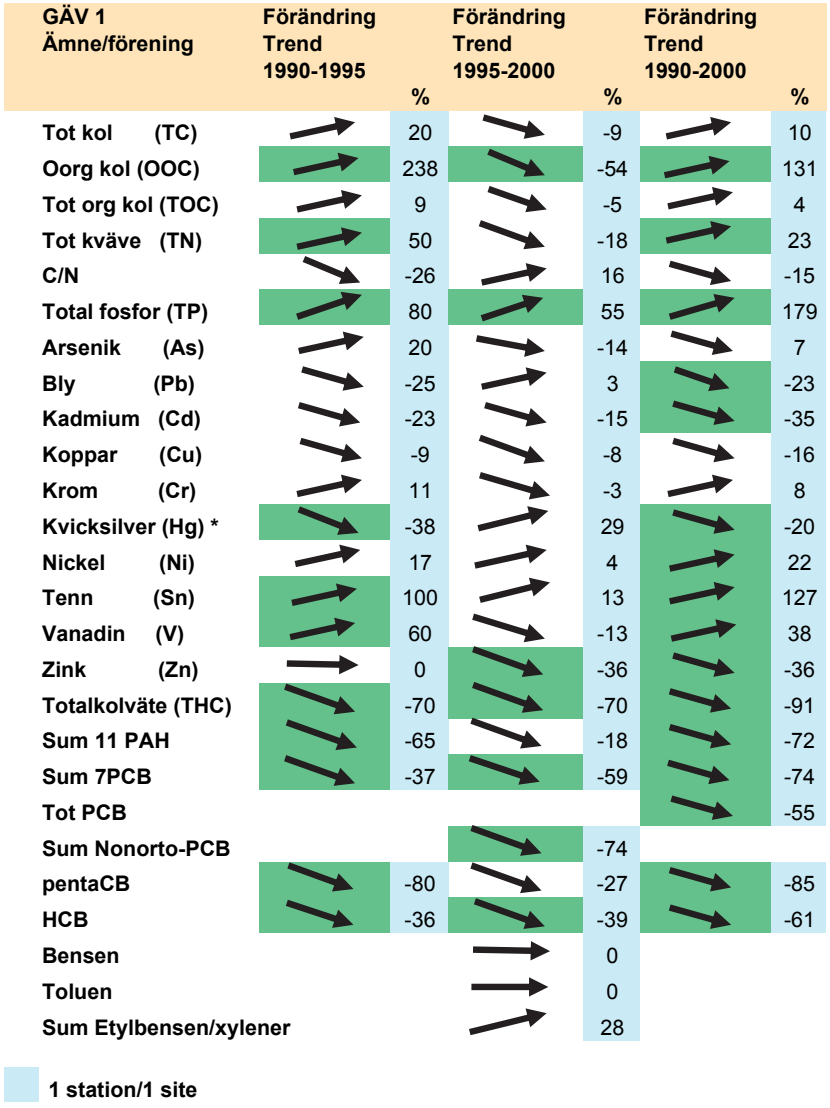


Fig. 3:29. Sammanställning över förändringen av koncentrationen för några ämnen och föreningar i ytsedimentet på station GÄV1 i Göta älvs estuarium mellan 1990 och 2000. Nedåtriktad pil betyde minskade halter och uppåtriktad pil ökande halter. Grönmarkerade fält markerar förändringar som är store än de minst 20 respektive 35 %, som baserat på sediments blandningsfaktor krävs för att en förändring med säkerhet skall kunna detekteras vid ett tioårigt respektive femårigt provtagningsintervall.

Compilation of the changes of the average concentrations of some elements and compound between 1990 and 1995 in the surficial sediments of the site GÄV1 in the Göta älv estuarium. Arrow pointed downwards implies decreasing concentration and arrow pointed upwards implies increasing concentration. Green areas mark changes bigger than the minimum of 20 and 35 % needed to detect changes with a high significance in a ten- and five years sampling interval respectively.

3.7. Summary

At the request of the Göta Älv Water Conservation Association, the bottom sediments of the Göta Älv river, were examined with regards to certain physical and chemical parameters in 2000. About 90 chemicals and compounds, heavy metals, organic micropollutants and nutritive substances were studied at two sites; one situated in the harbour of Göteborg and the other one upstream the Göteborg city in the vicinity of Nödinge. The Geological Survey of Sweden (SGU) was responsible for sampling procedures and Alcontrol for analyses of sediment samples and preliminar reporting, while SGU carried out the evaluation, trend analyses and final reporting. The study is part of the Water Monitoring Programme of the Göta Älv river, comprising i.a. control and evaluation of sediment quality every fifth year. The former study was carried out in 1990 (Cato 1992) and 1995 (Cato 1997a).

The investigations in 2000 comprised resampling of i.a. the superficial sediment layer (0–1 cm) at the sampling sites of 1990, 1995. That the sampling not could be carried out at the previously studied site at Nödinge in the Göta Älv river in 2000, was due to changed bottom conditions. Therefore, a new site with suitable conditions for sedimentation was found in the vicinity of the former site. This implies that comparison with data from 1990 and 1995 is not possible at site GÄV2 when an increase in the concentration is observed in 2000. This since the latter might be a consequence of the higher organic content and the higher capacity of the sediment at the new site to associate contaminants. On the other hand, if the concentration in 2000 is lower than previous years the decrease can be considered as real.

By assuming that the main part of the superficial layer consists of recently deposited sediments, the trend of the environmental quality expressed as the anthropogenic load of substances to the Göta Älv river, could be determined by trend analysis. In the trend analysis summarized below, only the trend of each parameter, element or compound at site GÄV1 is given. The conditions at the sites GÄV1 viz. GÄV2 show the influence from Göteborg on the sediment quality.

To be able to determine the load of a certain chemical or compound within a coastal area or recipient, consideration must, in some cases, be taken of the effect of the natuaral variation of the element/compound. This, in turn, depends on the variation of the concentration of organic matter. This can be done using the Gradient method, where the gradient itself expresses the degree of the anthropogenic load. However, this presupposes that the element/compound in question shows an acceptable and probable positive correlation (association) with the sedimentary organic carbon. In those cases where such a relationship exists within an area the load gradient can been determined. This has not been done in this study, since two sites do not give a sufficient statistical base.

The content of clay and silt, i.e. the fraction <63 µm was determined as i.a. the environment of sedimentation at each site has to be examined. Together with the water content determinations of the sediment and the radiographic analysis the results show that site GÄV1 was placed in a potentially good deposition environment, while site GÄV2 was found to represent sedimentation conditions typical for rivers. No living fauna was observed at the two sites.

The total organic carbon (TOC) content of the sediments falls within an interval that can be considered as normal for the Bohus coast. The contents of organic carbon and total carbon (TC) have increased somewhat (not significant) after 1990 at site GÄV1, while the content of inorganic carbon (OOC, mainly carbonate coal) increased with more than 130% during the same period. The latter increase is mainly a consequence of the amount of shell fragments in the sediment, and consequently has nothing to do with the sediment quality.

The majority of the nitrogen (TN) occuring in the sediments is organically bound and therefore displays a distribution pattern closely resembling that of total organic carbon. The nitrogen content in the sediment at site GÄV1 has decreased by 18% after 1995 while the C/N ratio has increased by 16%. In comparison with 1990 the nitrogen concentration still is higher (23%) and the C/N-ratio lower (15%). These changes at site GÄV1 may indicate that the increase in the amount of deposited marine detritrus (rich in nitrogen and poor in cellulose) observed between 1990 and 1995 within the area now has been replaced by a situation more dominated by terrestrial organic matter. This may imply that the previous generally observed eutrophication of the coast area (which favoured the production of marine organic matter) inclusive Göta älv estuary has decreased. Corresponding changes of the C/N ratio have been observed along the Bohus

coast between 1990 and 2000, in the Brofjorden between 1972 and 2000, and in the Stenungsund area between 1975 and 2000 (Parts 2, 4 and 5, this volume).

The sediments' content of total phosphorus (tot-P) in the river lies in the upper part of that interval typical of other recipients along the Bohus Coast. The phosphorus content has successively increased by 180% between 1990 and 2000 at site GÄV1, i.e. in the Göta Älv estuary. The increase probably mirrors the increased supply to the river in the period 1993–1995 and thereafter.

In Figure 3:28 the sediment quality at site GÄV1 is summarized with respect to each element/compound, when suitable Swedish limit values are available (Naturvårdsverket 1999, 2005). With respect to each element/compound the sites have been placed in the suitable class of anthropogenic impact. The results imply that, with respect to several heavy metals (mainly As, Cd, Pb, Hg, Ni and Zn), organic carbon (TOC), nitrogen (TN), total hydrocarbon (THC) pentachlorobenzene (pe-CB) and octachlorostyrene (OCS) site GÄV2 has a good status (classes 1–2). With respect to Cu, Cr, polycyclic-aromatic hydrocarbons (PAH) and hexachlorobenzene (HCB) the status is less good (class 3) and regarding polychlorinated biphenyls (PCB) bad (class 4).

Site GÄV1 in the Göta älv estuary only show a good status with respect to As, Ni, TOC, TN, THC, pe-CB och OCS. With respect to Cd, Cu, Cr och Zn the status is less good (class 3) and for Hg, PAH (e.g. the cancerogenic benso(a)pyrene), PCB and HCB the status is bad (class 4) and very bad with respect to PCB and HCB.

The content of nonortho PCB is markedly higher than the concentrations observed along the Bohus coast, while the monoaromatics, pentaclorophenol and polybominated diphenylethers are within the range of the coast. The only exception is Deca-PBDE where the concentration is somewhat higher. No other chlorophenols were detected. The situation of halogenated aliphates has not been able to evaluate as a consequence of the high detection limit used in the analysis.

At site GÄV2, situated upstream Göteborg, the concentrations in genaral are markedly lower than in the estuary, which show the influence of the Göteborg city.

The trend of the sediment quality status at site GÄV1 between 1990 and 2000 is summarized in Figure 3:29. The arrows show whether the concentration of each element or compound increased, decreased or is unchanged during the period. Changes less than 10% cannot be considered as statistical significant. However, consideration has also to be taken to the bioturbation factor. This determinates how strong change that is needed, with a high probability, to detect changes at a ten- and five-years interval of sampling respectively. In this case, changes of more than 20 and 35% respectively have to be considered. In those cases where this is fulfilled the changes has been marked with green colour in figure 3:29.

With respect to the bioturbation factor the results from the trend analysis demonstrated a moderate to strongly significant increase between 1995 and 2000 of tot-P, and a corresponding decrease of the concentrations of Zn, THC, PCB, nonortho-PCB and HCB. In a ten-year perspective (1990–2000) the concentrations of TN, tot-P, Ni, Sn och V have increased, while all other elements and substances (Pb, Cd, Hg, Zn, THC, PAH, PCB, pe-CB och HCB) have decreased by 20 to 90% (Fig. 3:29).

With respect to the bioturbation factor most other elements and compounds showed no, or not statistically significant, changes during the period. A trend analysis has not been possible to carry out at site GÄV2, since the site was moved to a new place in 2000.

3.8 Referenser

Alcontrol, 2004: *Bohuskustens vattenvårdsförbund 2001–2002. Resultat från undersökningar av sediment och biologiskt material.* Rapport Alcontrol Laboratories 2004, 361 s.

Axe, P., Andersson, L., Håkansson, B., Sahlsten, E. & Ingemansson, A., 2004: Sammanställning och utvärdering av hydrografiska mätningar längs Bohuskusten. *SMHI Rapport 2004-57*, 144 s.

Ahlborg, U.G., Hanberg, A. & Kenne, K., 1992: Risk assessment of polychlorinated biphenyls (PCBs). *NORD 1992:26*, Nordiska ministerrådet, 99 s.

Arnborg, L., Eriksson, E. & Kullenberg, B., 1968: *Geologi. I Göteborgs Vattenvårdsanläggningar: Undersökningar för havsutsläpp år 1966–1967*, 27–48.

Bjerk,J.E. & Brevik, E.M., 1980: Organochlorine compounds in aquatic environments. *Arch. Environ. Contam. Toxical. 9*, 743–750.

Cato, I., 1977: recent sedimentological and geochemical conditions and pollution problems in two marine areas in southwestern Sweden. *Striae 6*, 158 s.

Cato, I., 1986a: Sedimentens belastning av tungmetaller och närsalter i Göteborgs skärgård 1982, samt förändringar efter 1966. Göteborgs universitet, *Maringeologiska institutionen, Rapp. 2*, 95 s.

Cato, I., 1986b: Tungmetaller och petrogena (organiska) substanser i Stenungsundsområdets bottensediment 1985, samt förändringar efter 1975. *Naturvårdsverket Rapport 3152/Miljöutredningen för Stenungsund Rapport Nr 25*, 49 s.

Cato, I., 1990: Sedimentundersökningar i Brofjorden särskilt Trommekilen 1989, samt förändringar efter 1972 och 1984. *Sveriges geologiska undersökning Rapporter och meddelanden nr 64*, 75 s.

Cato, I., 1992: Sedimentundersökningar längs Bohuskusten 1990 – Göteborgs och Bohus läns kustvattenkontroll. *Sveriges geologiska undersökning Rapporter och meddelanden nr 74*, 97 s.

Cato, I., 1997a: Sedimentundersökningar i Göta Älv 1995 – Göta Älvs kontrollprogram, samt förändringar efter 1990. In Cato, I. (red.): Sedimentundersökningar längs Bohuskusten 1995 samt nuvarande trender i kustsedimentens miljökvalitet – en rapport från fem kontrollprogram. *Sveriges geologiska undersökning Rapporter och meddelanden nr 95*, 155–194.

Cato, I., 1997b: Contaminants in the Skagerrak and Kattegat sediments. *I* Cato, I. & Klingberg, F. (red.): The proceedings of the fourth Marine Geological Conference – the Baltic. Uppsala 1995. *Sveriges geologiska undersökning Ca 95,* 23–36.

Cato, I., Rindby, A. & Rudolfsson, J., 2000: Unik sedimentscanner utvecklad. *Geologiskt forum 25*, 13–15.

Clark, R.C. & Brown, D.W., 1977: *Petroleum: Properties and Analyses in Biotic and Abiotic Systems. In: Effects of Petroleum on Arctic and Subartic Marine Environments and Organisms. Vol I.* Red.: D.C. Malins, Academic Press, 1977.

Dave, G. & Nilsson, E., 1994: Sediment toxicity in the Kattegat and Skagerrak. *Journal Aquat. Ecosystem Health 3*, 193-206.

De Voogt, P. & Brinkman, U.A.T., 1989: Production, properties and usage of polychlorinated biphenyls. *I* Kimbrough, R. &Jensen, S. (red.): *Halogenated biphenyls, terphenyls, naphtalenes, dibenzodioxines and related products.* Elsevier Sci. Publ. B.V.

Ekman, S., 1911: Neue Apparate zur qualitativen und quantitativen Erforschung der Bodenfauna der Seen. *Int. Rev. Ges. Hydrobiol. Hydrogr. 3,* 553–564.

Farrington, J.W., 1980: An Overview of the Biogeochemistry of Fossil Fuel Hydrocarbons in the Marine Environment. In: Petrakis & F.T. Weiss (red.) *Petroleum in the Marine Environment*. American Chemical Society.

Göta Älvs Vattenvårdsförbund, 1996: *Rapport avseende vattendragskontroll 1995*, 1–114.

Göta Älvs Vattenvårdsförbund, 1997: *Rapport avseende vattendragskontroll 1995*, 10117.

Helland, A., Brevik, E.M. & Godal, A., 1996: Sedimentudersøkelser i Göteborgs og Bohus läns kystvann 1995. *NIVA Rapport LNR 3499-96,* 66 s.

Håkanson,L., Jonsson,B., Jonsson,P. & Martinsen,K., 1988: Påverkansområden för klorerat organiskt material fråm massablekerier. *SNV Rapport 3522*, 165 s.

Jonasson, A. & Olausson, E., 1966: New devices for sedimentsampling. *Mar. Geol. 4*, 365–372.

Knickmeyer,R. & Steinhart,H., 1988: The distribution of cyclic organochlorines in North Sea sediments. *Dt. Hydrogr. Z., 41*, 1–21.

Konieczny, R.M., 1994: Miljøgiftundersøkelser i Indre Oslofjord. Delrapport 4. Miljøgifter i sedimenter. *NIVA Rapport TA nr 1074/1994,* 124 s.

Konieczny, R.M. & Juliussen, A., 1995: Sonderende undersøkelser i Norske havner og utvalgte kystområder. Fase 1. Miljøgifter i sedimenter på strekningen Narvik Kragerø. *NIVA-Rapport 587/94.* 185 s.

Konitzer,K., (in prep): *Benthic foraminifera and geochemistry reflecting environmental conditions of a cored late Holocene sequence from Gullmarsfjorden, Western Sweden.* B.Sc Thesis Dep of Paleontology. Univ of Uppsala.

Lohse, J., 1988: Ocean incineration of toxic wastes: a footprint in North Sea Sediments. *Mar. Pollut. Bull. 19*, 366–371.

Naturvårdsverket 1999: Bedömningsgrunder för miljökvalitet i Kust och hav. *Naturvårdsverket Rapport 4914*, 134 s.

Naturvårdsverket 2005: ://www.naturvardsverket.se/index.php3?main=/dokument/fororen/orggift/organisk.html.

Niemistö, L., 1974: A gravity corer for studies of soft sediments. *Havsforskningsinst., Skr. Helsinki 238*, 33–38.

Rudling, L., 1976: Oil Pollution in the Baltic Sea. Statens Naturvårdsverk. *SNV PM 783*, 1–80.

Rygg, B. & Thélin, I., 1993: Klassificering av miiljøkvalitet i fjordar og kystfarvann. Kortversion. *SFT-veiledning nr 93:02*, 20 s.

Sturm,R., Knauth,H.D., Reinhardt, K.H. & Grandrass,J., 1986: Chlorkohlen Wasserstoff-Verteilung in Sediment und Scwebstoffen der Elbe. *Wasser 67*, 23–38.

Sundborg, Å., & Norrman, J., 1963: Göta Älv. Hydrologi och morfologi med särskild hänsyn till erosionsprocesserna. *Sveriges geologiska undersökning Ca 43*, 88 s.

Del 4

Föroreningar och miljökvalitet i Stenungsundsområdets sediment 2000, samt förändringar under de senaste 25 åren

Contaminants and environmental quality of the sediments in the Stenungsund area in 2000 and changes during the last 25 years

Innehållsförteckning

Abstact ... 187
4.1 Inledning ... 187
4.2 Undersökningsområde ... 188
4.3 Metodik ... 190
4.4 Analyser ... 196
4.5 Resultat ... 196
4.5.1 Kornstorlek samt förändringar efter 1995 ... 197
4.5.2 Sedimenttyper, sedimentens färg och grad av bioturbering ... 200
4.5.3 Vattenhalt samt förändringar efter 1975 ... 200
4.5.4 Totalkol och oorganiskt kol samt förändringar efter 1985 ... 203
4.5.5 Organiskt kol samt förändringar efter 1975 ... 205
4.5.6 Totalkväve samt förändringar efter 1975 ... 206
4.5.7 Kol-kvävekvoten (C/N) och dess förändringar efter 1975 ... 209
4.5.8 Totalfosfor samt förändringar efter 1995 ... 210
4.5.9 Tungmetaller samt förändringar efter 1972 ... 211
4.5.9.1 Arsenik ... 211
4.5.9.2 Kadmium ... 214
4.5.9.3 Krom ... 217
4.5.9.4 Koppar ... 219
4.5.9.5 Kvicksilver ... 220
4.5.9.6 Mangan ... 222
4.5.9.7 Nickel ... 222
4.5.9.8 Bly ... 225
4.5.9.9 Tenn ... 226
4.5.9.10 Vanadin ... 228
4.5.9.11 Zink ... 229
4.5.10 Sammanfattning av metallernas areella fördelningsmönster ... 231
4.5.11 Tungmetallbelastningen och dess förändring i Stenungsundsområdet 1975–2000 ... 231
4.5.12 Anrikningsfaktorer och lokala bakgrundsdata för tungmetaller ... 236
4.5.13 Totalkolväten samt förändringar efter 1995 ... 237
4.5.14 Polycykliska aromatiska kolväten samt förändringar efter 1995 ... 238
4.5.15 Metylnaftalener ... 244
4.5.16 Polyklorerade bifenyler samt förändringar efter 1994 ... 245
4.5.17 Plana PCB ... 249
4.5.18 Klorbensener och klorstyrener samt förändringar efter 1994 ... 251
4.5.19 Halogenerade alifater (haloformer) samt förändringar efter 1995 ... 257
4.5.20 Monoaromater samt förändringar efter 1995 ... 257
4.5.21 Polybromerade difenyletrar ... 261
4.6 Sammanfattning ... 263
4.7 Summary ... 267
4.8 Referenser ... 270

Abstract

Surface sediment samples collected from 14 sites in the Stenungsund area, south-western Sweden, were analysed for total carbon (TC), inorganic carbon, organic carbon (TOC), total nitrogen (TN), total phosphorous (tot P), heavy metals (As, Cd, Cr, Cu, Hg, Mn, Ni, Pb, Sn, V, Zn), total hydrocarbons (THC), polycyclic aromatic hydrocarbons (∑16 PAH), methylnaphtalenes, polychlorinated biphenyls (∑7 PCB), chlorobenzenes (pe-CB, HCB), octachlorostyrene (OCS), aliphatic halogen compounds (haloforms), monoaromatic compounds (BTEX) and brominated diphenyl ethers (PBDE), with simultaneously determinations of grain-size distribution and water content. The main purposes were: 1) to describe the present status of the area in 2000, 2) to identify the changes that have taken place between 1975, 1981, 1985, 1995 and 2000 respectively, and 3) try to clarify the changes that have taken place as a consequence of human activities and/or natural processes. The results imply that most sites in the Stenungsund area are markedly to very strongly contaminated (classes 3–5) with respect to hexachlorobenzene (HCB), markedly to strongly contaminated (classes 3–4) with respect to polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH) and markedly contaminated (class 3) with respect to polychlorinated biphenyls (PCB). The latter is also valid for cadmium (Cd) at one station close to Stenungsund. For most other metals (As, Pb, Cu, Cr, Hg, Ni and Zn), total organic carbon (TOC), total nitrogen (TN) total hydrocarbons (THC), pentachlorobenzene (pe-CB) and octachlorostyrene (OCS) the environmetal quality can be considered as good to very good (classes 1–2). In all cases the environmental quality has improved since 1995 and previously carried out investigations.

The result from the trend analysis demonstrated a strong significant decrease of Pb, Cu, Hg, and Zn in the superficial sediment (0–1 cm) since 1975, and of Cd, inorganic- and organic carbon since 1981/85. Only V shows a significant increase during the same period. Most other metals have changes less than the bioturbation factor 20% and therefore they have to be considered as uncertain in a ten-year retro-perspective. During the last five-years period (1995–2000) has with very high probability Hg, Zn, THC, ∑ 7 PCB, tot-PCB, octachlorostyrene, BTEX and inorganic carbon decreased more than what is needed according to the bioturbation factor in order to detect changes in a five-years period. This is also valid to the strong increase of phosphorous during the same period. For most other metals and compounds the changes are less than the factor mentioned and thereby uncertain. With exception to Cd and the C/N-ratio these show a decreasing trend.

4.1 Inledning

Den petrokemiska industrin i Sverige är till betydande del koncentrerad till Stenungsundsområdet. Här finns industrianläggningar tillhörande Aga Gas AB, Akzo Nobel Surface Chemistry AB (f.d. Modo Kemi AB, Berol Kemi AB samt Berol Nobel AB), Borealis AB (f.d. Esso Chemical AB, Statoil Petrokemi AB och Borealis Petrokemi AB, samt f.d. Neste Polyeten AB och Unifos Kemi AB), Hydro Polymers AB (f.d. Kema Nord AB), Neste Oxo AB (f.d. Beroxo AB), Vattenfall Generation Service (oljeeldat kondenskraftverk) samt det kommunala reningsverket, vilka samtliga genom utsläpp till luft och vatten kan påverka omgivningen. På uppdrag av regeringen genomförde därför Naturvårdsverket i samarbete med länsstyrelsen i tidigare Göteborgs och Bohus län (numera Västra Götaland) och Stenungsunds kommun under 1980-talet en tidsbegränsad utredning av miljön i området: ”Miljöutredningen för Stenungsund (MUST)”. Utredningsprogrammet omfattade utsläppskontroll, omgivningskontroll, hälsoeffekter och tekniska åtgärder.

Föreliggande sedimentstudie (2000 års undersökningar) är en uppföljning av 1995 års undersökningar (Cato 1997a) och ingår som en del i det nya miljöövervakningsprogrammet för länet. Programmet samordnas av Bohuskustens vattenvårdsförbund (Bvvf). Innan programmets tillkomst genomfördes inom ramen för MUST en sedimentstudie 1985 (rapport, se Cato 1986 a) och dessförinnan genomförde Naturvårdsverket sedimentundersökningar i Stenungsundsområdet vid tre tillfällen: 1972, 1975 och 1981 (se Hasselroth 1972,

Edgren 1975, Gustavsson 1982). Stationsnätet har varit detsamma ända sedan 1972, men antalet undersökta stationer har reducerats genom åren från 46 stationer 1972 till 14 stationer 2000. Där utöver har Bohuskustens vattenvårdsförbund tagit över en station (G2), som numera ingår i nämnda förbunds kustvattenkontroll som startade 1990 (se del 2, denna samlingsvolym).

I föreliggande undersökning görs jämförelser med resultaten från dessa tidigare undersökningar. Jämförelsen och beräkningarna begränsas i första hand till de 14 stationer som ingått i 2000 års undersökningar.

4.2 Undersökningsområde

Undersökningsområdet omfattar norra delen av Hakefjorden, Askeröfjorden och Halsefjorden, belägna mellan fastlandet och öarna Orust och Tjörn (se fig. 4:1 och 4:2). Den totala arealen för undersökningsområdet uppgår till ca 75 km². Den petrokemiska industrin är koncentrerad till Stenugsund, vilken är belägen centralt i området ca 40 km norr om Göteborg.

Området karakteriseras av en oregelbunden, mestadels småkuperad berggrundsmorfologi. Berggrunden domineras av ådergnejs. Fjordområdet och de lägre liggande delarna av fastlandet täcks vanligen av mer eller mindre mäktiga klastiska sedimentavlagringar avsatta efter inlandsisens avsmältning från området för drygt 12 000 år sedan.

Vattenområdet har en mycket komplex men generellt sett god vattenomsättning med ett vattenutbyte på mellan 2–3 dygn (Mortensen & Hedegaard 1985, Axe m.fl. 2004). Bottenvattnet har en salthalt på i medeltal 30 ‰ medan salthalten över språngskiktet varierar runt 23 ‰.

I Stenungsund har ett stort antal industrier och producenter etablerats sedan slutet av 1950-talet och början av 1960-talet. Bland annat återfinns världens största bergförlagda kondenskraftverk där. Det togs i drift 1959 och fungerar som en produktionsförsäkring vid bortfall eller störning på andra elproduktionsenheter eller vid höga effekttoppar. Kraftverket eldas med olja. Utsläppen av kväveoxider och svavel har kraftigt begränsats under åren genom effektiv emissionsrening.

Andra exempel är Aga Gas AB, som är en av världens största producenter av gaser för industriell och medicinsk användning. Vid företagets luftseparationsanläggning i Stenungsund framställs kväve (nitrogen), syre (oxygen) och argon. En del av gasen levereras via pipelines till andra industrier i Stenungsund.

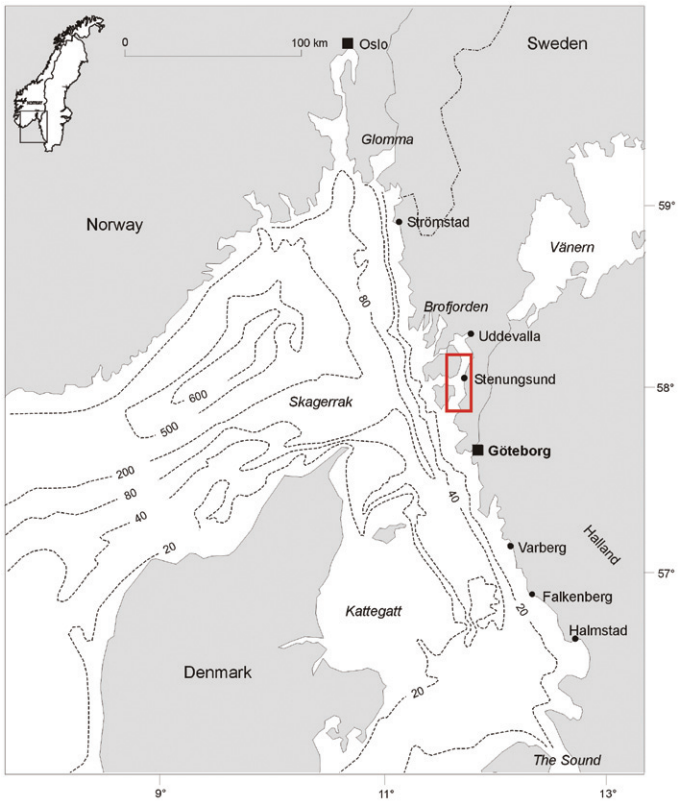


Fig. 4:1. Översiktskart över Skagerrak och Kattegatt med undersökningsområdet markerat (Stenungsundsområdet).

Outline map of the Skagerrak and Kattegat showing the location of the investigated area (the Stenungsund area).

Bland den kemiska industrin återfinns sedan 1963 Akzo Nobel Surface Chemistry AB, som bland ca 350 producerade produkter huvudsakligen tillverkar cellulosaderivat, fettaminer, fettsyror och tensider vilka ingår som aktiva substanser i tvätt- och rengöringsmedel. Den årliga produktionen uppgår till ca 175 000 ton. Därutöver produceras utgångsprodukter som etenoxid (ca 75 000 ton/år) och etylenglykol (ca 10 000 ton/år). Biproducerad koldioxid levereras i pipelines till Aga Gas AB för kolsyretillverkning.

Sedan början av 1960-talet har Borealis AB en krackeranläggning och en polyetenanläggning i Stenungsund. Vid den förra sönderdelas nafta och propan i heta krackerugnar till bl.a. gaserna eten och propen. Dessa transporteras i pipelines till de andra petrokemianläggningarna i Stenungsund där de vidareförädlas. Borealis polyetenanläggning är en av mottagarna. Där polymeriseras etenmolekyler till polyeten som är den i särklass vanligaste plasten.

Hydro Polymers AB, ingående i koncernen Norsk Hydro ASA, tillverkar plaströvaran polyvinylklorid (PVC) av natriumsalt och eten. 2003 uppgick produktionen av PVC till knappt 200 000 ton. Därutöver förser företaget svensk skogsindustri med natronlut (ca 130 000 ton/år) samt producerar klor, saltsyra, vätgas och dikloretan. Företaget startade 1967.

Neste Oxo AB är det yngsta av företagen som ingår i Stenungsundsindustrierna. Det startade i slutet på 1970-talet. PVC-plasten (som bla Hydro Polymers AB tillverkar) kan inte formas till mjuka produkter utan den mjukgörare som Neste Oxo tillverkar. Exempel på sådana mjuka produkter kan vara blodpåsar, dialysslangar, mattor, vinyltapeter, regnkläder, presenningar etc. Neste Oxo tillverkar även kemikalier till färg- och lackindustrin, bl.a. kemikalier som gör vattenbaserad färg mer lättstruken.

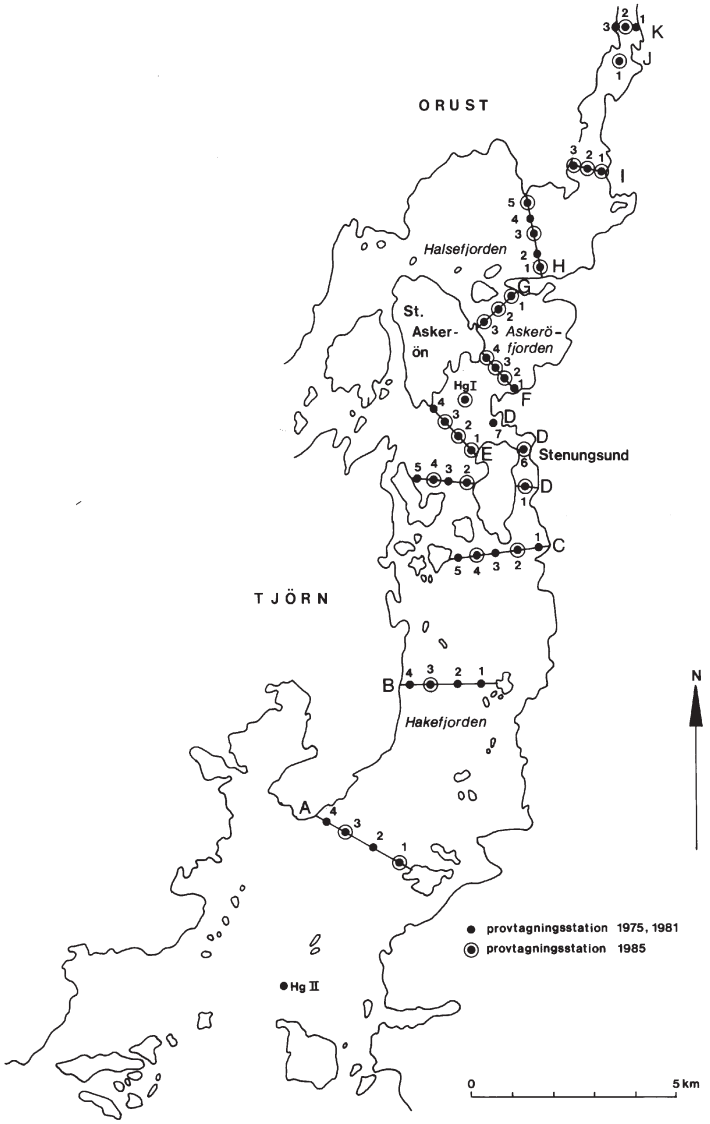


Fig. 4:2. Samtliga sedimentprovtagningsstationer inom ramen för MUST i Stenungsundsområdet.

All sediment sampling- sites within the framework of MUST in the Stenungsun area.

4.3 Metodik

Kartan i figur 4:2 utvisar samtliga provtagningsstationer inom undersökningsområdet. Med undantag för station J har samtliga dessa stationer tidigare provtagits vid Naturvårdsverkets undersökningar 1972, 1975 och 1981 (Hasselroth 1972, Edgren 1975, Gustavsson 1982). Vid 1985 års undersökningar återbesöktes 25 av de totalt 42 ytprovtagningsstationerna samt ytterligare en station J, eftersom stationerna i linje I konstaterades utgöra mindre lämpliga depositionsmiljöer (Cato 1986 a). Vid 1995 års sedimentundersökning (Helland m.fl. 1996, Cato 1997a) omfattade programmet 17 av områdets ursprungligt etablerade 43 stationer.

Vid 2000 års sedimentundersökning hade antalet återbesökta stationer reducerats till 14 (fig. 4:3). Positionsuppgifter baserat på positionssystem DGPS (Differential Global Positioning System) och vattendjup baserat på ekolodsdata redovisas i tabell 4:1. Vattendjupen för respektive station skiljer sig åt i fyra fall (B3, H3, I2 och K2) mellan undersökningsåren 1985 och 1995/2000 (tabell 4:1). Detta beror dels på att station K2 flyttats något i syfte att erhålla en optimal sedimentationsbotten som provtagningsplats, dels på att det för några stationer tidigare angivna djupet inte kunde återfinnas på provtagningsplatsen. Det senare är främst ett resultat av bristande noggrannhet i använda positioneringssystem (enslinjer och DECCA) före 1995. Genom införandet av DGPS-positionering vid 1995 års undersökningar har berörda positioneringsproblem eliminerats. Inga skillnader föreligger i positioner mellan 1995 och 2000, utom i två fall där stationerna C2 och D1 flyttats något till följd av förändrade bottenförhållanden.

Tabell 4:1. DGPS-positioner (WGS 84) och vattendjup för 2000 års provtagningsstationer. Motsvarande stationsnummer och vattendjupet redovisas från 1985 och 1995 års undersökningar. * Station G2 ingår i Bohuskustens vattenvårdsförbunds kontrollprogram.

*DGPS-positions (WGS 84) and water depth of the sampling sites in 2000. The corresponding site number and water depth of the 1985 and 1995 years investigations are also presented. * Site G2 is part of the monitoring programme of the Conservation Asocciation of the Bohus Coast.*

Station	Lat N	Long E	Provnr SGU	Djup (m) 2000	Djup (m) 1995	Djup (m) 1985
A3	57°59,314' N	11°44,662' E	07b-0077	15	15	14
B3	58°01,451' N	11°47,063' E	07b-0076	30	30	16
C2	58°03,138' N	11°48,191' E	07b-0072	9	9	9
D1	58°04,008' N	11°48,769' E	07b-0071	8	8	8
D7	58°04,886' N	11°48,187' E	07b-0070	8	-	-
E1	58°04,513' N	11°47,634' E	07b-0069	15	15	15
E2	58°04,586' N	11°47,379' E	07b-0068	21	21	21
E3	58°04,713' N	11°46,982' E	07b-0067	15	15	15
F2	58°05,313' N	11°48,458' E	07b-0065	12	12	12
F4	58°05,580' N	11°47,924' E	07b-0064 07b-0066	20	20	20
G1	58°06,167' N	11°48,219' E	07b-0061	22	22	22
G2*	58°06,139' N	11°48,117' E	07b-0062	25	25	25
H3	58°06,930' N	11°48,813' E	08b-0035	22	22	13
I2	58°07,747' N	11°49,849' E	08b-0034	26	26	43
K2	58°09,721' N	11°51,315' E	08b-0033	30	30	43

Genom att 2000 års provtagningar kunde genomföras av SGU och från SGUs specialutrustade undersökningsfartyg S/V Ocean Surveyor har således stationernas lämplighet för miljöövervakning varit möjliga att undersöka och värdera med hjälp av hydroakustiska metoder och röntgenteknik. Vid behov har, som framgått av ovan, stationernas läge justerats till en mer lämplig sedimentationsbotten. I figurerna 4:4–4:11 redovisas de side-scan sonarmätningar som utförts på samtliga stationer utom på stationerna D7 och E2 där enbart sedimentekolodsprofilen redovisas. Mätningarna har utförts i samband med den maringeologiska kartläggning som SGU bedrivit mellan Göteborg och Kungshamn 1999–2000.

Side-scan sonarmätningarna genomfördes i syfte att dokumentera utbredningen i bottenytan av olika sedimenttyper, uppstickande berggrund samt eventuell förekomst av föremål (t.ex. rörledningar och kablar). För mätningarna nyttjades en side-scan sonar av Chirp-typ, Datasonics SIS 1000 med TritonElics-ISISA lagrings- och processeringssystem. Insamlade rådata har lagrats digitalt i format SEG-Y. Sonarbilderna har slant-rangekorrigerats och geo-rektifierats till sonarbilder i geo-tif-format med pixelstorlek motsvarande 1 × 1 meter i verkligheten.

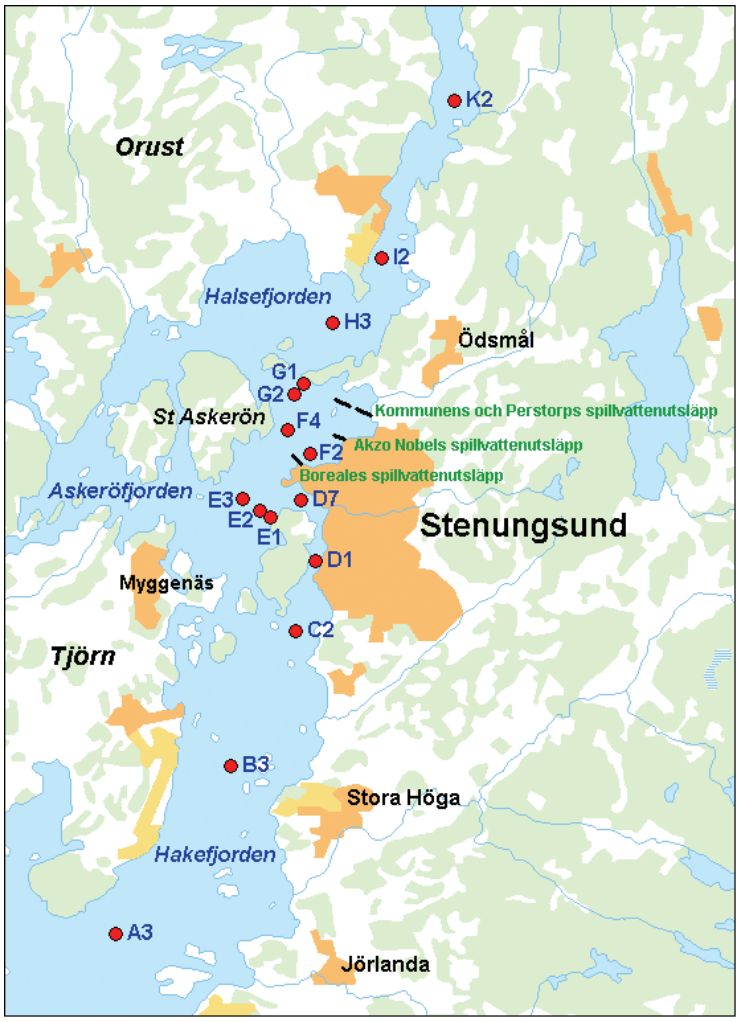


Fig. 4:3. 2000 års provtagningsstationer i Stenungsundsområdet.

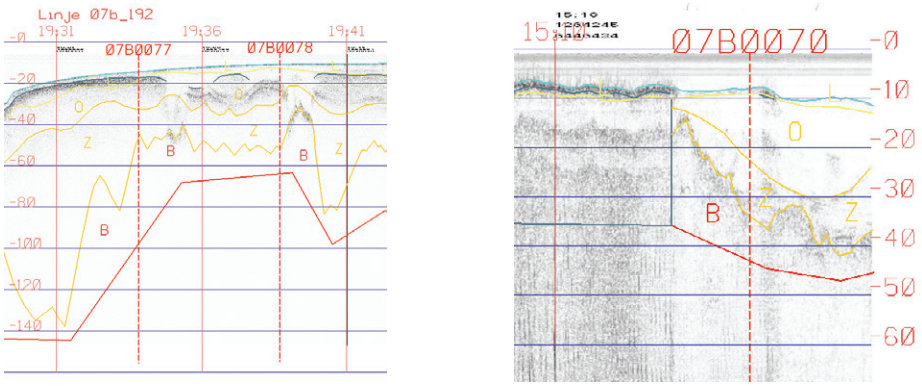
Sediment sampling-sites used in the investigation of the Stenungsund area in 2000.

För information om de övre sedimentlagren användes också ett skrovfast sedimentekolod av typ Edo Western HiPac (3,5/7 kHz) och för information om de djupare ned liggande sedimentlagren användes en tryckluftsdriven ljudsändare av typ ”sleevgun” (10 kubiktum) som producerar en kraftig och förhållandevis lågfrekvent puls. Som mottagare nyttjades en 6-kanals linjehydrofon (Teledyne) kopplad till en TritonElics-Delph Seismic registrerings/processeringsenhet. Rådata lagrades digitalt i formatet SEG-Y. I figurerna 4:4, 4:6 och 4:8 visas exempel på denna metodik. Sedimenekolodsprofilen ligger i bilderna som bakgrund till de sedimentlager som uttolkats med hjälp av de båda metoderna.

Sedimentekolodprofilerna visar att berggrunden överlagras av två typer av glacial lera (markerade med Z och O) som i sin tur överlagras av postglacial lera (markerat med L). Den recenta (nutida avsatta) leran återfinns inom vissa avsnitt av den postglaciala leran (t.ex. vid provtagningsplatserna) där bottenytan är jämnt grå i side scan sonarbilderna.

Provtagning och röntgenanalys

2000 års ytsedimentprover (0–1 cm) insamlades, i likhet med 1995 års undersökningar, med hjälp av en box-corer (Jonasson & Olausson 1966) och sedimentkärnor med hjälp av en Gemini-corer (Niemistö 1974). Ytproverna (0–1 cm) nyttjades för kemiska analyser medan sedimentkärnorna snittade i 1-cm skivor ned till 30 cm djup för isotopanalyser (station F4). Provtagningen ägde rum från SGUs undersökningsfartyg S/V Ocean Surveyor under perioden 12 augusti till 20 september 2000 och ombesörjdes av Sveriges geologiska undersökning.



• = bottenyta
• = postglacial lera (L, ljusgul)
• = glaciallera (Z, O mörkt gul)
B = kristallint berg

• = *bottom surface*
• = *postglacial clay (L, light yellow)*
• = *glacial clay (Z, O dark yellow)*
B = *crystalline bedrock*

Fig 4:4. Sedimentekolodsprofiler utvisande provtagningsplatsen för station A3 (07b-0077) t.v och station D7 (07b-0070) t.h. För förklaring se legend.

Subbottomprofiler image showing the situation of the sampling site A3 (07b-0077) left and D7 (07b-0070) right. For explanation, see legend.

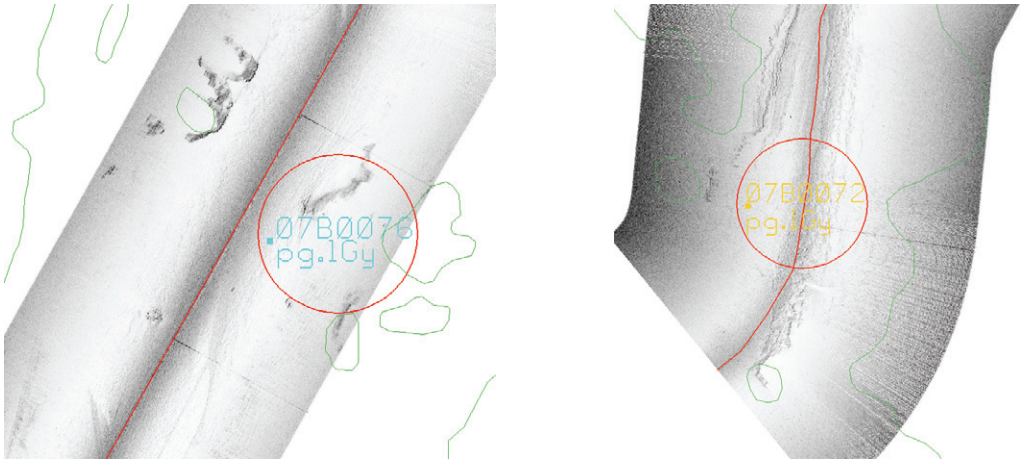


Fig. 4:5. Side scan sonarbild utvisande bottenytan vid station B3 (prov nr 07b-0076) t.v. och C2 (prov nr 07b-0072) t.h. Grön linje markerar strandlinje, blå respektive gul fylld fyrkant inom röd ring markerar provtagningsplatsen och röd linje markerar undersökningsfartygets mätlinje.

Side scan-sonar image showing the bottom surface at site B3 (left) and C2 (right). Green line marks shoreline, yellow filled square within red circle marks the sampling site and red line marks the runline of the survey vessel.

För att klarlägga sedimentkärnornas slutliga lämplighet för vidare analys (dvs. att sedimentkärnorna inte är omrörda genom t.ex. stark bioturbation, störda vid provtagningen eller störda på annat sätt) skannades och dokumenterades dessa med digital röntgenteknik (Sedimentscanner, se Cato m.fl. 2000). Skanningen genomfördes med en steglängd om 100 µm och exponeringstid av 100 ms hos linjekameran samt vid en tubspänning och tubström av 60 kV respektive 18 mA. Exempel på resultatet redovisas i figur 4:12.

Ökad grad av svärtning i bilderna innebär bl.a. material med högre densitet, t.ex. kompakt lera, skal, stenar, sandkorn etc., medan ljusare partier innebär lägre densitet (t.ex. icke kompakterad lera). Mycket ljusa små fläckar kan utgöra sedimentgas (metangas).

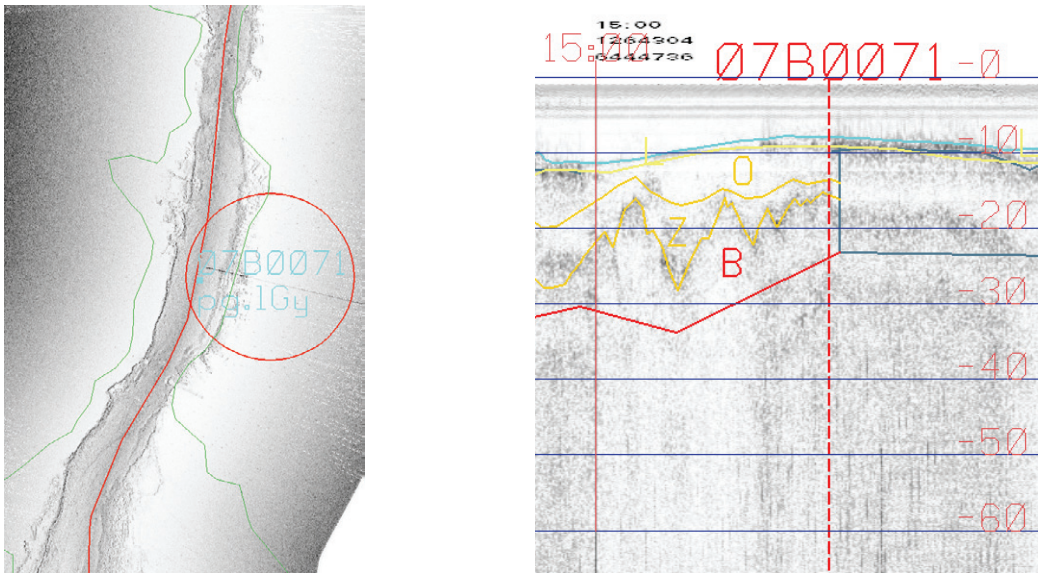


Fig. 4:6. Side scan sonarbild utvisande bottenytan vid station D1 (prov nr 07b-0071) t.v. och sedimentekolodsprofilen t.h. Grön linje markerar strandlinje, blå fylld fyrkant inom röd ring markerar provtagningsplatsen och röd linje markerar undersökningsfartygets mätlinje. Profilens markeringar enligt legenden, se figur 4:4.

Side scan-sonar image showing the bottom surface at site 5-Rävungarna (left) and the subbottom profiler image (right). Green line marks shoreline, blue filled square within red circle marks the sampling site and red line marks the runline of the survey vessel. Legend to the profile below, see Figure 4:4

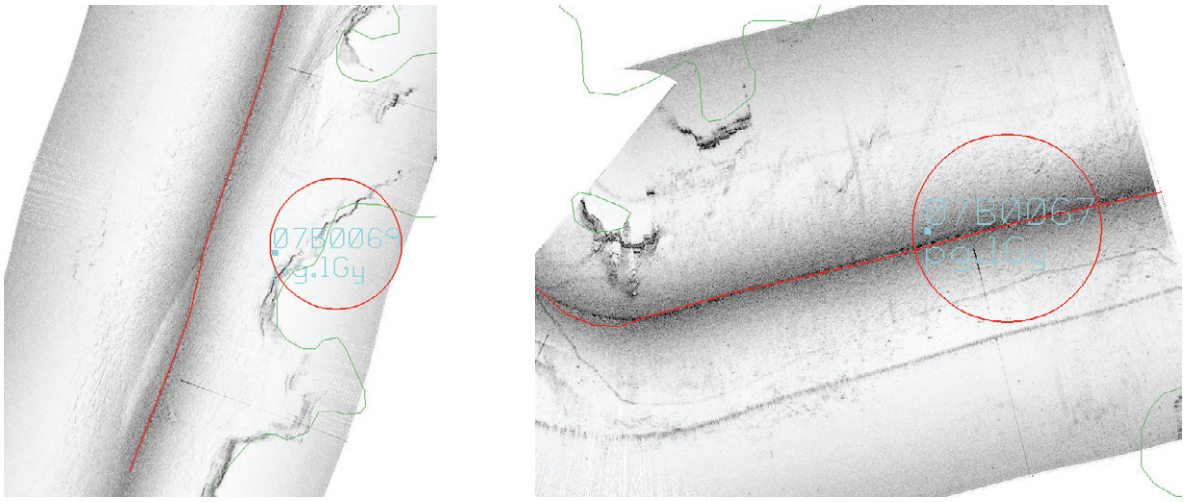


Fig. 4:7. Side scan sonarbild utvisande bottenytan vid station E1 (prov nr 07b-0069) t.v. och E3 (prov nr 07b-0067) t.h. Grön linje markerar strandlinje, blå fylld fyrkant inom röd ring markerar provtagningsplatsen och röd linje markerar undersökningsfartygets mätlinje.

Side scan-sonar image showing the bottom surface at site E1 (left) and E3 (right). Green line marks shoreline, blue filled square within red circle marks the sampling site and red line marks the runline of the survey vessel.

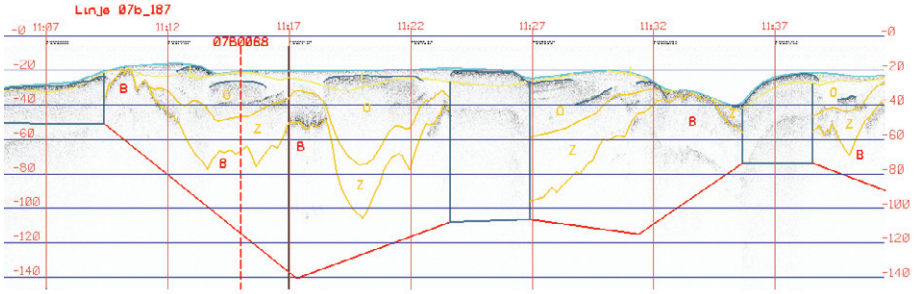


Fig 4:8. Sedimentekolodsprofil utvisande provtagningsplatsen för station E2 (07b-0068). För förklaring se legend fig. 4:4.
Subbottomprofiler image showing the situation of the sampling site E2 (07b-0068). For explanation, see legend Fig. 4:4.

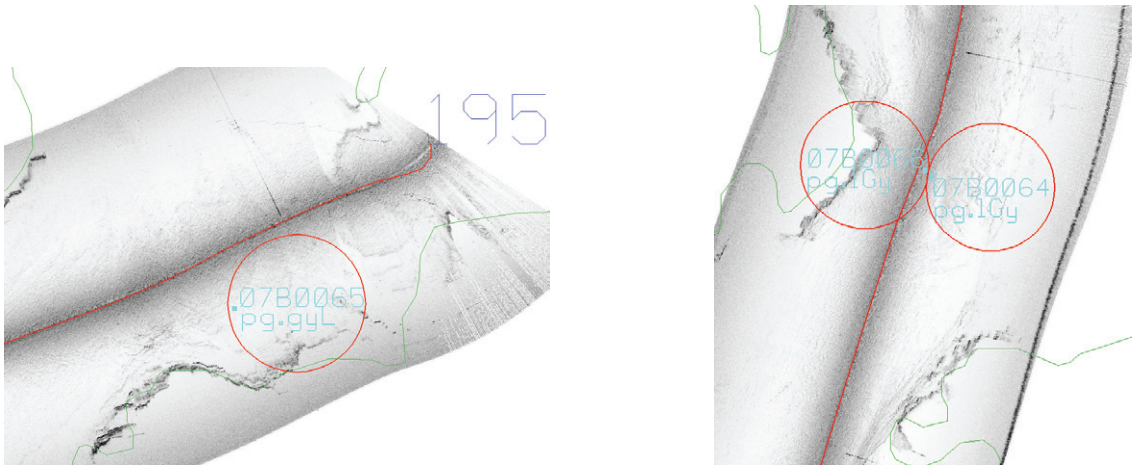


Fig. 4:9. Side scan sonarbild utvisande bottenytan vid station F2 (prov nr 07b-0065) t.v. och F4 (prov nr 07b-0064 box-corer, 07b-0066 Gemini-corer) t.h. Grön linje markerar strandlinje, blå fylld fyrkant inom röd ring markerar provtagningsplatsen och röd linje markerar undersökningsfartygets mätlinje.
Side scan-sonar image showing the bottom surface at site F2 (left) and F4 (right). Green line marks shoreline, blue filled square within red circle marks the sampling site and red line marks the runline of the survey vessel.

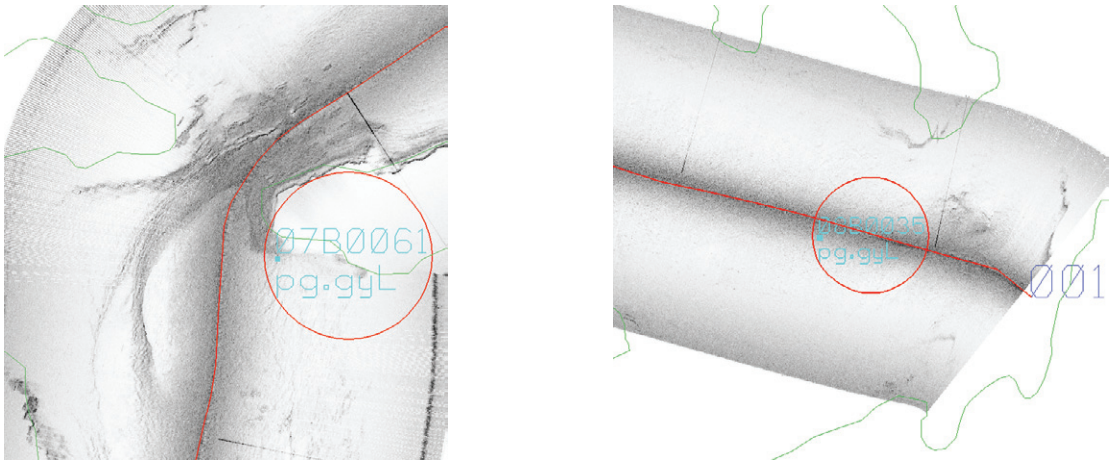


Fig. 4:10. Side scan sonarbild utvisande bottenytan vid station G1 (prov nr 07b-0061) t.v. och H3 (prov nr 08b-0035) t.h. Grön linje markerar strandlinje, blå fylld fyrkant inom röd ring markerar provtagningsplatsen och röd linje markerar undersökningsfartygets mätlinje.
Side scan-sonar image showing the bottom surface at site G1 (left) and H3 (right). Green line marks shoreline, blue filled square within red circle marks the sampling site and red line marks the runline of the survey vessel.

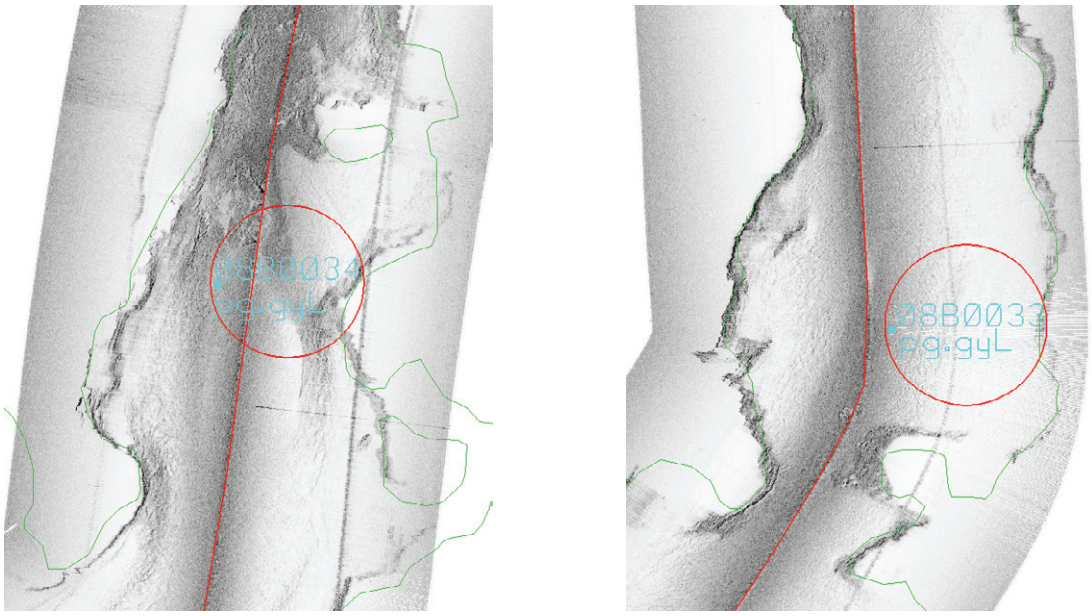


Fig. 4:11. Side scan sonarbild utvisande bottenytan vid station I2 (prov nr 08b-0034) t.v. och K2 (prov nr 08b-0033) t.h. Grön linje markerar strandlinje, blå fylld fyrkant inom röd ring markerar provtagningsplatsen och röd linje markerar undersökningsfartygets mätlinje.

Side scan-sonar image showing the bottom surface at site I2 (left) and K2 (right). Green line marks shoreline, blue filled square within red circle marks the sampling site and red line marks the runline of the survey vessel.

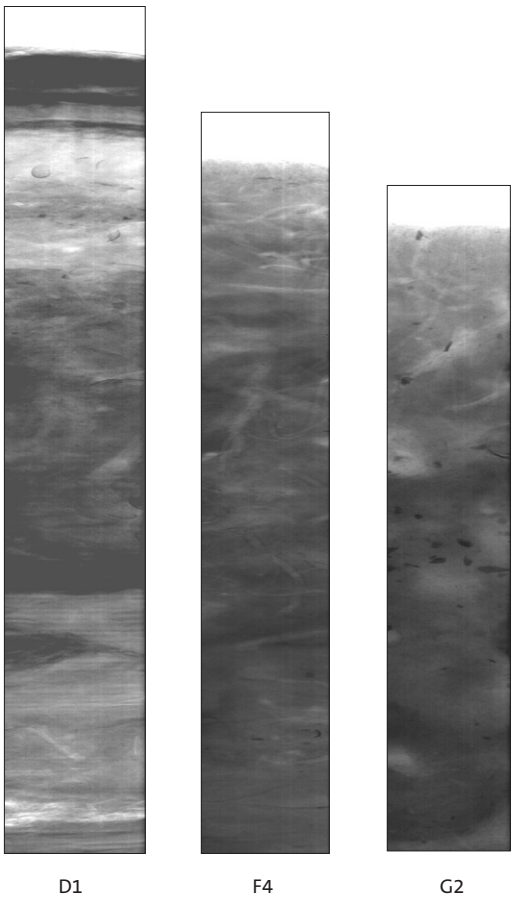


Fig. 4:12. Exempel på radiografiska bilder (skala 1:3) av sedimentkärnor från Stenungsundsområdet. Ovanför sedimentytan syns några centimeter bottenvatten. Kärnlängd från vänster: 35 cm, 29 cm respektive 24 cm.

Examples of radiographic images (scale 1:3) of sediment cores from the Stenungsund area. Above the sediment surface a few centimetres of bottom water are seen. Core length from left: 35 cm, 29 cm and 24 cm respectively.

4.4 Analyser

Sedimentproverna analyserades med avseende på ett flertal parametrar, grundämnen och organiska substanser (se tabell 4:2). Av tabellen framgår också vilka ämnen och substanser som analyserats tidigare. Analysprogrammet har utökats under åren, men vissa ämnesgrupper har utgått ur programmet till följd av att man inte kunnat detektera dem eller funnit dem vara av mindre värde.

En viktig komponent i analysprogrammet har varit att med hjälp av kornstorleksanalyser, sedimentens vattenhalt, innehåll av organiskt material, samt genom optisk besiktning av sedimentprovet (sedimentbeskrivning) och röntgenteknik (Cato m.fl. 2000) söka klarlägga de bottendynamiska förhållandena på platsen. En övervakningsstation för sedimentkontroll skall för att vara effektiv vara förlagd till en depositionsbotten, dvs. en botten med kontinuerlig deposition av finkorniga sediment (<63 µm). Ju högre sedimentationshastighet ju lämpligare botten för miljöövervakning. Sedimentationshastigheten studerades på en station (F4) år 2000.

Samtliga prover frystes direkt efter provtagning.

Prover avsedda för fysikaliska analyser och analyser av metaller frystorkades först. Övriga prov gick direkt till analys. Alcontrol har samordnat analysarbetet. Följande laboratorier har medverkat: MikroKemi i Uppsala (kol och kväve), Alcontrol i Linköping (övriga kemiska analyser), Statens geotekniska institut (SGI) i Linköping (kornstorleksanalyser) och Jubileumsinstitutionen vid Lunds universitet (sedimentationshastighet). Använd analysmetodik finns beskriven i Alcontrol (2004).

Tabell 4:2. Analyserade miljögifter och parametrar i sedimentprov från Stenungsundsområdet 1972–2000. Asterisk (*) markerar vad som analyserats respektive år.

Analysed pollutants and parameters in sediment samples from the area of Stenungsund in 1972–2000. Asterisk marks type of analyses carried out respective year.

Ämnesgrupper analyserade i sediment	1972	1975	1981	1985	1995	2000
Totalkolväten					*	*
Polycykl aromat kolväten (PAH)				*	*	*
Bicykl aromat. kolväten (NPD)					*	*
Metylnaftalener						*
Extraherbart organiskt bundet klor (EOCl /EPOCl)					*	
Pentaklorbensen (Pe-CB)					*	*
Hexaklorbensen (HCB)					*	*
Oktaklorstyren (Okt-CB)					*	*
Polyklorerade bifenyler (PCB)					*	*
Total PCB						*
Plana PCB						*
Bromerade difenyletrar (BDE)						*
Monoaromater (BTEX)					*	*
Alifatiska halogenföreningar (haloformer)					*	*
Ftalater				*	*	*
Nonyfenol					*	
Totalkol (TC)				*	*	*
Oorganiskt kol (OOC)				*	*	*
Organiskt kol (TOC)		*	*	*	*	*
Totalväve (Tot-N)		*			*	*
Totalfosfor (Tot-P)						*
Svavel (S)					*	
Metaller	Hg	*	*	*	*	*
Kornstorlek					*	*
Vattenhalt		*	*	*	*	*
Röntgenanalys med sedimentskanner						*
Sedimentationshastighet						*

4.5 Resultat

I tabell 4:3 redovisas stationsvis analysresultaten för 2000 års undersökningar vad avser ytsedimentens kornstorleksfördelning (fraktionen <63 µm), vattenhalt, innehåll av totalkol, oorganiskt kol, totalt organiskt kol, totalkväve, kol-kvävekvoten (C/N) och totalfosfor i Stenungsundsområdet. Motsvarande data för åren 1975 (Edgren 1975), 1981 (Gustavsson 1982), 1985 (Cato 1986a) och 1995 (Cato 1997a) redovisas också i den

mån de analyserats tidigare. De organiska kolhalterna från 1981 har beräknats utifrån glödförlustdata (se Cato 1986a). Från tidigare undersökningar har i tabell 4:3 enbart data från de stationer som undersökts 2000 medtagits. De statistiska beräkningarna för respektive år (1975, 1981, 1985, 1995 och 2000) baseras enbart på dessa stationer, trots att mer data finns att tillgå från vissa år (se Cato 1986 a, 1995). Denna begränsning har gjorts i syfte att skapa bästa möjliga jämförbarhet mellan åren.

4.5.1 KORNSTORLEK SAMT FÖRÄNDRINGAR EFTER 1995

Ytsedimentens kornstorleksfördelning har inte, till skillnad från undersökningarna 1990 och 2000, analyserats i sin helhet vid 1995 års undersökningar, utan endast fraktionen <63 µm, dvs. viktsandelen ler och silt bestämdes då i proven. För att skapa jämförbarhet mellan åren har därför ler- och siltfraktionerna slagits samman i 1990 respektive 2000 års undersökningar. Resultaten från de tre undersökningsåren redovisas i tabell 4:3 samt illustreras vad avser areell fördelning av 2000 års data i figur 4:13.

Fraktionen <63 µm i ytsedimenten varierar mellan 72 och 100 vikts-% med ett medelvärde och medianvärde av 91 respektive 95 % (tabell 4:4). Med undantag för stationerna D1, F2 och G1 utgör andelen ler och silt mer än 85 % av ytsedimentprovens vikt (fig. 4:14). Detta indikerar att elva stationer representerar goda depositionsmiljöer. Stationerna D1 och G1 däremot representerar bottenmiljöer med skiftande depositionsförhållanden. Station F2 kan med viss tvekan anses representera en depositionsmiljö. I det följande kommer vi att se att dessa förhållanden delvis påverkar koncentrationerna för olika ämnen och substanser på respektive station.

Resultaten visar med undantag för stationerna F2 och G1 stor överensstämmelse med 1995 års kornstorleksdata, vilket visar på förhållandevis stabila hydrodynamiska bottenmiljöer vid kontrollstationerna (figur 4:15). Detta har tidigare (Cato 1997a) visats genom att kornstorleksfördelningen på stationerna A3, F3, H3 och K2 från 1995 också undersöktes på mellan 20 och 30 cm sedimentdjup. På de tre senare stationerna förelåg i stort sett ingen skillnad mellan andelen <63 µm på detta djup och i ytan (0–1 cm). Detta tyder på stabila och oförändrade sedimentationsförhållanden under drygt 50 år.

Mellan 1995 och 2000 har fraktionen <63 µm ökat med ca 10 % på station F2 respektive minskat med ca 10 % på station G1 (fig. 4:14). Eftersom provtagningen skett på samma plats och samma djup vid båda provtagningstillfällena kan resultatet inte bero på en areell inhomogenitet i bottensedimenten, utan förändringen torde ha andra orsaker, t.ex. förändrad strömbild, skred eller annan närbelägen bottenomröring.

Tabell 4:3. Kornstorleksfraktionen <63 µm, vattenhalt, totalkol (TC), oorganiskt kol (OOC), totalt organiskt kol (TOC), totalkväve (TN), kolkvävekvoten (C/N) och totalfosfor (Tot-P) i ytsedimenten (0–1 cm) i Stenungsundsområdet 1975, 1981, 1985, 1995 och 2000. Data finns inte från alla år.

The grain-size fraction <63 µm, water content, total carbon (TC), inorganic carbon (OOC), total organic carbon (TOC), total nitrogen (TN), carbon-nitrogen ratio (C/N) and total phosphorous (Tot-P) in the surficial sediments (0–1 cm) of the Stenungsunds area in 1975, 1981, 1985, 1995 and 2000. Data are lacking for some years.

Station	År	Silt + ler <63 µm	Vattenhalt	TC	OOC	TOC	TN	C/N	Tot-P
		vikts-%	%	g/kg	g/kg	g/kg	g/kg		g/kg
A3	1975	-	70,1	-	-	29,5	3,2	9,2	-
	1981	-	70,6	-	-	34,8	-	-	-
	1985	-	74,1	53,8	13	40,8	-	-	-
	1995	91,3	66,3	32,3	5,5	26,8	3,4	7,9	0,98
	2000	97	78,8	30	4	26	3,2	8,1	-
B3	1975	-	68,9	-	-	29,5	3,3	8,9	-
	1981	-	71	-	-	37,1	-	-	-
	1985	-	71	58,6	23	35,6	-	-	-
	1995	98,8	66,7	32,4	6,3	26,1	3,5	7,5	1,1
	2000	100	74	30	4	26	3,2	8,1	-
C2	1975	-	62,4	-	-	23,1	2,7	8,6	-
	1981	-	59,7	-	-	13,3	-	-	-
	1985	-	80,1	35,6	0	35,6	-	-	-
	1995	97,9	76	40,1	3,8	36,3	5	7,3	0,99
	2000	98	76,1	31	2	29	3,6	8,1	-
D1	1975	-	69,1	-	-	21,5	2,2	9,8	-
	1981	-	62,8	-	-	21,5	-	-	-
	1985	-	74,4	39,5	7	32,5	-	-	-
	1995	84	69,2	32,2	2,1	30,1	4,1	7,3	0,74

Station	År	Silt + ler <63 µm	Vattenhalt	TC	OOC	TOC	TN	C/N	Tot-P
		vikts-%	%	g/kg	g/kg	g/kg	g/kg		g/kg
	2000	79	75,7	15	<0,05	15	1,8	8,3	-
D7	2000	90	66,4	30	8	22	3	7,3	-
E1	1975	-	64,3	-	-	26,5	2,9	9,1	-
	1981	-	60	-	-	29	-	-	-
	1985	-	72,3	31,8	0	31,8	-	-	-
	1995	95,7	64,6	30	4	26	3,3	7,9	1,1
	2000	84	66,3	26	4	22	2,9	7,6	-
E2	1975	-	67,8	-	-	29,5	3	9,8	-
	1981	-	70,6	-	-	34,8	-	-	-
	1985	-	72,9	47,1	16	31,1	-	-	-
	1995	95,1	64,3	30,3	5,4	24,9	3,2	7,8	1,2
	2000	92	68,8	28	4	24	2,8	8,6	-
E3	1975	-	51,5	-	-	30,4	3,1	9,8	-
	1981	-	59,2	-	-	33,6	-	-	-
	1985	-	72,1	48,7	17	31,7	-	-	-
	1995	97,5	65,9	31	4,2	26,8	3,4	7,9	1
	2000	97	82,4	27	1	26	2,9	9	-
F2	1975	-	64,7	-	-	26,9	2,9	9,6	-
	1981	-	66,9	-	-	30,7	-	-	-
	1985	-	66,2	50,7	24	26,7	-	-	-
	1995	63	59,4	32,1	9,7	22,4	2,3	9,7	0,59
	2000	85	75,2	27	2	25	3,1	8,1	-
F4	1975	-	66,7	-	-	32	3,4	9,4	-
	1981	-	68,7	-	-	33,1	-	-	-
	1985	-	71,9	55,1	24	31,1	-	-	-
	1995	96,5	72	33,9	5,7	28,2	3,6	7,8	1
	2000	99	72,9	32	3	29	3,4	8,5	-
G1	1975	-	58,7	-	-	31,2	3,2	9,8	-
	1981	-	62,9	-	-	36,5	-	-	-
	1985	-	72,1	53,9	22	31,9	-	-	-
	1995	96,6	74,4	32,9	5,3	27,6	3,5	7,9	1,1
	2000	72	63	24	4	20	2,4	8,3	-
G2	1990	96	70	30,1	2,1	28	3,1	9,1	0,86
	1995	97,6	71	35,5	6,2	29,3	3,8	7,7	1,4
	2000	95	70,9	30	2	28	3,2	8,8	1,4
H3	1975	-	76,7	-	-	27,8	3	9,3	-
	1981	-	65,2	-	-	31,9	-	-	-
	1985	-	68,2	41,3	16	25,3	-	-	-
	1995	94,2	72,1	30,5	4,3	26,2	3,4	7,7	1,1
	2000	91	71,2	28	1	27	3	9	-
I2	1975	-	57	-	-	31,4	3,5	9	-
	1981	-	64	-	-	31,3	-	-	-
	1985	-	77,5	56,8	23	33,8	-	-	-
	1995	95	78	36,2	6,9	29,3	4	7,3	1,3
	2000	97	76,3	32	2	30	3,3	9,1	-
K2	1975	-	68,9	-	-	32,7	3,5	9,3	-
	1981	-	67,7	-	-	42,3	-	-	-
	1985	-	66,5	128,2	101	27,2	-	-	-
	1995	97,1	71	34,8	6,3	28,5	3,6	7,9	0,96
	2000	98	78,3	33	3	30	3,4	8,8	-

Tabell 4:4. Spridning, medelvärden och medianvärden för några parametrar och ämnen i ytsedimenten (0–1 cm) i Stenungsundsområdet 1975–2000.

Range, means and medians of some parameters and substances in the surficial sediments (0–1 cm) of the Stenungsunds area in 1975–2000.

	Enhet	År	n	Intervall	Medelvärde MV	Medianvärde Md	Standardavvikelse s
Ler + silt	vikts-%	1995	17	43,1–98,8	90,4	96,1	15
		2000	14	72–100	91,3	94,5	8,5
Vattenhalt	%	1975	17	51,5–76,7	66,5	67,9	6,2
		1981	17	59,2–71,3	65,5	65,2	4,1
		1985	17	61,2–80,1	71,4	72,1	4,6
		1995	17	23,6–78	66,6	69,2	12

	Enhet	År	n	Intervall	Medelvärde MV	Medianvärde Md	Standardavvikelse s
		2000	14	63–82,4	73,2	74,6	5,5
Totalkol	g/kg	1985	17	30,7–128,2	51,4	48,7	22
		1995	17	16,4–40,1	32	32,3	4,7
		2000	14	15–33	28	29	4,5
Oorganiskt kol	g/kg	1985	17	0–101	21	16	22
		1995	17	2,1–9,7	5,5	5,5	1,7
		2000	14	0,05–8	3	3	1,9
Organiskt kol	g/kg	1975	17	21,5–32,7	28,9	29,5	3,0
		1981	17	13,3–42,3	32,0	33,1	6,8
		1985	17	19,7–40,8	30,5	31,1	4,8
		1995	17	11,6–36,3	26,5	26,8	4,8
		2000	14	15,0–30,0	25	26	4,2
Totalkväve	g/kg	1975	17	2,2–3,5	3,05	3,1	0,34
		1995	17	1,8–5	3,43	3,5	0,68
		2000	14	1,8–3,6	3	3,1	0,46
C/N	-	1975	17	8,6–11,7	9,5	9,4	0,66
		1995	17	6,4–9,7	7,7	7,8	0,63
		2000	14	7,3–9,1	8,4	8,3	0,52
Totalfosfor	g/kg	1995	17	0,59–1,5	1,0	1,0	0,22
		2000	14	1,1–1,6	1,4	1,4	0,17

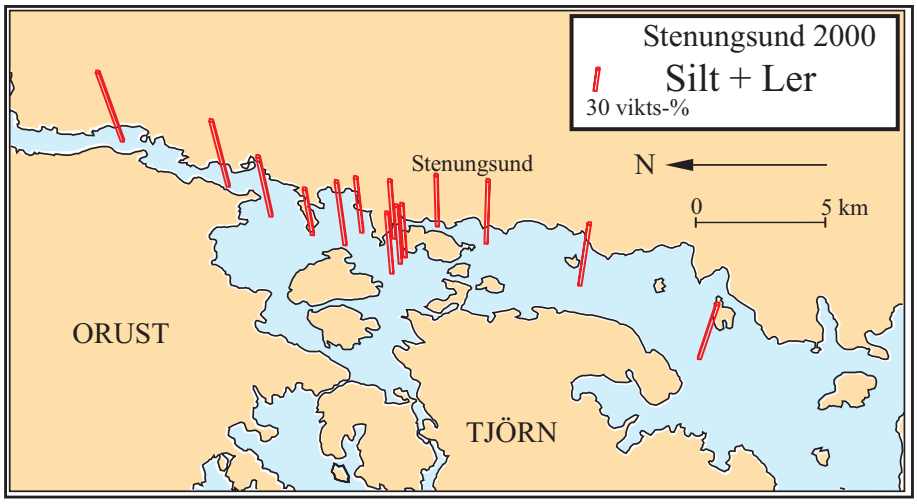


Fig. 4:13 Kornstorleksfraktionen <63 µm (vikts-%) i Stenungsundsområdets ytsediment (0–1 cm) 2000.

The grain-size fraction <63 µm (weight-%) in 2000 in the surficial sediments (0–1 cm) of the Stenungsund area.

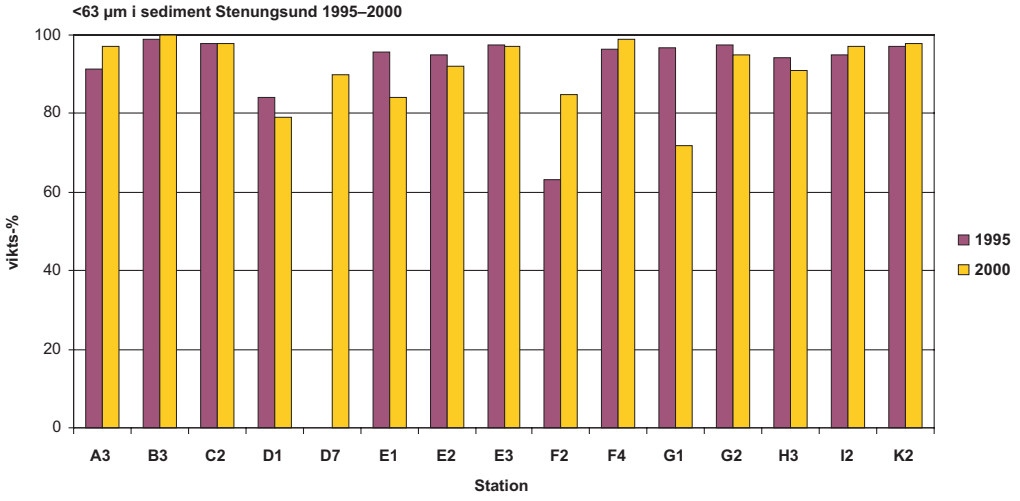


Fig. 4:14. Kornstorleksfraktionen <63 µm (vikts-%) i ytsedimenten (0–1 cm) på respektive station i Stenungsundsområdet 1995 och 2000.

The grain-size fraction <63 µm (weight-%) in surficial sediments(0–1 cm) at each station in the Stenungsund area in 1995 and 2000

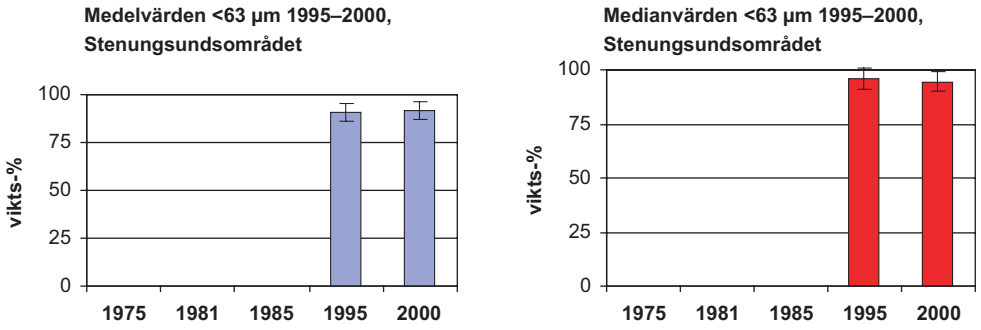


Fig. 4:15. Medelvärden (t.v.) och medianvärden (t.h) för kornstorleksfraktionen <63 µm (vikts-%) i Stenungsundsområdets ytsediment 1995–2000 (n = 14). Data saknas för åren 1975–1985.

Mean (left) and median (right) values of the grain-size fraction <63 µm (weight-%) in 1995–2000 in the surficial sediments of the Stenungsund area (n = 14). Data is missing 1975–1985.

4.5.2 SEDIMENTTYPER, SEDIMENTENS FÄRG OCH GRAD AV BIOTURBERING

Sedimenten från 2000 års provtagningar finns tillsammans med 1995 års data översiktligt beskrivna i tabell 4:5. Motsvarande data från 1972, 1975, 1981 och 1985 års undersökningar saknas. Sedimentbeskrivningarna bygger på en optisk analys av de översta ca 40 cm av bottensedimenten.

De klastiska sedimenten är på samtliga stationer utom på en station ljusgrå till mörkgrå med olivinslag i färgen och med en lätt anstrykning av olivbrunt i ytskiktet. Det senare indikerar oxiska förhållanden i bottenvattnet. Anoxiska förhållanden med stark svavelvätelukt råder några millimeter under sedimentytan såväl 1995 som 2000 på stationerna C2 och D1.

Sedimentens klassificering bygger på en kombination av kornstorleksfördelning och organisk halt. I samtliga fall utom tre utgörs sedimenten av siltiga gyttjeleror i några fall av sandiga siltiga gyttjeleror. På stationerna D1, D7 och E1 utgörs sedimentet av en något sandig lerig gyttjig silt. På 11 av de 14 stationerna är sedimenten något bioturberade. Levande bottenfauna observerades på dessa stationer. Sedimentytan på stationerna C2 och D2 täcktes 1995 mer eller mindre av en matta bestående av blågröna alger (*Spirulina* cf. *subsalsa*). Denna saknades år 2000.

4.5.3 VATTENHALT SAMT FÖRÄNDRINGAR EFTER 1975

Mätresultaten vad avser sedimentens vattenhalt för 2000 redovisas stationsvis i tabell 4:3 tillsammans med motsvarande data för de tidigare undersökningsåren 1975, 1981, 1985 och 1995. Vattenhalten varierade mellan ca 63 och 82 % med ett medelvärde och medianvärde av ca 73 respektive 75 % (tabell 4:4). Vattenhaltens areella variation i ytsedimenten (0–1 cm) för år 2000 illustreras i figur 4:16.

Med undantag för station G1 översteg vattenhalten i ytsedimenten år 2000 drygt 65 % på 13 stationer och 70 % på tio av dessa. Merparten av stationerna kan därför betraktas som representerande depositionsbottnar i marin miljö. Station G1 representerar diskontinuerliga depositionsförhållanden. Granskar man stationsvis den maximala differensen i vattenhalt mellan undersökningsåren 1995–2000 kan man konstatera att skillnaden är mindre än 6,5 % för samtliga stationer utom stationerna E3, F2 och G1 (Fig. 4:17). Med undantag för de tre berörda stationerna tyder resultaten på att provtagningarna kunnat ske på i stort sett samma platser vid de olika undersökningstillfällena. Den mellanårliga variationen i vattenhalt på stationerna E3, F2 och G1 kan inte tolkas som en miljöförändring utan beror sannolikt på att bottenförhållandena skiftar och varierar inom stationsområdet, dvs. det område som ligger inom vad som rumsligt kan uppnås med under åren utnyttjade positioneringssystem.

I tabell 4:4 redovisas medelvärden och medianvärden för ytsedimentens vattenhalt mellan 1975 och 2000 och i figur 4:18 åskådliggörs dessa data. Variationen är mycket liten mellan 1975, 1981 och 1995 (<1 %), medan medel- och medianvärdena för 1985 och 2003 ligger ca 7–9 % högre. Det senare kan vara en effekt av skillnader i provtagningsmetodik.

Tabell 4:5. Sedimentbeskrivande parametrar. x = observerat.

Descriptive sediment parameters. x = observed.

Station	År	Sedimenttyp	Oxiderat ytskikt	Reducerat ytskikt	Tydligt bioturberad	Svavelvätelukt	Skalfragment	Levande fauna
A3	1995	siltig gyttjelera	x		x			
	2000	"	x					x
B3	1995	siltig gyttjelera	x		x			x
	2000	"	x					x
C2	1995	sandig siltig gyttjelera	x			x		
	2000	"	x			x	x	
D1	1995	siltig gyttjelera	x			x		
	2000	sandig lerig gyttjig silt	x			x	x	
D7	1995	-						
	2000	sandig lerig gyttjig silt	x				x	
E1	1995	siltig gyttjelera	x		x	x	x	x
	2000	sandig lerig gyttjig silt	x					x
E2	1995	siltig gyttjelera	x		x	x	x	x
	2000	"	x					x
E3	1995	siltig gyttjelera	x		x			x
	2000	"	x					x
F2	1995	sandig siltig gyttjelera	x		x			x
	2000	"	x					x
F4	1995	siltig gyttjelera	x		x			x
	2000	"	x					x
G1	1995	siltig gyttjelera	x		x			x
	2000	"	x				x	x
G2	1995	siltig gyttjelera	x		x			x
	2000	"	x					x
H3	1995	siltig gyttjelera	x		x			x
	2000	"	x					x
I2	1995	siltig gyttjelera	x		x			x
	2000	"	x					x
K2	1995	siltig gyttjelera	x		x		x	x
	2000	"	x				x	x

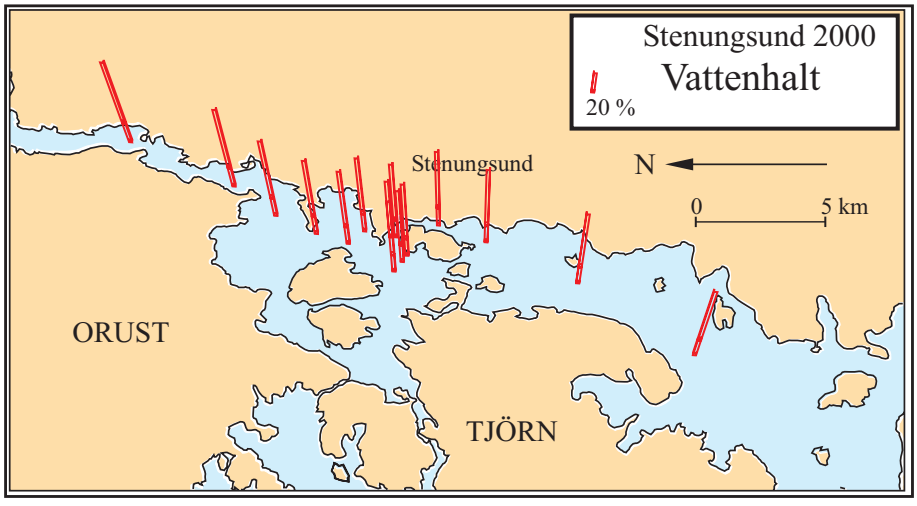


Fig. 4:16. Vattenhalten (%) i Stenungsundsområdets ytsediment (0–1 cm) 2000.

Water content (%) in 2000 in the surficial sediments (0–1 cm) of the Stenungsund area.

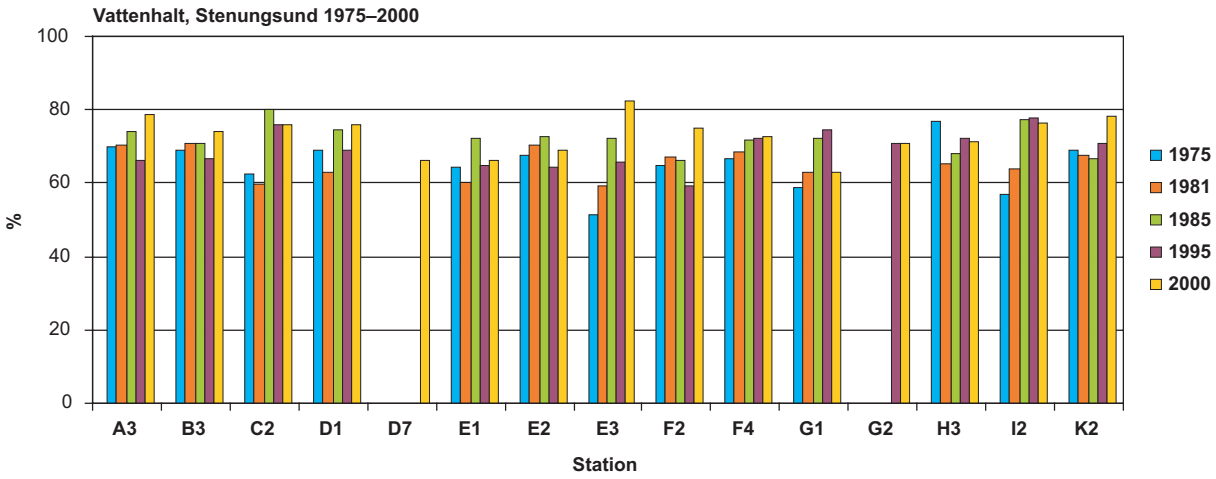


Fig. 4:17. Ytsedimentens (0–1 cm) vattenhalt (% vs) på respektive station i Stenungsundsområdet 1975–2000.
The water content (% ws) in the surface sediment (0–1 cm) at each sampling station in the Stenungsund area in 1975–2000.

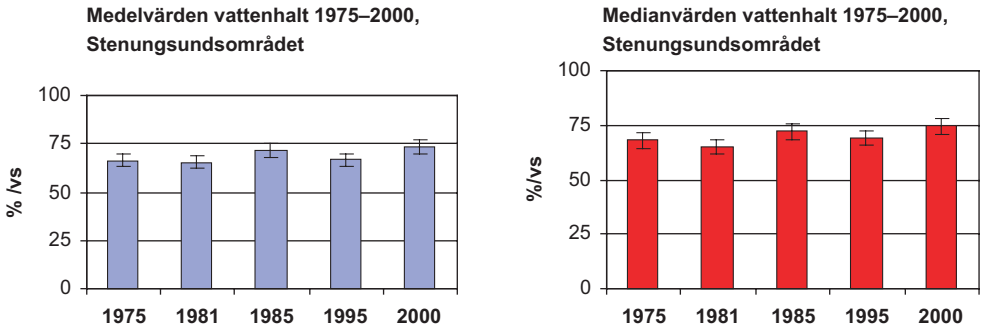


Fig. 4:18. Medelvärden (t.v.) och medianvärden (t.h) för vattenhalten (%) i Stenungsundsområdets ytsediment (0–1 cm) 1975–2000 (n = 14).
Mean (left) and median (right) values of the water content (%) in 1975–2000 in the surficial sediments(0–1 cm) of the Stenungsund area (n = 14).

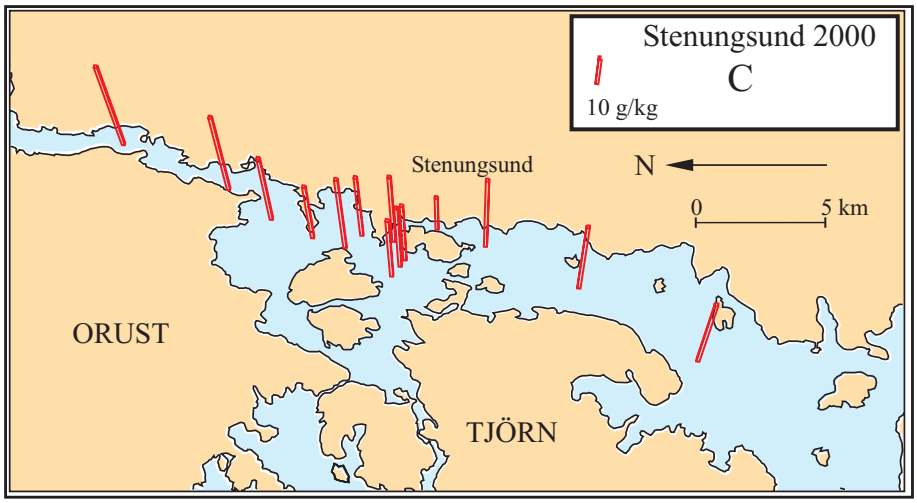


Fig 4:19. Halten totalkol (g/kg) i Stenungsundsområdets ytsediment (0–1 cm) 2000.
The content of total carbon (g/kg) in 2000 in the surficial sediments (0–1 cm) of the Stenungsund area.

4.5.4 TOTALKOL OCH OORGANISKT KOL SAMT FÖRÄNDRINGAR EFTER 1985

Analysresultaten vad avser totalkol (TC) och oorganiskt kol (OOC) i sedimenten för år 2000 redovisas stationsvis i tabell 4:3 tillsammans med motsvarande data från 1985 och 1995 års undersökningar. Totalkolhalten i ytsedimenten (0–1 cm) år 2000 varierar mellan 15 och 33 g/kg ts med ett medelvärde och medianvärde på 28 respektive 29 g/kg ts (tabell 4:4). Halten oorganiskt kol varierar mellan 0,05 och 8 g/kg ts med ett medelvärde och medianvärde på 3 g/kg ts (tabell 4:4). De areella variationerna i ytsedimenten (0–1 cm) för år 2000 illustreras i figurerna 4:19 och 4:20.

Stora haltskillnader föreligger mellan 1985 och 1995/2000 vad gäller oorganiskt kol (fig. 4:21). Dessa skillnader kan inte vara reella utan beror sannolikt på skillnader i använd analysmetodik. 1985 års data bestämdes på en större provmängd än 1995 och 2000 års data, vilket sannolikt innebar att fler skalfragment (i huvudsak innehållande $CaCO_3$) kom att ingå i analysen 1985.

Oorganiskt kol i västkustsedimenten utgörs till största delen av karbonatkol och till en mycket liten del av grafitkol. Förekomsten av skalfragment blir därför avgörande för resultatet. Eftersom totalkolhalten bestäms av mängden oorganiskt och organiskt kol, kan skillnaderna i totalkolhalt mellan åren (fig. 4:22) också till stor del hänföras till skillnaderna i analysmetodik (se vidare under organiskt kol avsnitt 4.5.5).

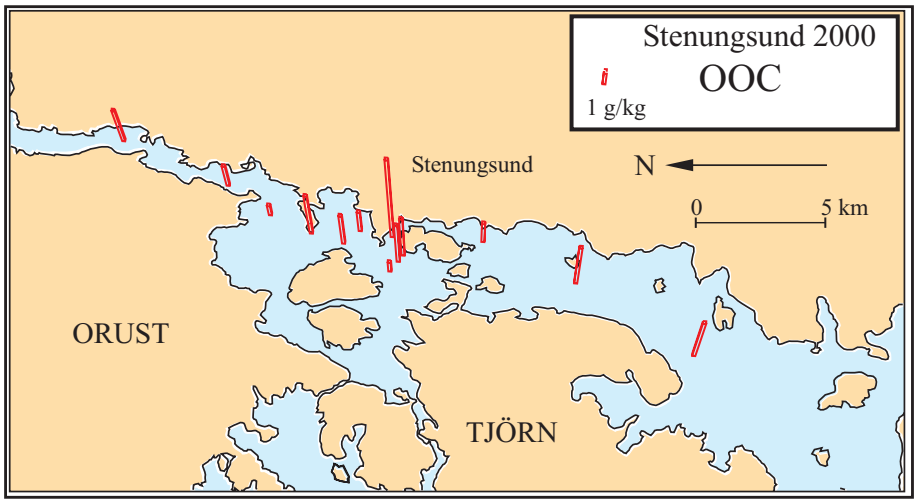


Fig 4:20. Halten oorganiskt kol (g/kg) i Stenungsundsområdets ytsediment (0–1 cm) 2000.
The content of inorganic carbon (g/kg) in 2000 in the surficial sediments (0–1 cm) of the Stenungsund area.

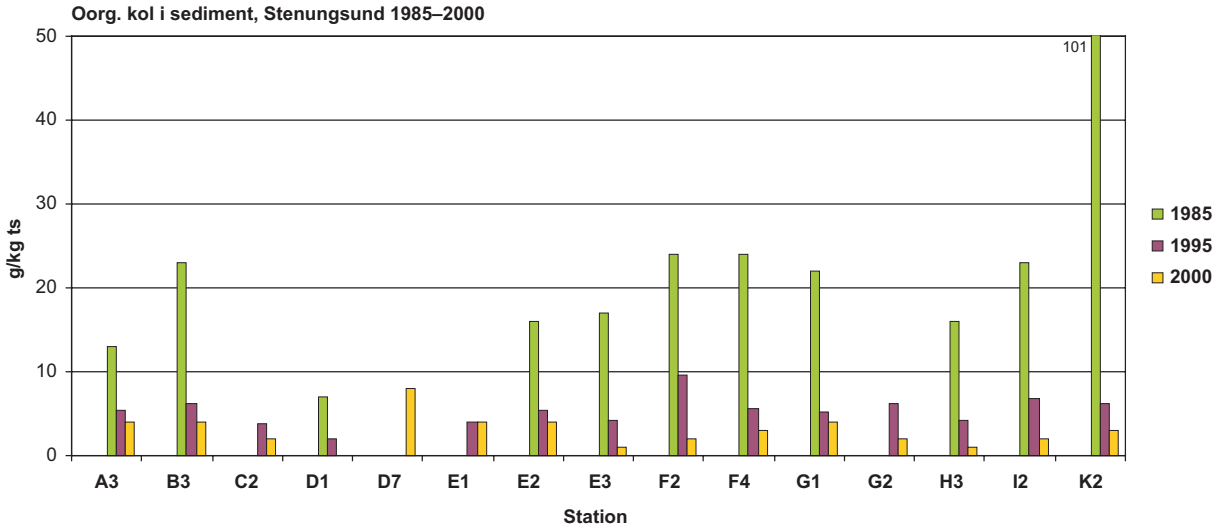


Fig. 4:21. Halten oorganiskt kol (OOC) i ytsedimenten (0–1 cm) på respektive station i Stenungsundsområdet 1985 och 2000.
The content of inorganic carbon (OOC) in surficial sediments (0–1 cm) at each station in the Stenungsund area in 1985 and 2000

Den generella koncentrationsutvecklingen vad avser totalkol och oorganiskt kol i ytsedimenten mellan 1985 och 2000 illustreras i figurerna 4:23 och 4:24. Mellan 1995 och 2000 föreligger en reell koncentrationsminskning med ca 13 respektive 74 %. Orsakerna till förändringen kan vara flera. Eventuellt kan det bero på en förskjutning av redoxklinen i sedimentet vilket i sin tur leder till en ökad upplösning av karbonatkol i ytsedimenten, alternativt ändrade produktionsförhållanden för kalkskalsbärande organismer.

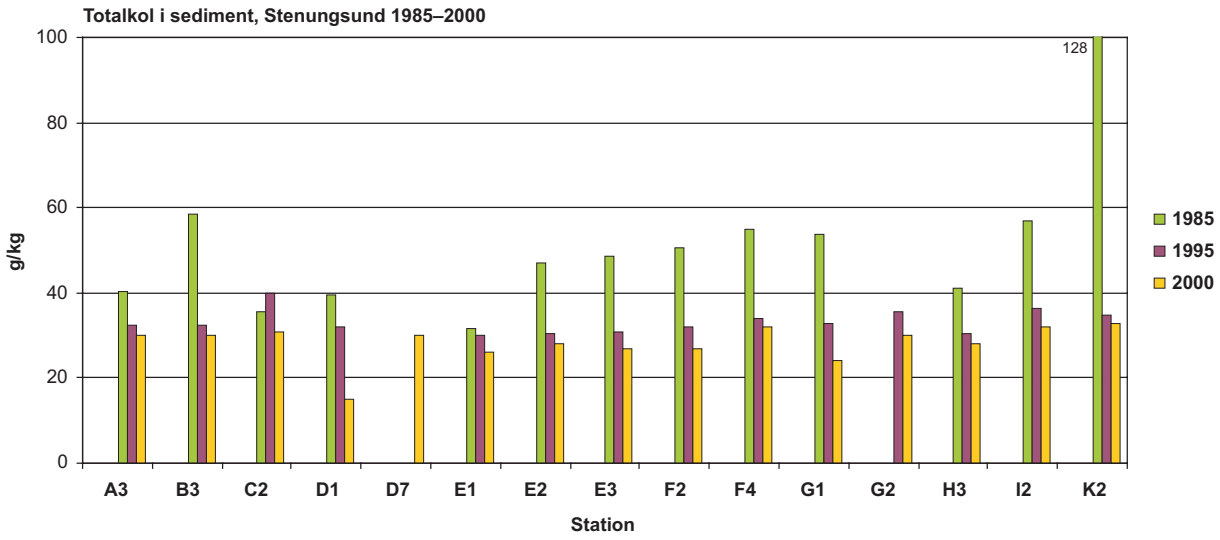


Fig. 4:22. Halten totalkol (TC) i ytsedimenten (0–1 cm) på respektive station i Stenungsundsområdet 1985 och 2000.
The total carbon content (TC) in surficial sediments (0–1 cm) at each station in the Stenungsund area in 1985 and 2000

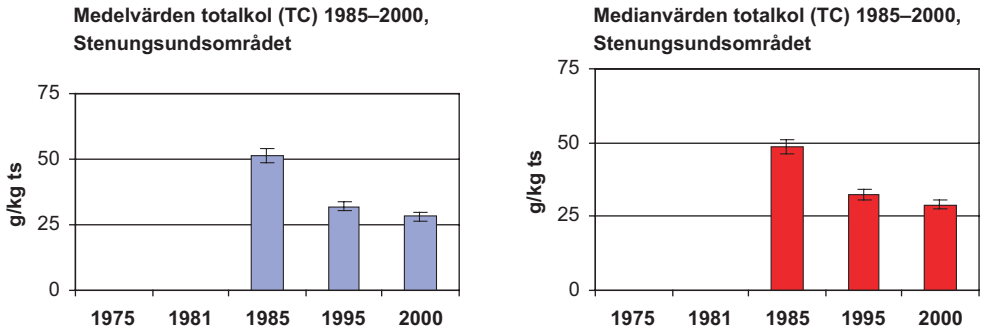


Fig. 4:23. Medelvärden (t.v.) och medianvärden (t.h.) för totalkol (TC) i Stenungsundsområdets ytsediment (0–1 cm) 1985–2000 (n = 14). Data saknas 1975 och 1981.

Mean (left) and median (right) values of totalcarbon (TC) in 1985–2000 in the surficial sediments (0–1 cm) of the Stenungsund area (n = 14). Data are lacking in 1975 and 1981.

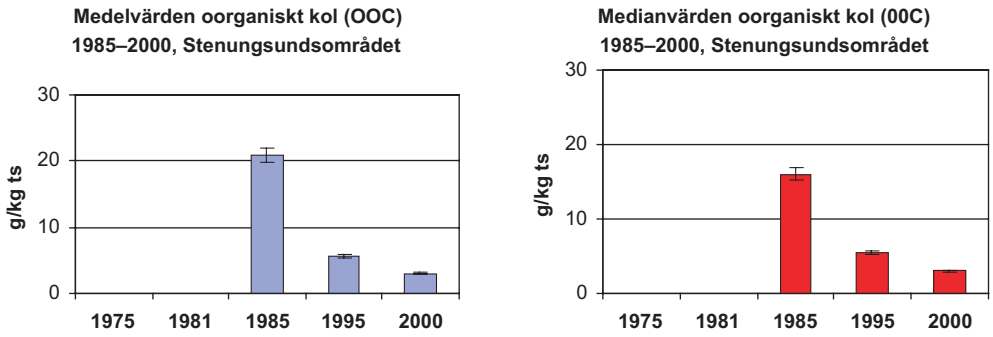


Fig. 4:24. Medelvärden (t.v.) och medianvärden (t.h.) för oorganiskt kol (OOC) i Stenungsunds-områdets ytsediment (0–1 cm) 1985–2000 (n = 14). Data saknas 1975 och 1981.

Mean (left) and median (right) values of total carbon (OOC) in 1985–2000 in the surficial sediments (0–1 cm) of the Stenungsund area (n = 14). Data are lacking in 1975 and 1981.

4.5.5 ORGANISKT KOL SAMT FÖRÄNDRINGAR EFTER 1975

Analysresultaten avseende totalt organiskt kol (TOC) i sedimenten för undersökningsåren 1975, 1981, 1985, 1995 och 2000 redovisas i tabell 4:3. Observera att de organiska kolhalterna från 1981 års undersökning har beräknats utifrån askhalter med hjälp av omvandlingsfaktorer (se Cato 1986a). Dessa baseras på att kristallvattenavgången vid glödgning (750 °C) varierar med sedimenttypen. Förfarandet medför en viss osäkerhet hos de framräknade värdena för 1981. Halten TOC i ytsedimenten (0–1 cm) år 2000 varierade mellan ca 15 och 30 g/kg ts med ett medelvärde och medianvärde på 25 respektive 26 g/kg ts (tabell 4:4). Koncentrationerna ligger inom ett för västkusten normalt intervall om de på organiskt material belastade recipienterna undantas (se tabell 2:9 i del 2, denna samlingsvolym). Den areella fördelningen av organiskt kol i ytsedimenten (0–1 cm) för år 2000 illustreras i figur 4:25.

Svenska bedömningsgrunder för totalt organiskt kol i kust- och havssediment saknas. Enligt Norsk klassificering av miljökvalitet i fjordar och kustvatten (Rygg & Thélin 1993) faller samtliga stationer i tillståndsklass I (”god”) enär halterna är <30 g/kg ts. Stationerna I2 och K2 ligger precis på gränsen.

Koncentrationsförändringarna på respektive station mellan 1975 och 2000 illustreras i figur 4:26. Mätdata saknas för vissa år på några stationer.

I tabell 4:4 redovisas medelvärden och medianvärden för ytsedimentens innehåll av organiskt kol vid de fem undersökningstillfällena mellan 1975 och 2000. I figur 4:27 åskådliggörs dessa data. Trenden visar på en svag ökning mellan 1975 och 1981 samt därefter avtagande halter till en lägsta nivå år 2000. Studerar man de enskilda stationerna visar det sig att denna trend är giltig i ca 50 % av fallen. 2000 års värden är de lägsta eller näst lägsta värdet på samtliga stationer med något undantag (C2). I genomsnitt ligger 2000 års organiska kolhalter 21 % lägre än medelvärdet för toppåret 1981 och 6 % lägre än motsvarande värde 1995. Variationskoefficienten för organiskt kol till följd av ytsedimentens (0–2 cm) inhomogenitet vid Bohuskusten har analyserats och beräknats till 3,8±2,8 % (Cato 1977).

Eftersom den genomsnittliga minskningen i organisk kolhalt är större än berörda variationskoefficient kan 2000 års minskade kolhalter anses vara reella. Minskningen är dock mindre än de minst 20 respektive 35 %, som baserat på blandningsfaktorn (se avsnitt 2.5, del 2 i denna samlingsvolym), krävs för att en förändring skall kunna detekteras vid ett tioårigt respektive femårigt provtagningsintervall.

Orsaken till förändringen kan vara en ändring i produktion och/eller tillförsel av organiskt material, alternativt en effekt av en ökad båt och fartygstrafik. En ökad fartygstraffik medför att det lätta organiska materialet i högre grad än tidigare bör deponeras utanför den genom området gående farleden. Hur fartygstrafiken och fartygsstorleken kan ge upphov till förändringar i bottensedimenten har tidigare dokumenterats i Brofjorden och Göteborgs skärgård (Cato m.fl. 1986, Cato 1986 b, 1990). Ökad fartygsstorlek medför bl.a. starkare motorer, större propellrar och ökat djupgående, vilket i sin tur leder till en större och kraftigare omröring av vattenmassan. Detta tillsammans med den tryckvåg som fartyget åstadkommer vid gång leder till en med

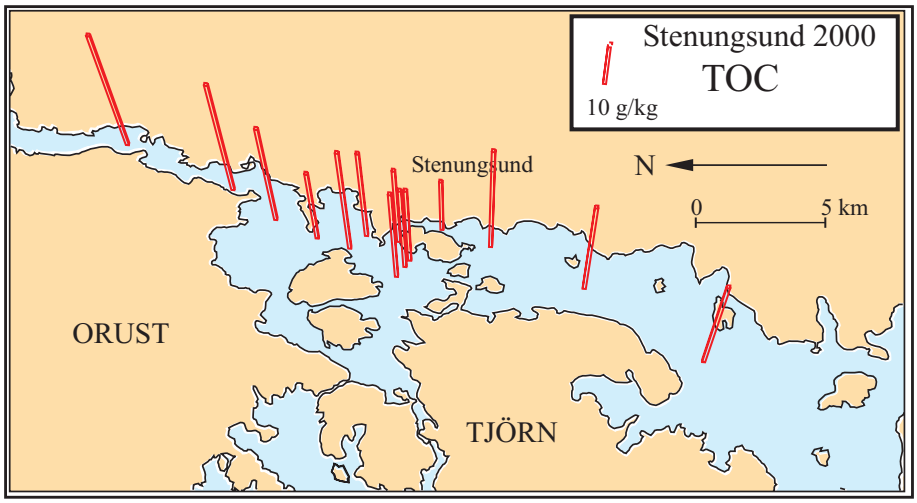


Fig 4:25. Halten totalt organiskt kol (g/kg) i Stenungsundsområdets ytsediment (0–1 cm) 2000.

The content of total organic carbon (g/kg) in 2000 in the surficial sediments (0–1 cm) of the Stenungsund area.

ökad fartygsstorlek och/eller ökad fartygstrafik ökad resuspendering av bottensedimenten. De större och tyngre partiklarna, dvs. silt och sand sedimenterar relativt snabbt, medan det finkorniga och lätta materialet som ler, finsilt och organiskt material har en längre uppehållstid i vattenmassan.

Detta innebär att strömmar och vågor får möjlighet att transportera bort det finkornigare och lättare materialet (ler- och organiska partiklar), vilket normalt deponeras i mot strömmar och vågor skyddade områden på sidan av farlederna. På motsvarande sätt skulle småbåtstrafiken kunna påverka de grundare områdena.

Det föreligger ett starkt positivt samband mellan halten totalt organiskt kol och halten av finmaterial (<63 µm) i sedimentet (fig. 4:28). Korrelationskoefficienten (r) för sambandet är 0,82. Sambandet beror främst på båda storheternas beroende av lugna sedimentationsförhållanden för ackumulation. Ett liknande (r = 0,78) samband kunde påvisas 1995 (Cato 1997a).

4.5.6 TOTALKVÄVE SAMT FÖRÄNDRINGAR EFTER 1975

Analysresultaten från 2000 års sedimentundersökningar avseende totalkväve (TN) redovisas i tabell 4:3 tillsammans med motsvarande data från 1975 och 1995. Den areella variationen i ytsedimentet (0–1 cm) illustreras i figur 4:29. Halten av totalkväve varierar mellan 1.8 och 3,6 g/kg ts med ett medelvärde och

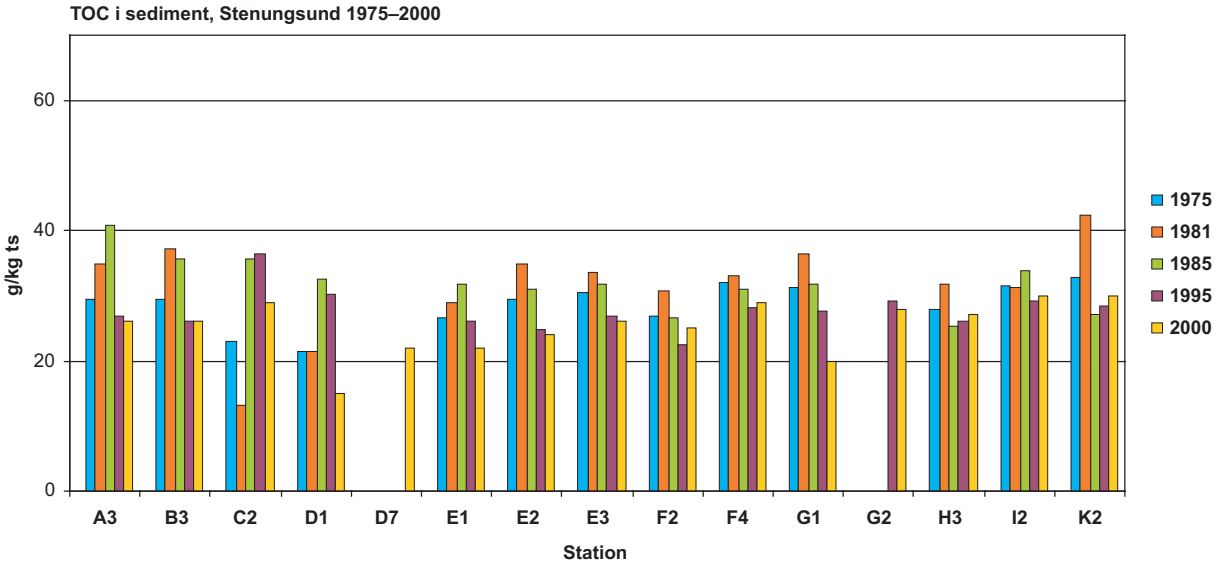


Fig. 4:26. Halten totalt organiskt kol (TOC) i ytsedimenten (0–1 cm) på respektive station i Stenungsundsområdet 1975 och 2000.
The total organic carbon content (TOC) in surficial sediments (0–1 cm) at each station in the Stenungsund area in 1975 and 2000.

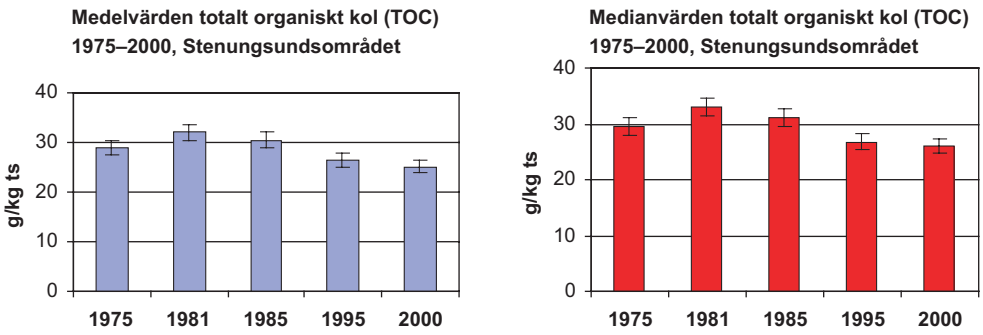


Fig. 4:27. Medelvärden (t.v.) och medianvärden (t.h.) för totalt organiskt kol (TOC) i Stenungsunds-områdets ytsediment (0–1 cm) 1975–2000 (n = 14).

Mean (left) and median (right) values of total organic carbon (TOC) in 1975–2000 in the surficial sediments (0–1 cm) of the Stenungsund area (n = 14).

medianvärde på 3 respektive 3.1 g/kg ts (tabell 4:4). Koncentrationsintervallet överensstämmer med andra på organiskt material icke belastade recipienter längs västkusten (se tabell 2:10 i del 2, denna samlingsvolym).

Svenska bedömningsgrunder för kväve i kust- och havssediment saknas. Enligt Norsk klassificering av miljökvalitet i fjordar och kustvatten (Rygg & Thélin 1993) faller stationerna D1 och G1 i tillståndsklass I (”god”). Alla övriga stationer faller i tillståndsklass II (”mindre god”).

Det areella fördelningsmönstret uppvisar stora likheter med motsvarande fördelning av organiskt kol (se fig. 4:25). Detta beror på att kvävet i sedimenten till största delen är organiskt bundet (se t.ex. Cato 1977, 1997a Cato m.fl. 1986 b),vilket också framgår av det starka positiva sambandet mellan totalkväve och totalt organiskt kol (fig. 4:30). Korrelationskoefficienten (r) för sambandet är 0,93. Även 1995 kunde ett starkt samband (r = 0,96) konstateras (Cato 1997a).

Koncentrationsförändringarna i ytsedimentet på respektive station mellan åren 1975 (Edgren 1975), 1995 (Cato 1997) och 2000 illustreras i fig. 4:31.

I tabell 4:4 redovisas såväl 1975, 1995 som 2000 års medelvärden och medianvärden baserat på de stationer som ingår i föreliggande undersökning. Resultaten illustreras i figur 4:32.

Utvecklingen visar på en ökning både vad avser medelvärdet och medianvärdet med närmare 13 % mellan 1975 och 1995 och en minskning med lika mycket mellan 1995 och 2000. Variationskoefficienten för totalkväve till följd av ytsediments (0–2 cm) inhomogenitet vid Bohuskusten har analyserats och beräknats till 3,2±2,9 % (Cato 1977). Eftersom den genomsnittliga förändringen av totalkvävehalten är drygt tre gånger mindre än berörda variationskoefficient kan 2000 års minskade totalkvävehalter anses vara reella. Förändringen är dock mindre än de minst 20 respektive 35 %, som baserat på blandningsfaktorn (se avsnitt 2.5, del 2 i denna samlingsvolym), krävs för att en förändring skall kunna detekteras vid ett tioårigt respektive femårigt provtagningsintervall.

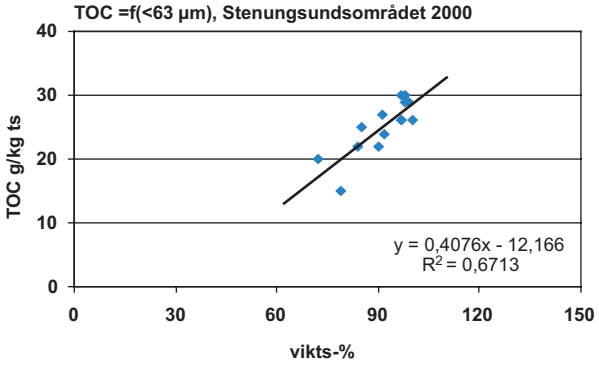


Fig. 4:28. Sambandet mellan totalt organiskt kol (TOC) och fraktionen <63 µm i ytsedimenten (0–1 cm) i Stenungsundsområdet 2000.

The relationship between total organic carbon (TOC) and the grain-size fraction <63 µm in 2000 in the surficial sediments (0–1 cm) in the Stenungsund area.

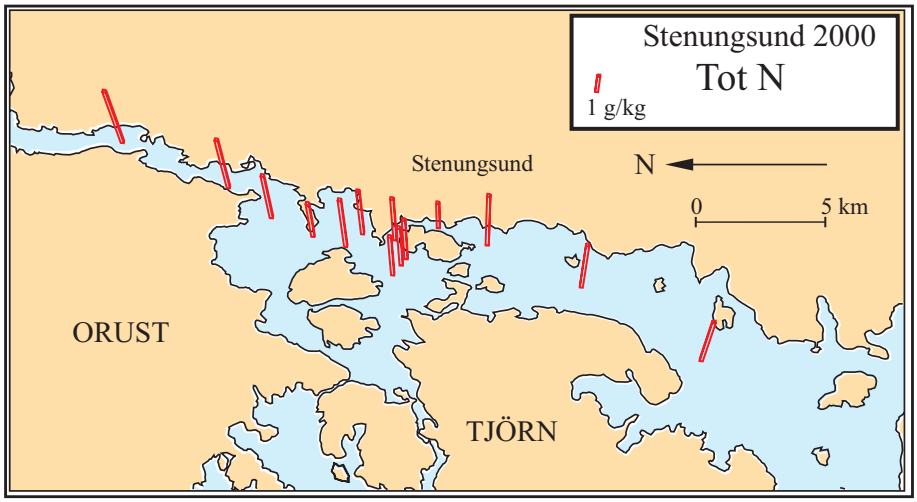


Fig 4:29. Halten totalkväve (g/kg) i Stenungsundsområdets ytsediment (0–1 cm) 2000.

The content of total nitrogen (g/kg) in 2000 in the surficial sediments (0–1 cm) of the Stenungsund area.

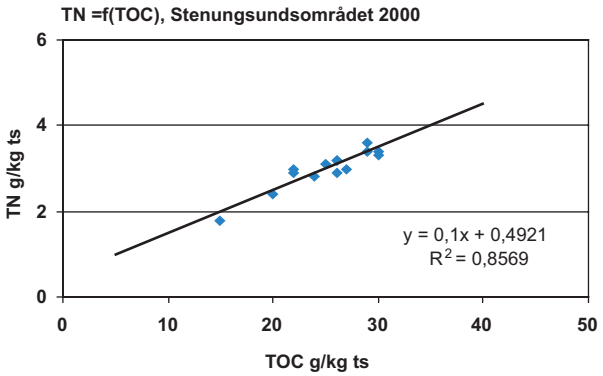


Fig. 4:30. Sambandet mellan totalkväve (TN) och totalt organiskt kol (TOC) i ytsedimenten (0–1 cm) i Stenungsundsområdet 2000.

The relationship between total nitrogen and total organic carbon (TOC) in 2000 in the surficial sediments (0–1 cm) of the Stenungsund area.

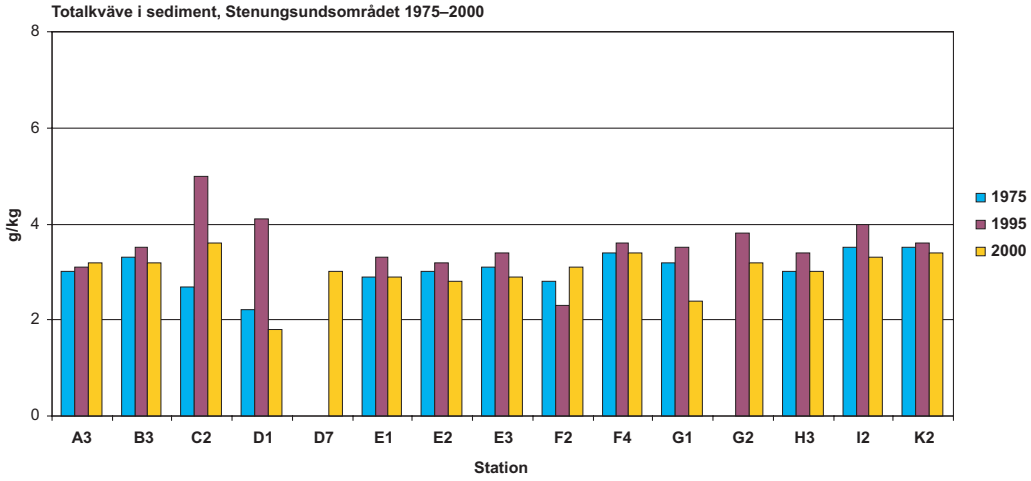


Fig. 4:31. Halten totalt kväve (TN) i ytsedimenten (0–1 cm) på respektive station i Stenungsundsområdet 1975, 1995 och 2000.

The total organic carbon content (TOC) in surficial sediments (0–1 cm) at each station in the Stenungsund area in 1975, 1995 and 2000.

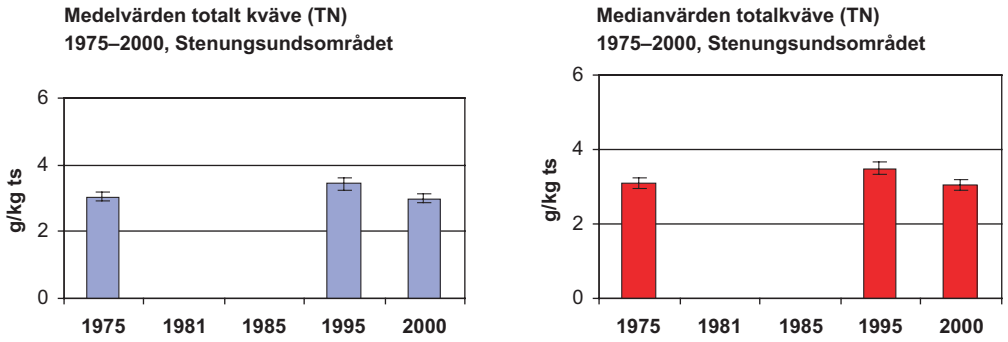


Fig. 4:32. Medelvärden (t.v.) och medianvärden (t.h.) för totalkväve (TN) i Stenungsundsområdets ytsediment (0–1 cm) 1975–2000 (n = 14). Data saknas 1981 och 1985.

Mean (left) and median (right) values of total nitrogen (TN) in 1975–2000 in the surficial sediments (0–1 cm) of the Stenungsund area (n = 14). Data are lacking in 1981 and 1985.

4.5.7 KOL-KVÄVEKVOTEN (C/N) OCH DESS FÖRÄNDRING EFTER 1975

De beräknade C/N-kvoterna i ytsedimenten 2000 (0–1 cm) redovisas stationsvis i tabell 4:3 tillsammans med motsvarande data från 1975 och 1995. Halterna varierar år 2000 mellan 7,3 och 9,1 med ett medelvärde och medianvärde på 8,4 respektive 8,3 (tabell 4:4). Kvoterna ligger inom det intervall som är känt från västkustens på organiskt material från land icke belastade recipienter (se tabell 2:11 i del 2, denna samlingsvolym). Utvecklingstrenden på respektive station samt i medeltal mellan 1975 och 2000 åskådliggörs i figurerna 4:33 respektive 4:34.

Mellan 1975 och 1995 sjönk C/N-kvoten i medeltal med 19 % (medianvärdet med 17 %). Därefter har kvoten stigit med ca 9 % (medianvärdet med 6,4 %) mellan 1995 och 2000. Förändringen mellan 1975 och 1995 visade på en ökning inom området av andelen sedimenterat marint (kväverikt) detritus. Ett förhållande som framgick av lutningskoefficienten för relationen mellan kväve och organiskt kol som ökade från 0,10 till 0,13 mellan 1975 och 1995 (Cato 1997a).

Att förändringen berodde på ett ökat tillskott av kväverik, marin detritus framgick av det negativa samband som då erhölls mellan C/N-kvoten och halten kväve i sedimentet (r = –0,4). Motsvarande samband med totalt organiskt kol var också mycket svagt (r = 0,1). Orsaken till förändringarna av C/N-kvoten kopplades samman med den allmänna eutrofiering som under 1980 och 1990-talen observerats på ett stort antal platser utmed kusten och som gynnar/gynnat produktionen av marint organiskt material (t.ex. Cato 1986 b, 1990, 1997a).

Förändringarna mellan 1995 och 2000 antyder dock att den under många år observerade ökade eutrofieringen i kustavsnittet kan vara bruten. Lutningskoefficienten för relationen mellan kväve och organiskt

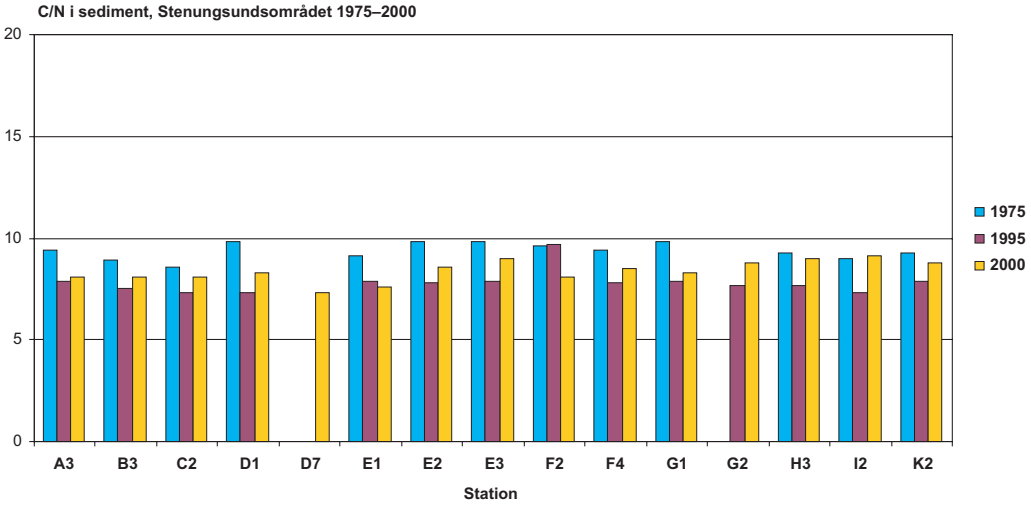


Fig. 4:33. C/N-kvoten i ytsedimenten (0–1 cm) på respektive station i Stenungsundsområdet 1975, 1995 och 2000.
The C/N-ratio in surficial sediments (0–1 cm) at each station in the Stenungsund area in 1975, 1995 and 2000.

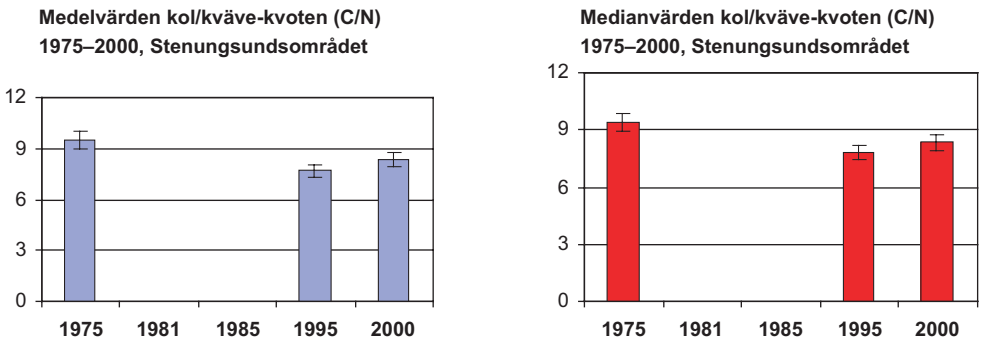


Fig. 4:34 Medelvärden (t.v.) och medianvärden (t.h.) för kol-kvävekvoten (C/N) i Stenungsundsområdets ytsediment (0–1 cm) 1975, 1995 och 2000 (n = 14). Data saknas 1981 och 1985.

Mean (left) and median (right) values of the carbon-nitrogen ratio (C/N) in 1975, 1995 and in 2000 in the surficial sediments (0–1 cm) of the Stenungsund area (n = 14). Data are lacking in 1981 and 1985.

kol har under perioden 1995–2000 minskat från 0,13 till 0,10, dvs. andelen aminosyrerikt marint organiskt material har minskat relativt cellulosadominerat terrestriskt organiskt material tillfört från land.

4.5.8 TOTALFOSFOR SAMT FÖRÄNDRINGAR EFTER 1995

Analysresultaten från 2000 års sedimentundersökningar avseende totalfosfor (Tot-P) redovisas tillsammans med motsvarande data från 1995 i tabell 4:3 och den areella variationen i ytsedimentet (0–1 cm) illustreras i figur 4:35. Totalfosforhalten inom undersökningsområdet varierar mellan 1,1 och 1,6 g/kg ts med ett medelvärde och medianvärde på 1,4 g/kg ts (tabell 4:4). Uppmätta halter ligger något högt inom det intervall som tidigare konstaterats för andra recipienter utmed västkusten (se tabell 2:12 i del 2, denna samlingsvolym).

Svenska bedömningsgrunder för totalfosfor i kust- och havssediment saknas.

Förändringarna av sedimentens totalfosforhalter på respektive station mellan 1995 och 2000 illustreras figur 4:36. På samtliga stationer utom station E1 (där halten är konstant mellan undersökningsåren) har halterna ökat. Ökningen är i medeltal 40 % (fig. 4:37). En siffra som kan anses statistiskt signifikant eftersom variationskoefficient för totalfosfor, till följd av ytsedimentens (0–2 cm) inhomogenitet, har analyserats och beräknats till 1,8±0,6 % (Cato 1977). Ökningen är också större än de minst 35 % , som baserat på blandningsfaktorn (se avsnitt 2.5), krävs för att en förändring med säkerhet skall kunna detekteras vid ett femårigt provtagningsintervall.

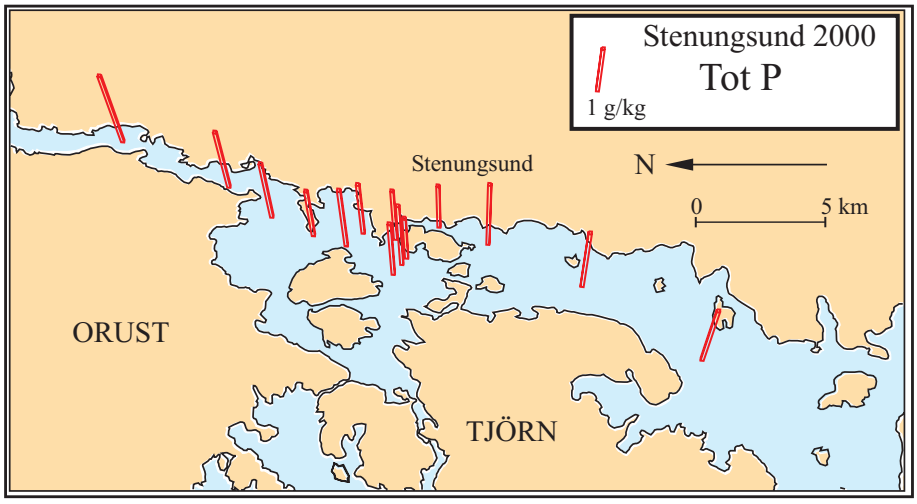


Fig. 4:35. Halten totalfosfor (g/kg) i Stenungsundsområdets ytsediment (0–1 cm) 2000.

The content of total phosphorous (g/kg) in 2000 in the surficial sediments (0–1 cm) of the Stenungsund area.

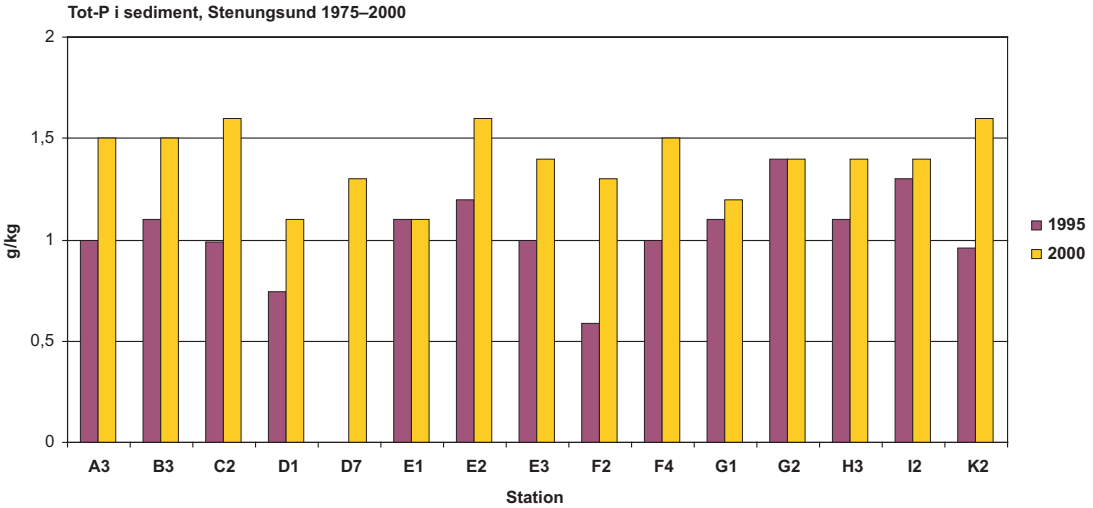


Fig. 4:36. Totalfosfor (Tot-P) i ytsedimenten (0–1 cm) på respektive station i Stenungsundsområdet 1995 och 2000.

The total phosphorous content in surficial sediments (0–1 cm) at each station in the Stenungsund area in 1995 and 2000.

4.5.9 TUNGMETALLER SAMT FÖRÄNDRINGAR EFTER 1972

I tabell 4:6 redovisas stationsvis analysresultaten för 2000 års undersökningar vad avser ytsedimentens innehåll av tungmetallerna arsenik (As), kadmium (Cd), krom (Cr), koppar (Cu), kvicksilver (Hg), mangan (Mn), nickel (Ni), bly (Pb), tenn (Sn), vanadin (V) och zink (Zn) i Stenungsundsområdet. Motsvarande data för åren 1972 (Hasselroth 1972), 1975 (Edgren 1975), 1981 (Gustavsson 1982), 1985 (Cato 1986) och 1995 (Cato 1997a) redovisas också i den mån de analyserats tidigare. Från tidigare undersökningar har i tabell 4:6 enbart data från de stationer som undersökts 2000 medtagits. De statistiska beräkningarna för respektive år (1975, 1981, 1985, 1995 och 2000) baseras enbart på dessa stationer, trots att mer data finns att tillgå från vissa år. Denna begränsning har gjorts i syfte att skapa bästa möjliga jämförbarhet mellan åren.

Tungmetallerna uppvisar sinsemellan både likheter och olikheter i fördelningsmönstret, varför de nedan i korthet behandlas var för sig.

4.5.9.1 Arsenik

Ytsedimenten innehåll av arsenik (As) år 2000 varierar mellan 5,8 och 14 mg/kg ts med ett medelvärde och medianvärde av 10,8 respektive 11,5 mg/kg ts (tabellerna 4:6 och 4:8). Den areella variationen av As i ytsedimentet (0–1 cm) illustreras i figur 4:38.

Enligt svenska bedömningsgrunder för kust- och havssediment (Naturvårdsverket 1999) faller med avseende på arsenik samtliga stationer från år 2000 i endera av tillståndsklasserna I och II (*ingen/obetydlig* till *liten avvikelse* från nationella jämförvärdet). Detta är en förbättring gentemot 1995 års undersökningar då fyra stationer (B3, E1, E2 och F4) hamnade i tillståndsklass III (tabell 4:7).

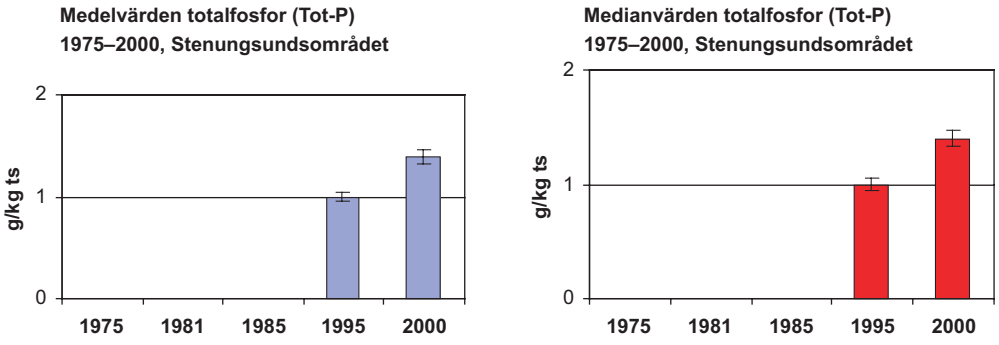


Fig. 4:37 Medelvärden (t.v.) och medianvärden (t.h.) för totalfosfor (Tot-P) i Stenungsundsområdets ytsediment (0–1 cm) 1995 och 2000 (n = 14). Data saknas 1975–1985.

Mean (left) and median (right) values of the total phosphorous content (Tot-P) in 1995 and in 2000 in the surficial sediments (0–1 cm) of the Stenungsund area (n = 14). Data are lacking in 1975–1985.

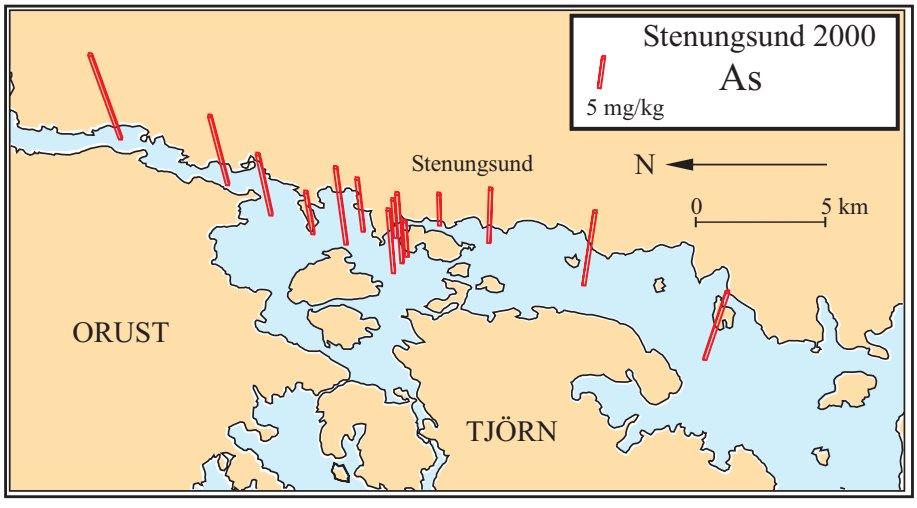


Fig. 4:38, Fördelningen av arsenik (mg/kg) i Stenungsundsområdets ytsediment (0–1 cm) 2000,

The distribution of arsenic (mg/kg) in 2000 in the surficial sediments (0–1 cm) of the Stenungsund area,

Förändringen på respektive station av sedimentens arsenikhalter mellan åren 1995 och 2000 illustreras i figur 4:39. Med undantag för två stationer (G1 och H3) har arsenikhalten sjunkit under femårsperioden. Baserat på medel- och medianvärdesförändringarna har halterna sjunkit med 23 % respektive 18 % (fig. 4:40). Den kraftiga minskningen av As i ytsedimenten är reell eftersom variationskoefficienten för arsenik till följd av sedimentens inhomogenitet sannolikt ligger runt 10 % (jfr. övriga metaller nedan). Minskningen är dock något större än de minst 20 %, som baserat på blandningsfaktorn (se avsnitt 2.5 ovan), krävs för att en förändring skall kunna detekteras vid ett tioårigt provtagningsintervall, men mindre än de 35 % som krävs för motsvarande bedömning vid ett femårigt provtagningsintervall.

Tabell 4:6. Totalt organiskt kol (TOC), arsenik (As), kadmium (Cd), krom (Cr), koppar (Cu), kvicksilver (Hg), nickel (Ni), bly (Pb), vanadin (V) och zink (Zn) i ytsedimenten (0–1 cm) i Stenungsundsområdet 1975, 1981, 1985, 1995 och 2000. Data finns inte från alla år.

Total organic carbon (TOC), arsenic (As), cadmium (Cd), chromium (Cr), copper (Cu), mercury (Hg), nickel (Ni), lead (Pb), vanadium (V) and zinc (Zn) in the surficial sediments (0–1 cm) of the Stenungsunds area in 1975, 1981, 1985, 1995 and 2000. Data are lacking for some years.

Station	År	TOC g/kg	As mg/kg	Cd mg/kg	Cr mg/kg	Cu mg/kg	Hg mg/kg	Mn mg/kg	Ni mg/kg	Pb mg/kg	Sn mg/kg	V mg/kg	Zn mg/kg
A3	1972	-	-	-	-	-	0,21	-	-	-	-	-	-
	1975	29,5	-	-	35	30	-	-	25	50	-	-	160
	1981	34,8	-	0,45	51	70	-	-	-	54	-	-	-
	1985	40,8	-	0,15	-	28	-	-	-	38	-	53	-
	1995	26,8	14,3	0,08	41,6	20,8	0,12	-	22,8	34	3,3	73,2	133
	2000	26	14	0,16	42	23	0,085	510	25	21	4,2	78	98
B3	1972	-	-	-	-	-	0,18	-	-	-	-	-	-
	1975	29,5	-	-	42	33	-	-	24	46	-	-	160
	1981	37,1	-	0,49	44	220	-	-	-	49	-	-	-
	1985	35,6	-	0,07	-	28	-	-	-	35	-	57	-
	1995	26,1	25,5	0,04	43,5	21,8	0,14	-	23,7	34,1	4,1	80,1	138
	2000	26	14	0,12	44	23	0,078	570	26	36	4,7	83	96
C2	1972	-	-	-	-	-	0,1	-	-	-	-	-	-
	1975	23,1	-	-	24	27	-	-	21	30	-	-	120
	1981	13,3	-	0,96	21	61	-	-	-	20	-	-	-
	1985	35,6	-	0,37	-	26	-	-	-	15	-	43	-
	1995	36,3	14,2	0,14	35,5	23	0,08	-	20,2	21,3	3,5	65,3	125
	2000	29	10	0,21	33	22	0,052	360	21	21	2,9	57	76
D1	1972	-	-	-	-	-	0,18	-	-	-	-	-	-
	1975	21,5	-	-	21	20	-	-	16	15	-	-	100
	1981	21,5	-	1	30	51	-	-	-	19	-	-	-
	1985	32,5	-	1,1	-	22	-	-	-	14	-	38	-
	1995	30,1	9,8	0,28	28,7	19,8	0,07	-	16,8	14,6	2,8	50,4	98,9
	2000	15	5,8	0,16	21	14	0,039	210	14	12	2	39	49
D7	1972	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	1975	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	1981	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	1985	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	1995	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	2000	22	7,1	0,2	27	19	0,067	260	17	17	2,4	47	64
E1	1972	-	-	-	-	-	0,25	-	-	-	-	-	-
	1975	26,5	-	-	24	48	-	-	14	30	-	-	120
	1981	29	-	0,62	36	99	-	-	-	33	-	-	-
	1985	31,8	-	0,08	-	34	-	-	-	17	-	48	-
	1995	26	19	0,08	38,8	24,3	0,12	-	21,4	25,2	4,1	71,8	128
	2000	22	6,7	0,14	29	20	0,067	320	18	21	3,1	51	67
E2	1972	-	-	-	-	-	0,23	-	-	-	-	-	-
	1975	29,5	-	-	34	48	-	-	20	37	-	-	150
	1981	34,8	-	0,47	39	80	-	-	-	34	-	-	-
	1985	31,1	-	0,91	-	31	-	-	-	26	-	55	-
	1995	24,9	18,5	0,07	40	22	0,12	-	21	26,8	4	74	129
	2000	24	13	0,12	37	22	0,072	470	22	29	4,4	62	81
E3	1972	-	-	-	-	-	0,3	-	-	-	-	-	-
	1975	30,4	-	-	32	46	-	-	18	38	-	-	150
	1981	33,6	-	0,55	38	90	-	-	-	42	-	-	-

Station	År	TOC g/kg	As mg/kg	Cd mg/kg	Cr mg/kg	Cu mg/kg	Hg mg/kg	Mn mg/kg	Ni mg/kg	Pb mg/kg	Sn mg/kg	V mg/kg	Zn mg/kg
	1985	31,7	-	0,07	-	35	-	-	-	31	-	53	-
	1995	26,8	11,8	0,12	40,1	25,1	0,13	-	13,6	27	4,6	71,2	131
	2000	26	12	0,1	35	23	0,077	580	21	28	3,9	60	79
F2	1972	-	-	-	-	-	0,31	-	-	-	-	-	-
	1975	26,9	-	-	29	47	-	-	14	37	-	-	130
	1981	30,7	-	0,63	42	121	-	-	-	33	-	-	-
	1985	26,7	-	0,04	-	56	-	-	-	26	-	48	-
	1995	22,4	11	0,11	26,3	77,8	0,09	-	13,6	19,7	5,8	45,7	92,4
	2000	25	9,7	0,12	32	32	0,069	370	19	24	4	52	69
F4	1972	-	-	-	-	-	0,48	-	-	-	-	-	-
	1975	32	-	-	34	46	-	-	23	38	-	-	160
	1981	33,1	-	0,54	47	87	-	-	-	35	-	-	-
	1985	31,1	-	0,36	-	36	-	-	-	30	-	55	-
	1995	28,2	19	0,11	43,1	27,4	0,13	-	25,5	28,3	6	82,2	146
	2000	29	14	0,11	35	22	0,073	680	22	30	4,3	65	84
G1	1972	-	-	-	-	-	0,25	-	-	-	-	-	-
	1975	31,2	-	-	30	42	-	-	19	37	-	-	150
	1981	36,5	-	0,56	39	84	-	-	-	34	-	-	-
	1985	31,9	-	0,67	-	140	-	-	-	26	-	54	-
	1995	27,6	4,1	0,12	41,5	26	0,12	-	24,1	26,1	4,2	80,1	141
	2000	20	7,8	0,12	28	20	0,078	280	17	24	4,4	48	67
H3	1972	-	-	-	-	-	0,29	-	-	-	-	-	-
	1975	27,8	-	-	32	38	-	-	17	35	-	-	150
	1981	31,9	-	0,56	35	72	-	-	-	33	-	-	-
	1985	25,3	-	0,18	-	26	-	-	-	33	-	45	-
	1995	26,2	8,9	0,16	36,8	23,9	0,11	-	20,9	23,7	3,4	69,6	128
	2000	27	11	0,13	32	20	0,061	460	20	25	4,3	58	75
I2	1972	-	-	-	-	-	0,3	-	-	-	-	-	-
	1975	31,4	-	-	32	37	-	-	22	37	-	-	150
	1981	31,3	-	0,6	36	84	-	-	-	32	-	-	-
	1985	33,8	-	1,1	-	34	-	-	-	30	-	56	-
	1995	29,3	13,1	0,16	39,7	23,8	0,13	-	22,8	28,4	4,4	78,4	138
	2000	30	12	0,12	38	23	0,076	780	23	31	4,5	69	85
K2	1972	-	-	-	-	-	0,17	-	-	-	-	-	-
	1975	32,7	-	-	24	36	-	-	16	49	-	-	160
	1981	42,3	-	0,54	42	88	-	-	-	51	-	-	-
	1985	27,2	-	2,1	-	28	-	-	-	36	-	45	-
	1995	28,5	16,4	0,16	42,9	25,7	0,12	-	23,8	33,3	5,6	56,2	155
	2000	30	14	0,11	37	24	0,074	1100	24	35	4,8	69	91

Tabell 4:7 Ytsedimentens (0–1 cm) miljökvalitet i Stenungsundsområdet 1995–2000 med avseende på arsenikhalten. Klassning enligt svenska bedömningsgrunder (Naturvårdsverket 1999).

The environmental quality of the surface sediments (0–1 cm) in the Stenungsund area with respect to the arsenic content 1995–2000. Classification according to Swedish Environmental Quality Criteria (Naturvårdsverket 1999).

mg/kg	As 1972	As 1975	As 1981	As 1985	As 1995	As 2000
A3					14,3	14
B3					25,5	14
C2					14,2	10
D1					9,8	5,8
D7						7,1
E1					19	6,7
E2					18,5	13
E3					11,8	12
F2					11	9,7
F4					19	14
G1					4,1	7,8
H3					8,9	11
I2					13,1	12
K2					16,4	14

Metaller Avvikelse från jämförvärde	
Klass 1	Ingen obetydlig avvikelse
Klass 2	Liten avvikelse
Klass 3	Tydlig avvikelse
Klass 4	Stor avvikelse
Klass 5	Mycket stor avvikelse

4.5.9.2 Kadmium

Ytsedimenten innehåll av kadmium (Cd) år 2000 varierar mellan 0,1 och 0,21 mg/kg ts med ett medelvärde och medianvärde av 0,14 respektive 0,12 mg/kg ts ((tabellerna 4:6 och 4:8). Den areella variationen av Cd i ytsedimentet (0–1 cm) illustreras i figur 4:41.

Enligt svenska bedömningsgrunder för kust- och havssediment (Naturvårdsverket 1999) faller med avseende på kadmium samtliga stationer från år 2000 i endera av tillståndsklasserna I och II (*ingen/obetydlig* till *liten avvikelse* från nationella jämförvärdet), dvs. miljökvaliteten från 1995 har bibehållits. Gentemot 1981 och 1985 har miljökvaliteten med avseende på kadmium förbättrats avsevärt. 1981 låg kvaliteten i allmänhet i tillståndsklass III, dvs. sedimenten uppvisade vid den tidpunkten en *tydlig avvikelse* från det nationella jämförvärdet (tabell 4:9).

Tabell 4:8, Spridning, medelvärden och medianvärden för några tungmetaller i ytsedimenten (0–1 cm) i Stenungsundsområdet 1975–2000.
Range, means and medians of some heavy metals in the surficial sediments (0–1 cm) of the Stenungsund area in 1975–2000.

Element mg/kg	År	n	Intervall	Medelvärde MV	Medianvärde Md	Standardavvikelse s
As	1995	17	4,1–26	14	14	5,8
	2000	14	5,8–14	10,8	11,5	2,9
Cd	1981	17	0,45–1	0,60	0,55	0,16
	1985	17	0,04–2,1	0,56	0,29	0,61
	1995	17	0,04–0,28	0,12	0,11	0,056
	2000	14	0,1–0,21	0,14	0,12	0,034
Cr	1975	17	21–42	31	32	5,8
	1981	17	21–51	39	40	6,9
	1995	17	17–44	38	40	7,2
	2000	14	21–44	34	34	6,1
Cu	1975	17	20–48	38	37	8,4
	1981	17	51–220	89	84	37
	1985	17	15–140	37	31	28
	1995	17	9–78	26	24	14
	2000	14	14–32	22	22	3,9
Hg	1972	17	0,1–0,48	0,24	0,23	0,086
	1995	17	0,05–0,21	0,12	0,12	0,034
	2000	14	0,04–0,09	0,069	0,073	0,012
Mn	2000	14	210–1100	496	465	239
Ni	1975	17	14–25	19	19	3,4
	1995	17	9–26	21	22	4,6
	2000	14	14–26	21	21	3,4
Pb	1975	17	15–50	37	37	8,0
	1981	17	19–54	35	34	9,4
	1985	17	14–77	30	30	14
	1995	17	13–38	26	27	6,7
	2000	14	12–36	25	25	6,7
Sn	1995	17	1,9–6	4,2	4,1	1,2
	2000	14	2,0–4,8	3,9	4,3	0,89
V	1985	17	22–57	48	48	8,6
	1995	17	35–82	69	73	14
	2000	14	39–83	60	59	12
Zn	1975	17	100–160	144	150	17
	1995	17	61–155	127	133	23
	2000	14	49–98	77	78	13

Förändringen på respektive station av sedimentens kadmiumhalter mellan åren 1981 och 2000 illustreras i figur 4:42. På de södra stationerna (A3, B3, C2, E1 och E2) har kadmiumhalten ökat något medan den norr därom sjunkit eller ligger kvar på en oförändrad nivå sedan 1995. Baserat på medel- och medianvärdesförändringarna har halterna ökat med 16 % respektive 9 % (fig. 4:43). Sedan 1981 har halten i genomsnitt minskat med 77 %. Förändringarna av Cd i ytsedimenten är reella eftersom variationskoefficienten för kadmium till följd av sedimentens inhomogenitet har analyserats och beräknats till 4,3±2,7 % (Cato 1997a). Ökningen är dock mindre än de minst 35 %, som baserat på blandningsfaktorn (se avsnitt 2.5 ovan), krävs för att en förändring skall kunna detekteras vid ett femårigt provtagningsintervall, medan minskningen sedan 1981 är större än de minst 20 % som baserat på blandningsfaktorn krävs vid ett tioårigt provtagningsintervall.

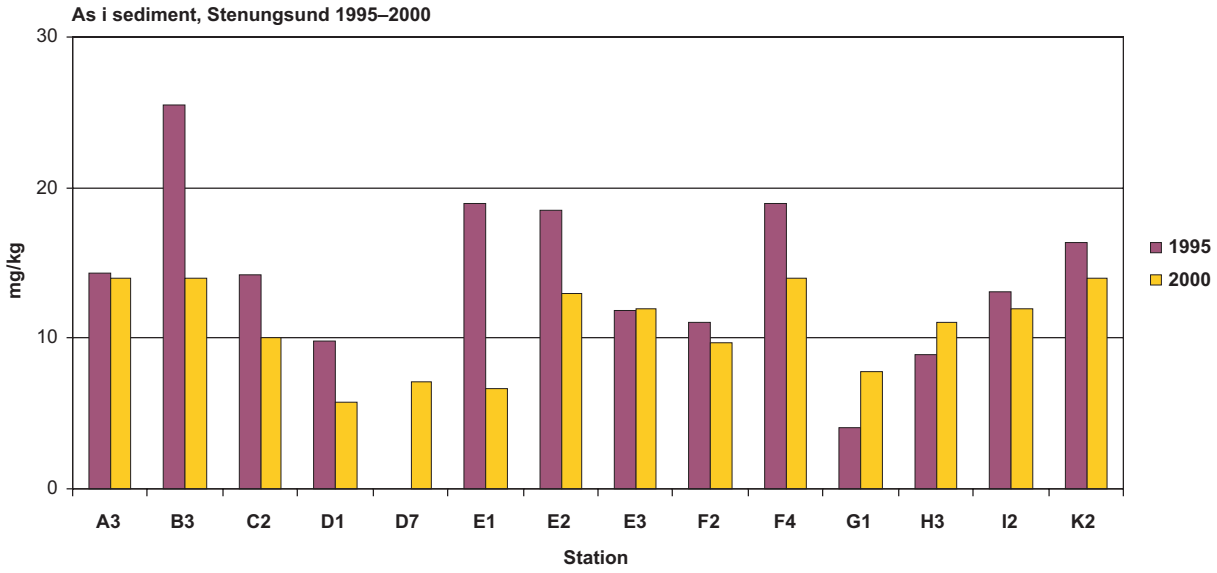
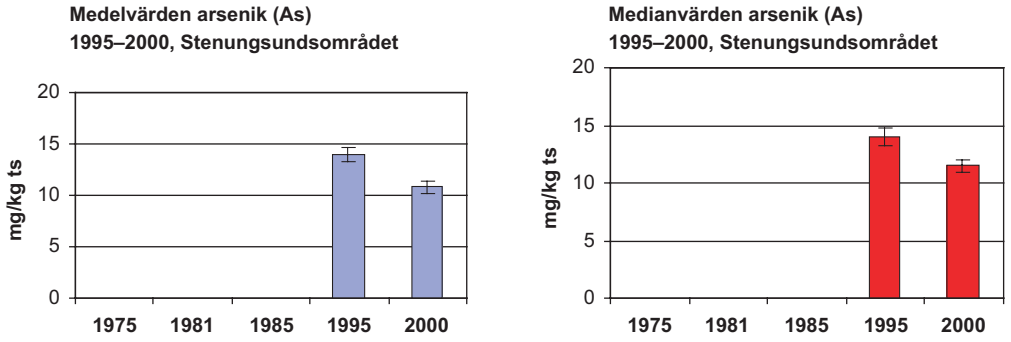


Fig. 4:39. Koncentrationen av arsenik (As, mg/kg ts) i ytsedimentet (0–1 cm) på respektive station i Stenungsundsområdet 1995–2000.
The concentration of arsenic (As, mg/kg dw) in the surficial sediments (0–1 cm) at each station in the Stenungsund area in 1995–2000 respectively.



Fig, 4:40, Medelvärden (t.v.) och medianvärden (t.h.) för arsenik (As) i Stenungsundsområdets ytsediment (0–1 cm) mellan 1995 och 2000 (n = 14). Data saknas för 1975–1985.
Mean (left) and median (right) values of arsenic (As) between 1995 and 2000 in the surficial sediments (0–1 cm) of the Stenungsund area (n = 14). Data are lacking for 1975–1985.

Tabell 4:9 Ytsedimentens (0–1 cm) miljökvalitet i Stenungsundsområdet 1981–2000 med avseende på kadmiumhalten. Klassning enligt svenska bedömningsgrunder (Naturvårdsverket 1999).

The environmental quality of the surface sediments (0–1 cm) in the Stenungsund area with respect to the cadmium content 1981–2000. Classification according to Swedish Environmental Quality Criteria (Naturvårdsverket 1999).

mg/kg	Cd 1972	Cd 1975	Cd 1981	Cd 1985	Cd 1995	Cd 2000
A3			0,45	0,15	0,08	0,16
B3			0,49	0,07	0,04	0,12
C2			0,96	0,37	0,14	0,21
D1			1	1,1	0,28	0,16
D7						0,2
E1			0,62	0,08	0,08	0,14
E2			0,47	0,91	0,07	0,12
E3			0,55	0,07	0,12	0,1
F2			0,63	0,04	0,11	0,12
F4			0,54	0,36	0,11	0,11
G1			0,56	0,67	0,12	0,12
H3			0,56	0,18	0,16	0,13
I2			0,6	1,1	0,16	0,12
K2			0,54	2,1	0,16	0,11

Metaller Avvikelse från jämförvärde	
Klass 1	Ingen obetydlig avvikelse
Klass 2	Liten avvikelse
Klass 3	Tydlig avvikelse
Klass 4	Stor avvikelse
Klass 5	Mycket stor avvikelse

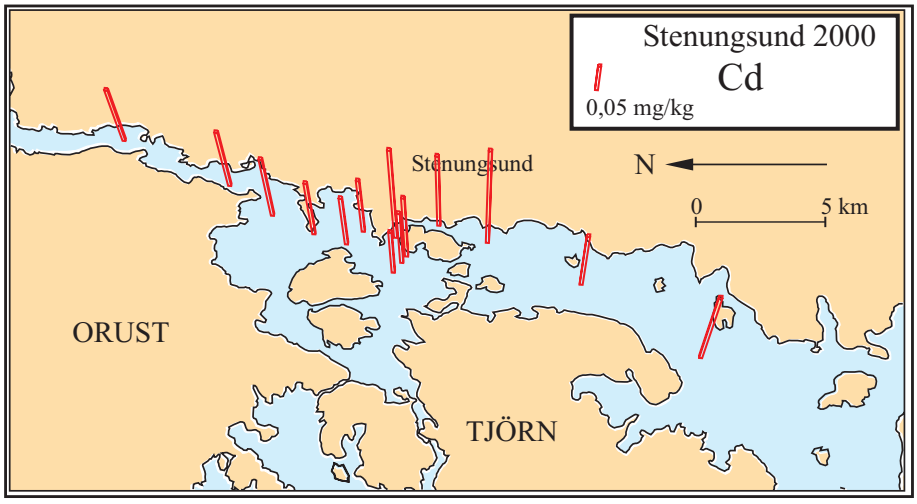


Fig. 4:41. Fördelningen av kadmium (mg/kg) i Stenungsundsområdets ytsediment (0–1 cm) 2000.

The distribution of cadmium (mg/kg) in 2000 in the surficial sediments (0–1 cm) of the Stenungsund area.

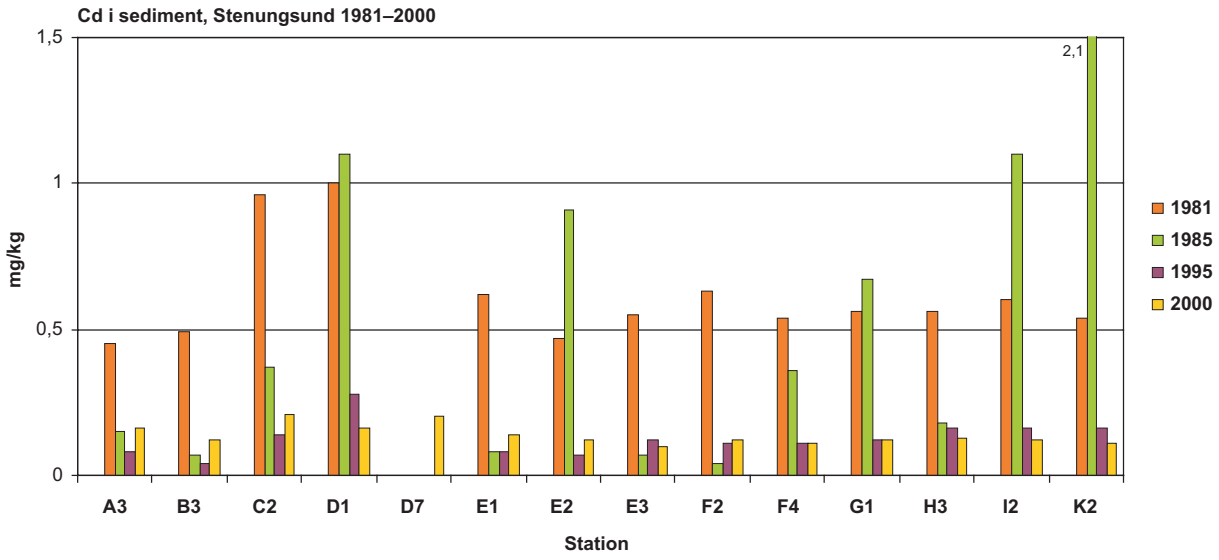


Fig. 4:42. Koncentrationen av kadmium (Cd, mg/kg ts) i ytsedimentet (0–1 cm) på respektive station i Stenungsundsområdet 1981–2000.

The concentration of cadmium (Cd, mg/kg dw) in the surficial sediments (0–1 cm) at each station in the Stenungsund area in 1981–2000 respectively.

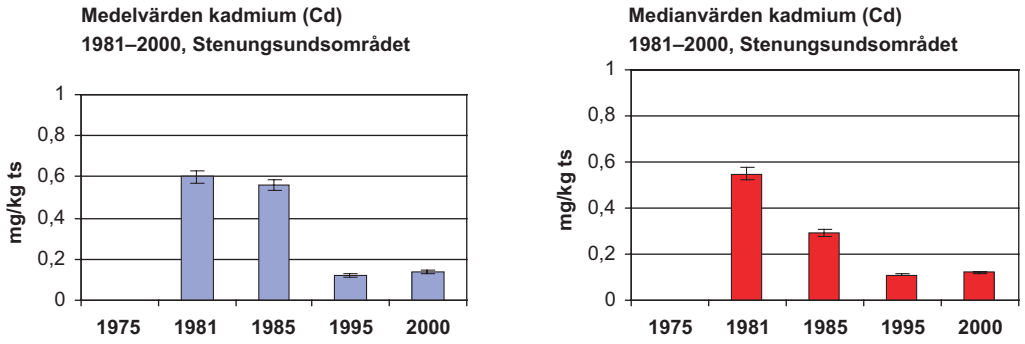


Fig. 4:43. Medelvärden (t.v.) och medianvärden (t.h.) för kadmium (Cd) i Stenungsundsområdets ytsediment (0–1 cm) mellan 1981 och 2000 (n = 14). Data saknas för 1975.

Mean (left) and median (right) values of cadmium (Cd) between 1981 and 2000 in the surficial sediments (0–1 cm) of the Stenungsund area (n = 14). Data is lacking for 1975.

4.5.9.3 Krom

Ytsedimenten innehåll av krom (Cr) år 2000 varierar mellan 21 och 44 mg/kg ts med ett medelvärde och medianvärde av 34 mg/kg ts (tabellerna 4:6 och 4:8). Den areella variationen av Cr i ytsedimentet (0–1 cm) illustreras i figur 4:44. Fördelningsmönstret är förhållandevis enhetligt och jämnt.

Enligt svenska bedömningsgrunder för kust- och havssediment (Naturvårdsverket 1999) faller med avseende på krom samtliga stationer från år 2000 i endera av tillståndsklasserna I och II (*ingen/obetydlig* till *liten avvikelse* från nationella jämförvärdet), dvs. miljökvaliteten från 1995 och tidigare har bibehållits om station A3 från 1981 undantags. I det senare fallet har kvaliteten förbättrats (tabell 4:10).

Förändringen på respektive station av sedimentens kromhalter mellan åren 1975 och 2000 illustreras i figur 4:45. Med undantag för station F2 har kromhalten minskat eller ligger kvar på en oförändrad nivå sedan 1995. Baserat på medel- och medianvärdesförändringarna har halterna varit oförändrade mellan 1981 och 1995 men därefter minskat med 11 % respektive 15 % (fig. 4:46). Förändringarna av Cr i ytsedimenten är reella eftersom variationskoefficienten för krom till följd av sedimentens inhomogenitet har analyserats och beräknats till 9±2,7 % (Cato 1997a). Minskningen är dock mindre än de minst 20 respektive 35 %, som baserat på blandningsfaktorn (se avsnitt 2.5 ovan), krävs för att en förändring skall kunna detekteras vid ett tioårigt respektive femårigt provtagningsintervall.

Tabell 4:10 Ytsedimentens (0–1 cm) miljökvalitet i Stenungsundsområdet 1975–2000 med avseende på kromhalten. Klassning enligt svenska bedömningsgrunder (Naturvårdsverket 1999).

The environmental quality of the surface sediments (0–1 cm) in the Stenungsund area with respect to the chromium content 1975–2000. Classification according to Swedish Environmental Quality Criteria (Naturvårdsverket 1999).

mg/kg	Cr 1972	Cr 1975	Cr 1981	Cr 1985	Cr 1995	Cr 2000
A3		35	51		41,6	42
B3		42	44		43,5	44
C2		24	21		35,5	33
D1		21	30		28,7	21
D7						27
E1		24	36		38,8	29
E2		34	39		40	37
E3		32	38		40,1	35
F2		29	42		26,3	32
F4		34	47		43,1	35
G1		30	39		41,5	28
H3		32	35		36,8	32
I2		32	36		39,7	38
K2		24	42		42,9	37

Metaller	Avvikelse från jämförvärde
Klass 1	Ingen obetydlig avvikelse
Klass 2	Liten avvikelse
Klass 3	Tydlig avvikelse
Klass 4	Stor avvikelse
Klass 5	Mycket stor avvikelse

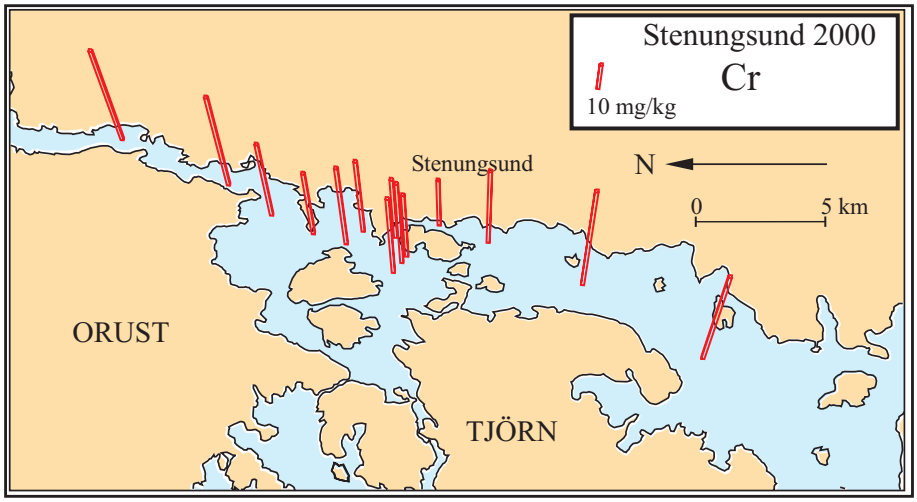


Fig. 4:44. Fördelningen av krom (mg/kg) i Stenungsundsområdets ytsediment (0–1 cm) 2000.
The distribution of chromium (mg/kg) in 2000 in the surficial sediments (0-1) of the Stenungsund area.

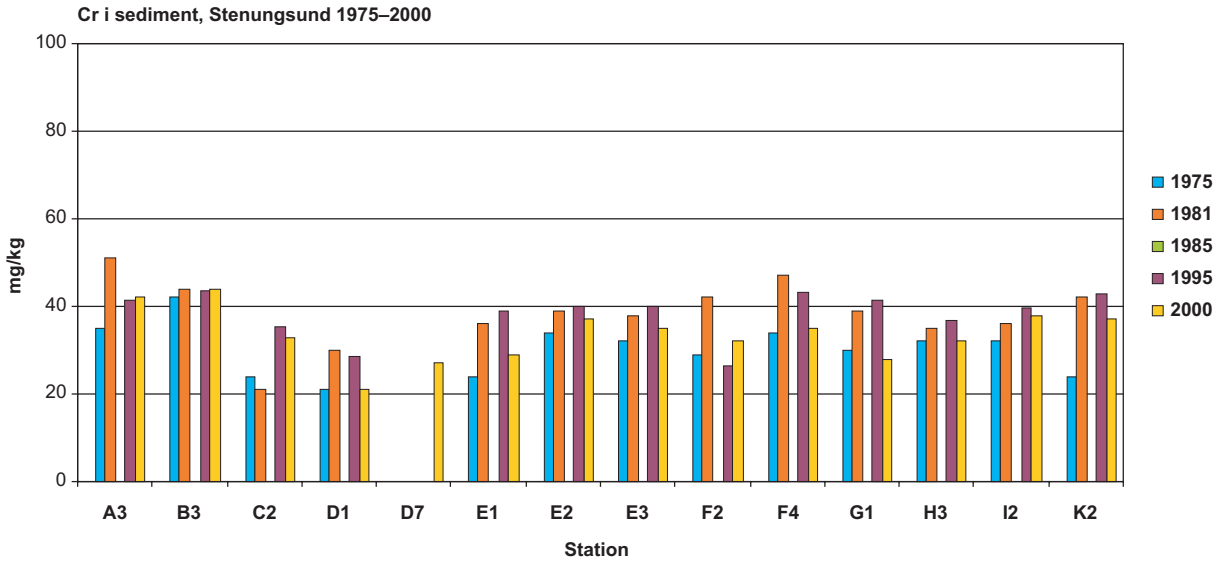


Fig. 4:45. Koncentrationen av krom (Cr, mg/kg ts) i ytsedimentet (0–1 cm) på respektive station i Stenungsundsområdet 1975–2000.
The concentration of chromium (Cr, mg/kg dw) in the surficial sediments (0–1 cm) at each station in the Stenungsund area in 1975–2000 respectively.

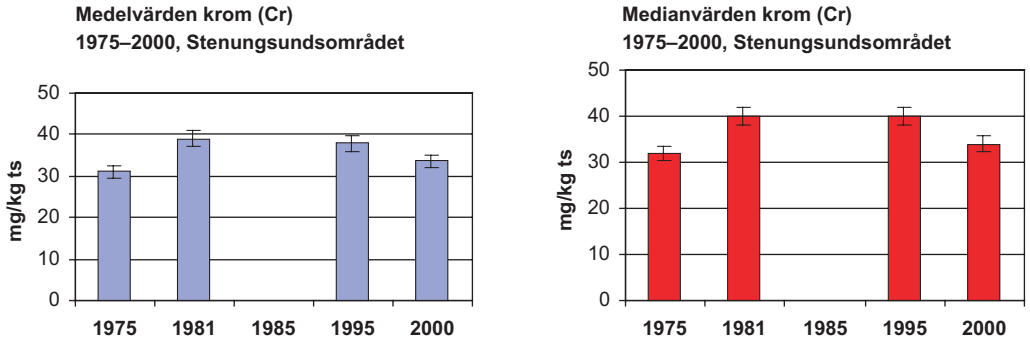


Fig. 4:46. Medelvärden (t.v.) och medianvärden (t.h.) för krom (Cr) i Stenungsundsområdets ytsediment (0–1 cm) mellan 1975 och 2000 (n = 17). Data saknas för 1985.
Mean (left) and median (right) values of chromium (Cr) between 1975 and 2000 in the surficial sediments (0–1 cm) of the Stenungsund area (n = 17).Data is lacking for 1985.

4.5.9.4 Koppar

Ytsedimenten innehåll av koppar (Cu) år 2000 varierar mellan 14 och 32 mg/kg ts med ett medelvärde och medianvärde av 22 mg/kg ts (tabellerna 4:6 och 4:8). Den areella variationen av Cu i ytsedimentet (0–1 cm) illustreras i figur 4:47. Fördelningsmönstret är förhållandevis enhetligt och jämnt.

Enligt svenska bedömningsgrunder för kust- och havssediment (Naturvårdsverket 1999) faller med avseende på koppar samtliga stationer, utom en station (F2), från år 2000 i endera av tillståndsklasserna I och II (*ingen/obetydlig* till *liten avvikelse* från nationella jämförvärdet), dvs. miljökvaliteten från 1995 har bibehållits och till och med förbättrats från *stor avvikelse* till *tydlig avvikelse* vad avser station F2 (tabell 4:11). I förhållande till miljökvaliteten 1975 och i synnerhet 1981 har miljökvaliteten med avseende på koppar förbättrats avsevärt inom undersökningsområdet.

Förändringen på respektive station av sedimentens kopparhalter mellan åren 1975 och 2000 illustreras i figur 4:48. På samtliga stationer har koncentrationen minskat eller ligger kvar på en oförändrad nivå sedan 1995. Baserat på medel- och medianvärdesförändringarna har halterna minskat med 15 % respektive 8 % (fig. 4:49). Förändringarna av Cu i ytsedimenten är reella eftersom variationskoefficienten för koppar till följd av sedimentens inhomogenitet har analyserats och beräknats till 6,6±4,8 % (Cato 1977). Minskningen är dock mindre än de minst 35 %, som baserat på blandningsfaktorn (se avsnitt 2.5 ovan), krävs för att en förändring skall kunna detekteras vid ett femårigt provtagningsintervall. Sedan 1981 har medelvärdet minskat med 42 %, vilket är mer än de 20 % som krävs enligt omblandningsfaktorn.

Under åren 1962 till 1969 skedde utsläpp av kopparhaltigt avloppsvatten från tidigare Esso Chemical AB:s (numera Statoil Petrokemi AB) anläggning (Hannerz 1970). Detta visade sig bl.a. i ökade kopparhalter i sedimentet fram till 1981 (Cato 1986a). Inga spår av dessa utsläpp noterades vi undersökningarna år 2000.

Tabell 4:11 Ytsedimentens (0–1 cm) miljökvalitet i Stenungsundsområdet 1975–2000 med avseende på kopparhalten. Klassning enligt svenska bedömningsgrunder (Naturvårdsverket 1999).

The environmental quality of the surface sediments (0–1 cm) in the Stenungsund area with respect to the copper content 1975–2000. Classification according to Swedish Environmental Quality Criteria (Naturvårdsverket 1999).

mg/kg	Cu 1972	Cu 1975	Cu 1981	Cu 1985	Cu 1995	Cu 2000
A3	-	30	70	28	20,8	23
B3	-	33	220	28	21,8	23
C2	-	27	61	26	23	22
D1	-	20	51	22	19,8	14
D7						19
E1	-	48	99	34	24,3	20
E2	-	48	80	31	22	22
E3	-	46	90	35	25,1	23
F2	-	47	121	56	77,8	32
F4	-	46	87	36	27,4	22
G1	-	42	84	140	26	20
H3	-	38	72	26	23,9	20
I2	-	37	84	34	23,8	23
K2	-	36	88	28	25,7	24

Metaller Avvikelse från jämförvärde	
Klass 1	Ingen obetydlig avvikelse
Klass 2	Liten avvikelse
Klass 3	Tydlig avvikelse
Klass 4	Stor avvikelse
Klass 5	Mycket stor avvikelse

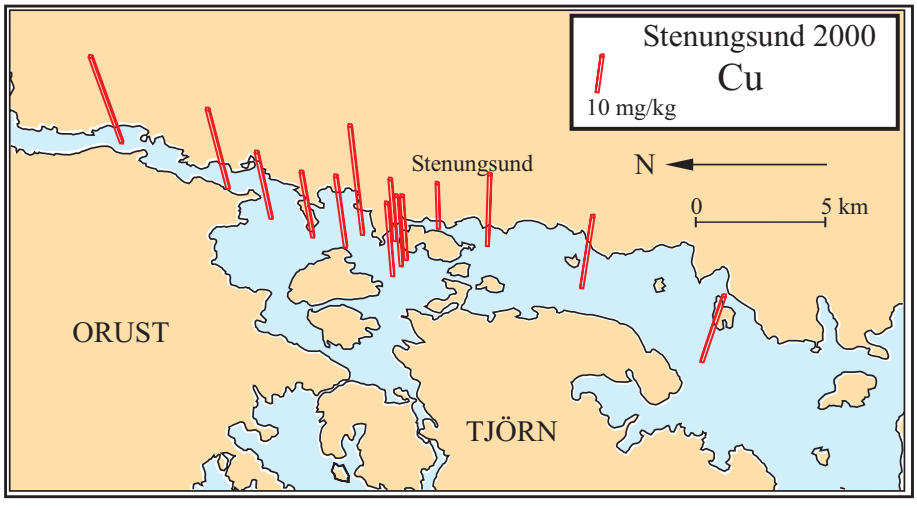


Fig. 4:47. Fördelningen av koppar (mg/kg) i Stenungsundsområdets ytsediment (0–1 cm) 2000.

The distribution of copper (mg/kg) in 2000 in the surficial sediments (0–1 cm) of the Stenungsund area.

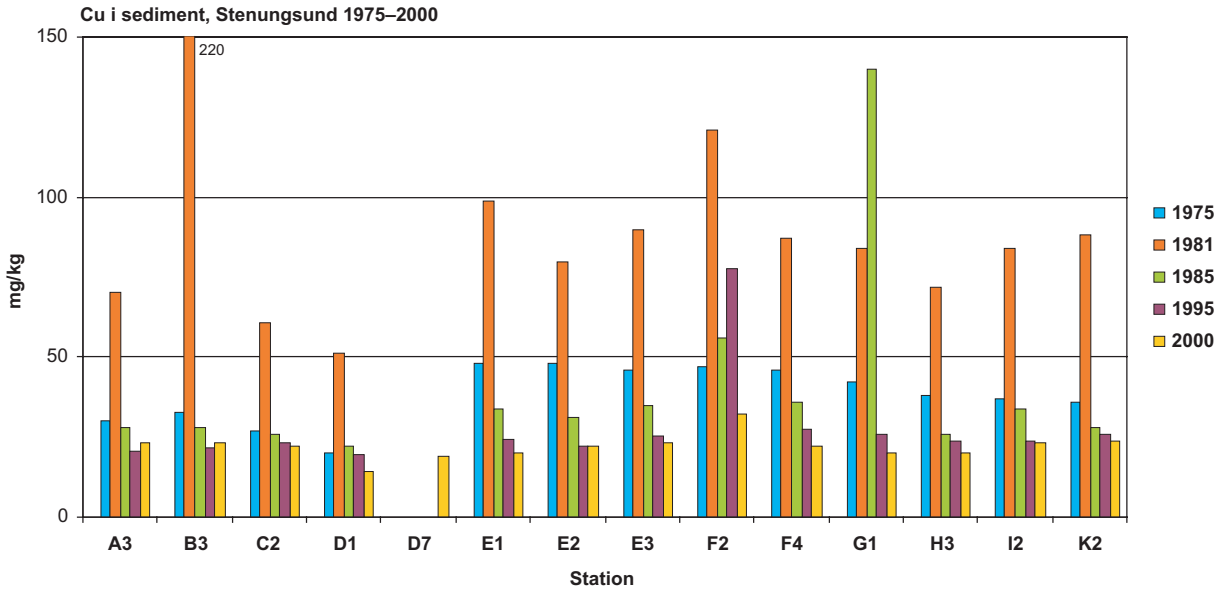


Fig. 4:48. Koncentrationen av koppar (Cu, mg/kg ts) i ytsedimentet (0–1 cm) på respektive station i Stenungsundsområdet 1975–2000. Streckade linjer visar ovre gräns för tillståndsklasser.

The concentration of copper (Cu, mg/kg dw) in the surficial sediments (0–1 cm) at each station in the Stenungsund area in 1975–2000 respectively. Hatched lines corresponds to the upper limit of the Guality criteria interval.

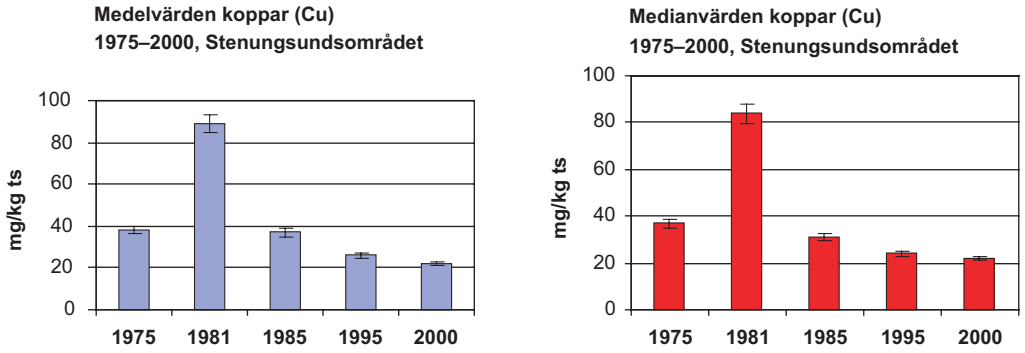


Fig. 49. Medelvärden (t.v.) och medianvärden (t.h.) för koppar (Cu) i Stenungsundsområdets ytsediment (0–1 cm) mellan 1975 och 2000 (n = 14).

Mean (left) and median (right) values of copper (Cu) between 1975 and 2000 in the surficial sediments (0–1 cm) of the Stenungsund area (n = 14).

4.5.9.5 Kvicksilver

Ytsedimenten innehåll av kvicksilver (Hg) år 2000 varierar mellan 0,04 och 0,09 mg/kg ts med ett medelvärde och medianvärde av 0,069 respektive 0,073 mg/kg ts (tabellerna 4:6 och 4:8). Den areella variationen av Hg i ytsedimentet (0–1 cm) illustreras i figur 4:50. Fördelningsmönstret är förhållandevis enhetligt och jämnt.

Enligt svenska bedömningsgrunder för kust- och havssediment (Naturvårdsverket 1999) faller med avseende på kvicksilver samtliga stationer från år 2000 i endera av tillståndsklasserna I och II (*ingen/obetydlig* till *liten avvikelse* från nationella jämförvärdet). Resultaten visar att miljökvaliteten förbättrats avsevärt sedan 1972 och 1995 då avvikelsen från jämförvärdet var *stor alternativt tydlig* (tabell 4:12).

Förändringen på respektive station av sedimentens kvicksilverhalt mellan åren 1972 och 2000 illustreras i figur 4:51. På samtliga stationer har koncentrationen minskat sedan 1995. Baserat på medel- och medianvärdesförändringarna har halterna minskat med 43 % respektive 39 % (fig. 4:52). Sedan 1972 har medelvärdet minskat med 71 %. Förändringarna av Hg i ytsedimenten är reella eftersom variationskoefficienten för kvicksilver till följd av sedimentens inhomogenitet har analyserats och beräknats till 5,8±3,1 % (Cato 1977). Minskningen är också större än de minst 20 % respektive 35 %, som baserat på blandningsfaktorn (se avsnitt 2.5 ovan), krävs för att en förändring skall kunna detekteras vid ett tioårigt respektive femårigt provtagningsintervall.

Tabell 4:12 Ytsedimentens (0–1 cm) miljökvalitet i Stenungsundsområdet 1972–2000 med avseende på kvicksilverhalten. Klassning enligt svenska bedömningsgrunder (Naturvårdsverket 1999).

The environmental quality of the surface sediments (0–1 cm) in the Stenungsund area with respect to the mercury content 1972–2000. Classification according to Swedish Environmental Quality Criteria (Naturvårdsverket 1999).

mg/kg	Hg 1972	Hg 1975	Hg 1981	Hg 1985	Hg 1995	Hg 2000
A3	0,21	-	-	-	0,12	0,085
B3	0,18	-	-	-	0,14	0,078
C2	0,1	-	-	-	0,08	0,052
D1	0,18	-	-	-	0,07	0,039
D7						0,067
E1	0,25	-	-	-	0,12	0,067
E2	0,23	-	-	-	0,12	0,072
E3	0,3	-	-	-	0,13	0,077
F2	0,31	-	-	-	0,09	0,069
F4	0,48	-	-	-	0,13	0,073
G1	0,25	-	-	-	0,12	0,078
H3	0,29	-	-	-	0,11	0,061
I2	0,3	-	-	-	0,13	0,076
K2	0,17	-	-	-	0,12	0,074

Metaller Avvikelse från jämförvärde	
Klass 1	Ingen obetydlig avvikelse
Klass 2	Liten avvikelse
Klass 3	Tydlig avvikelse
Klass 4	Stor avvikelse
Klass 5	Mycket stor avvikelse

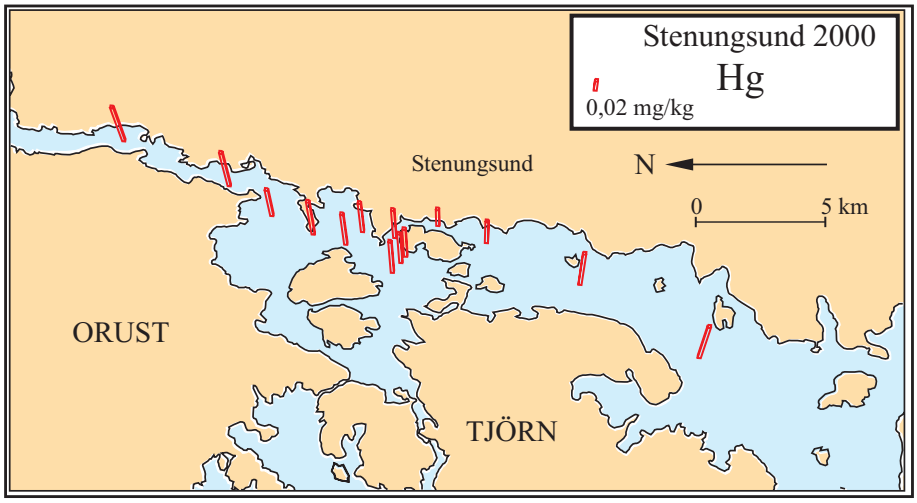


Fig. 4:50. Fördelningen av kvicksilver (mg/kg) i Stenungsundsområdets ytsediment (0–1 cm) 2000.

The distribution of mercury (mg/kg) in 2000 in the surficial sediments (0–1 cm) of the Stenungsund area.

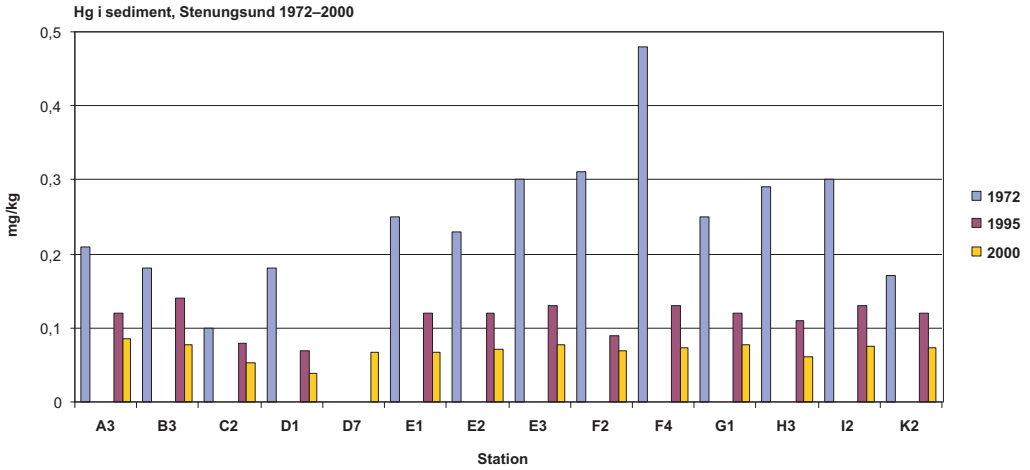


Fig. 4:51. Koncentrationen av kvicksilver (Hg, mg/kg ts) i ytsedimentet (0–1 cm) på respektive station i Stenungsundsområdet 1972–2000. Streckade linjer visar ovre gräns för tillståndsklasser.

The concentration of mercury (Hg, mg/kg dw) in the surficial sediments (0–1 cm) at each station in the Stenungsund area in 1972–2000 respectively. Hatched lines corresponds to the upper limit of the Guality criteria interval.

4.5.9.6 Mangan

Ytsedimenten innehåll av mangan (Mn) år 2000 varierar mellan 210 och 1 100 mg/kg ts med ett medelvärde och medianvärde av 496 respektive 465 mg/kg ts (tabellerna 4:6 och 4:8). Den areella variationen av Mn i ytsedimentet (0–1 cm) illustreras i figur 4:53 samt återges mer i detalj i figur 4:54. Fördelningsmönstret visar på en relativt generell ökning av manganhalterna från södra Hakefjorden till norra Halsefjorden och vidare norrut mot Havstensfjord.

Svenska bedömningsgrunder för mangan saknas. Koncentrationsintervallet ligger dock inom de intervall som konstaterats i andra områden utmed Bohuskusten, Skagerrak och Kattegatt (tabell 2:25, avsnitt 2, denna volym). Den stora variation som observeras är relaterad till de redoxförhållanden som råder i sedimentytan och bottenvattnet.

4.5.9.7 Nickel

Ytsedimenten innehåll av nickel (Ni) år 2000 varierar mellan 14 och 26 mg/kg ts med ett medelvärde och medianvärde av 21mg/kg ts (tabellerna 4:6 och 4:8). Den areella variationen av Ni i ytsedimentet (0–1 cm) illustreras i figur 4:55. Fördelningsmönstret är förhållandevis enhetligt och jämnt.

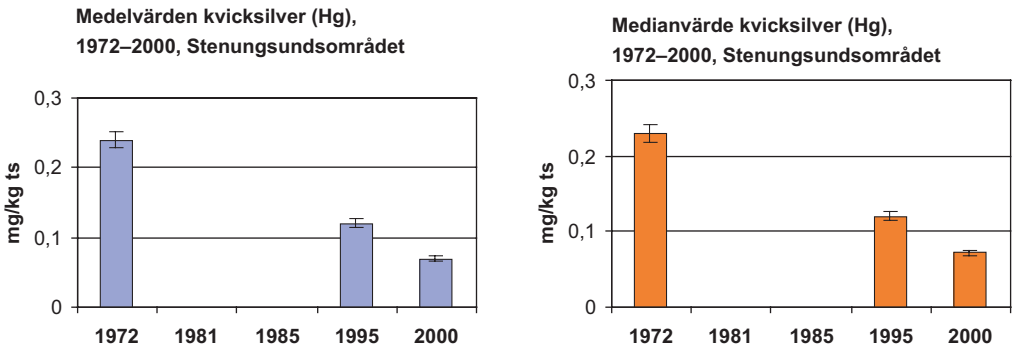


Fig. 4:52, Medelvärden (t.v.) och medianvärden (t.h.) för kvicksilver (Hg) i Stenungsundsområdets ytsediment (0–1 cm) mellan 1972 och 2000 (n = 14). Data saknas 1981 och 1985.

Mean (left) and median (right) values of mercury (Hg) between 1972 and 2000 in the surficial sediments (0–1 cm) of the Stenungsund area (n = 14). Data are lacking from 1981 and 1985.

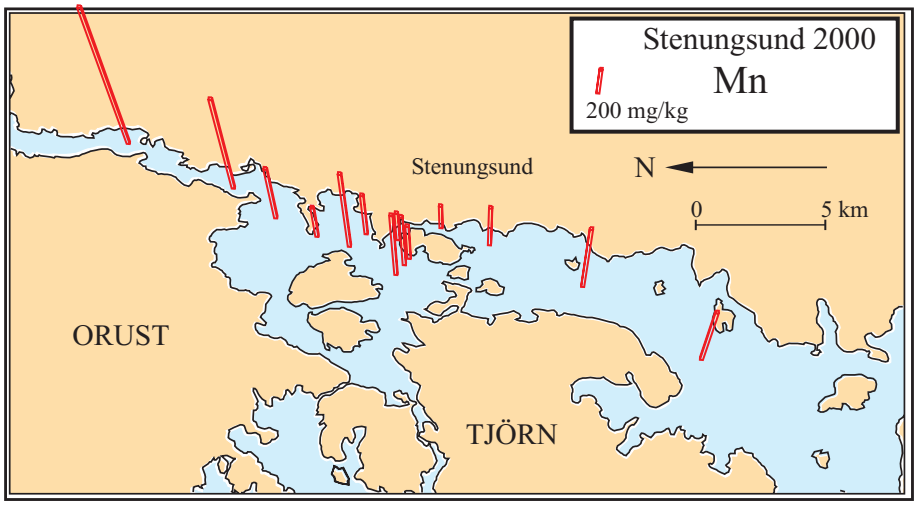


Fig. 4:53. Fördelningen av mangan (mg/kg) i Stenungsundsområdets ytsediment (0–1 cm)2000.

The distribution of manganese (mg/kg) in 2000 in the surficial sediments (0–1 cm) of the Sten-ungsund area.

Enligt svenska bedömningsgrunder för kust- och havssediment (Naturvårdsverket 1999) faller med avseende på nickel samtliga stationer från år 2000 i tillståndsklass I (*ingen/obetydlig avvikelse* från nationella jämförvärdet), dvs. miljökvaliteten från 1995 och 1975 är i området bibehållen med avseende på nickel (tabell 4:13).

Förändringen på respektive station av sedimentens nickelhalt mellan åren 1975 och 2000 illustreras i figur 4:56. Koncentrationen har både minskat och ökat sedan 1995. Det senare framförallt i områdets södra delar. Baserat på medel- och medianvärdesförändringarna har halterna inte märkbart förändrats sedan 1995 (fig. 4:57), men ökat med 16 % sedan 1975. De senare förändringarna av Ni i ytsedimenten är reella eftersom variationskoefficienten för kvicksilver till följd av sedimentens inhomogenitet har analyserats och beräknats till 8,4±4,8 % (Cato 1977). Minskningen är dock mindre än de minst 20 respektive 35 %, som baserat på blandningsfaktorn (se avsnitt 2.5 ovan), krävs för att en förändring skall kunna detekteras vid ett tioårigt respektive femårigt provtagningsintervall.

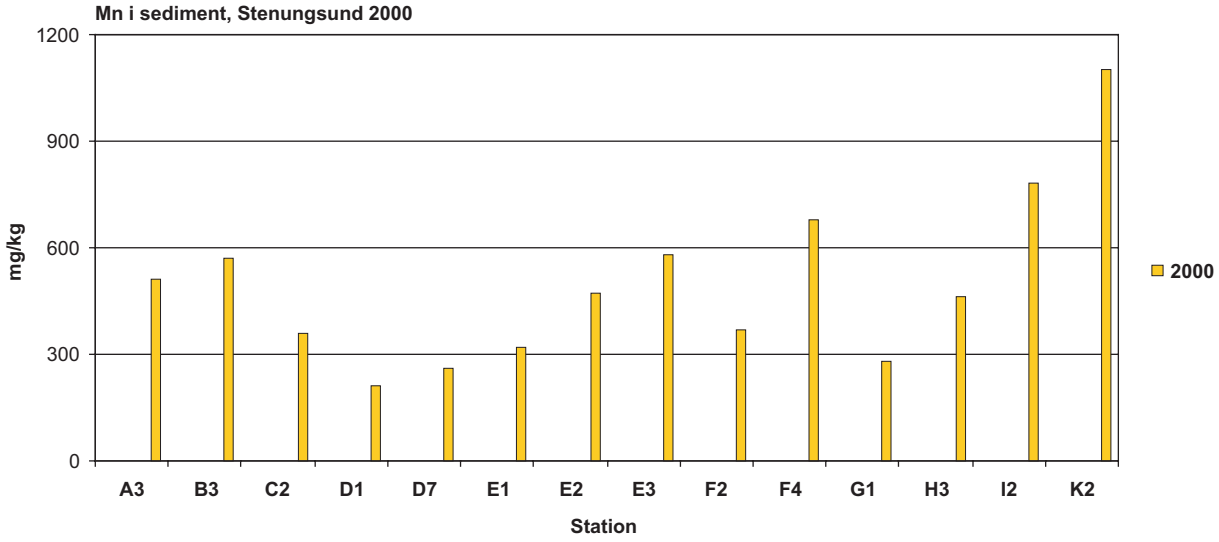


Fig. 4:54. Koncentrationen av mangan (Mn, mg/kg ts) i ytsedimentet (0–1 cm) på respektive station i Stenungsundsområdet 2000.
The concentration of manganese (Mn, mg/kg dw) in the surficial sediments(0–1 cm) at each station in the Stenungsund area in 2000 respectively.

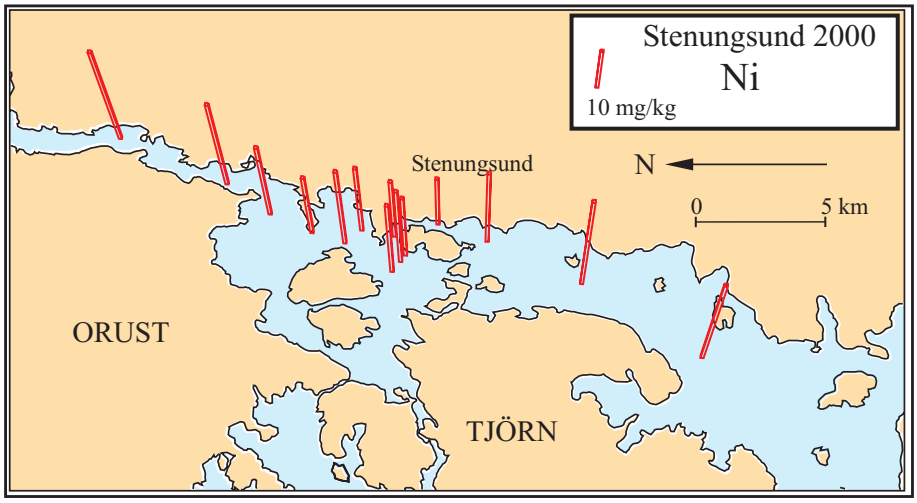


Fig. 4:55. Fördelningen av nickel (mg/kg) i Stenungsundsområdets ytsediment (0–1 cm) 2000.
The distribution of nickel (mg/kg) in 2000 in the surficial sediments (0–1 cm) of the Stenungsund area.

Tabell 4:13 Ytsedimentens (0–1 cm) miljökvalitet i Stenungsundsområdet 1975–2000 med avseende på nickelhalten. Klassning enligt svenska bedömningsgrunder (Naturvårdsverket 1999).

The environmental quality of the surface sediments (0–1 cm) in the Stenungsund area with respect to the nickel content 1975–2000. Classification according to Swedish Environmental Quality Criteria (Naturvårdsverket 1999).

mg/kg	Ni 1972	Ni 1975	Ni 1981	Ni 1985	Ni 1995	Ni 2000
A3	-	25	-	-	22,8	25
B3	-	24	-	-	23,7	26
C2	-	21	-	-	20,2	21
D1	-	16	-	-	16,8	14
D7						17
E1	-	14	-	-	21,4	18
E2	-	20	-	-	21	22
E3	-	18	-	-	13,6	21
F2	-	14	-	-	13,6	19
F4	-	23	-	-	25,5	22
G1	-	19	-	-	24,1	17
H3	-	17	-	-	20,9	20
I2	-	22	-	-	22,8	23
K2	-	16	-	-	23,8	24

Metaller Avvikelse från jämförvärde	
Klass 1	Ingen obetydlig avvikelse
Klass 2	Liten avvikelse
Klass 3	Tydlig avvikelse
Klass 4	Stor avvikelse
Klass 5	Mycket stor avvikelse

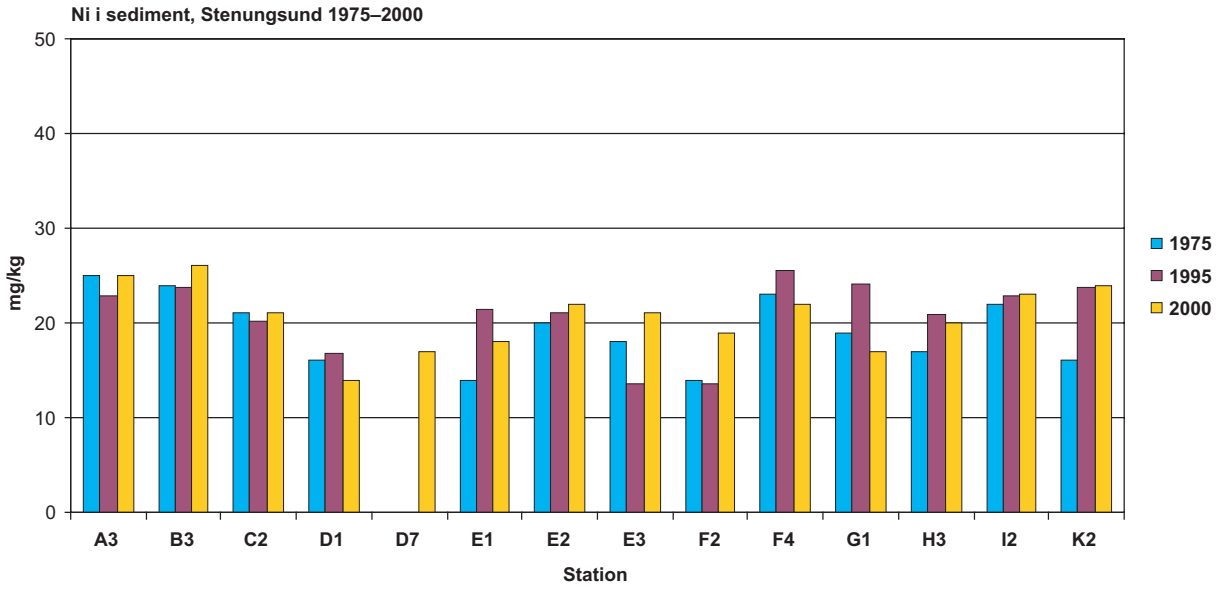


Fig. 4:56. Koncentrationen av nickel (Ni, mg/kg ts) i ytsedimentet (0–1 cm) på respektive station i Stenungsundsområdet 1975–2000.

The concentration of nickel (Ni, mg/kg dw) in the surficial sediments (0–1 cm) at each station in the Stenungsund area in 1975–2000 respectively.

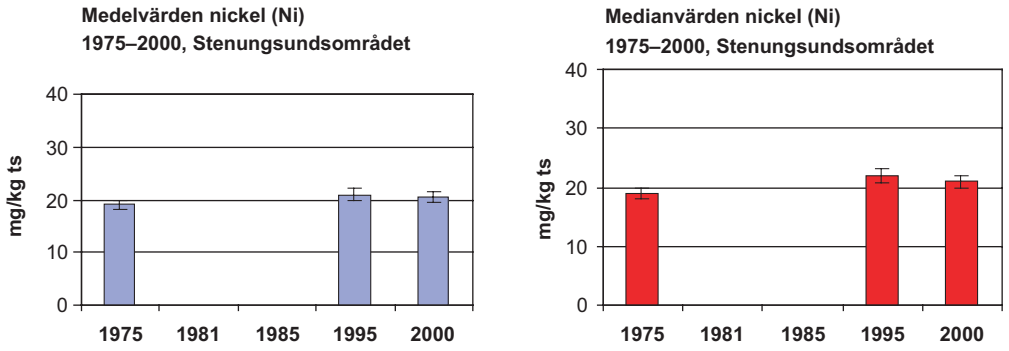


Fig. 4:57. Medelvärden (t.v.) och medianvärden (t.h.) för nickel (Ni) i Stenungsundsområdets ytsediment (0–1 cm) mellan 1975 och 2000 (n = 14). Data saknas för 1981 och 1985.

Mean (left) and median (right) values of nickel (Ni) between 1975 and 2000 in the surficial sediments (0–1 cm) of the Stenungsund area (n = 14). Data are lacking for 1981 and 1985.

4.5.9.8 Bly

Ytsedimenten innehåll av bly (Pb) år 2000 varierar mellan 12 och 36 mg/kg ts med ett medelvärde och medianvärde av 25 mg/kg ts (tabellerna 4:6 och 4:8). Den areella variationen av Pb i ytsedimentet (0–1 cm) illustreras i figur 4:58. Fördelningsmönstret är förhållandevis enhetligt och jämnt, men med något högre halter i områdets nordvästra del.

Enligt svenska bedömningsgrunder för kust- och havssediment (Naturvårdsverket 1999) faller med avseende på bly samtliga stationer från år 2000 i tillståndsklass I och II (*ingen/obetydlig avvikelse* till *liten avvikelse* från nationella jämförvärdet), dvs. miljökvaliteten från 1995 och 1985 är i området bibehållen med avseende på bly (tabell 4:14). I jämförelse med 1975 och 1981 har miljökvaliteten i detta avseende genomgått en tydlig förbättring.

Förändringen på respektive station av sedimentens blyhalter mellan åren 1975 och 2000 illustreras i figur 4:59. I förhållande till 1995 års data har halterna dels minskat på vissa stationer, dels ökat eller är oförändrade på andra stationer.

Baserat på medel- och medianvärdesförändringarna har halterna minskat med 4 % respektive 8 % (fig. 4:60). Förändringarna av Pb i ytsedimenten är reella eftersom variationskoefficienten för bly till följd av sedimentens inhomogenitet har analyserats och beräknats till 6,1±2,7 % (Cato 1997). Minskningen är dessutom mindre än de minst 35 %, som baserat på blandningsfaktorn (se avsnitt 2.5 ovan), krävs för att en förändring skall kunna detekteras vid ett femårigt provtagningsintervall. Sedan 1975 har dock halten i genomsnitt minskat med 32 %, vilket är mer än de 20 % som baserat på blandningsfaktorn krävs vid ett tioårigt provtagningsintervall.

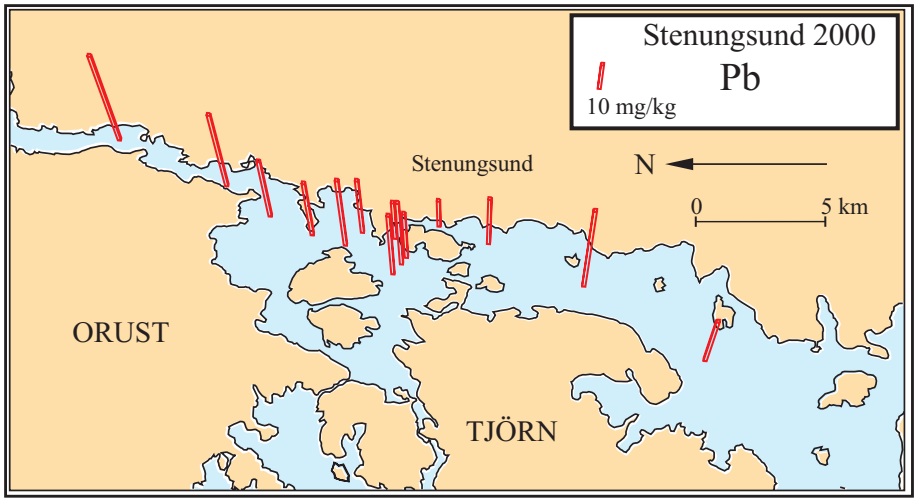


Fig. 4:58. Fördelningen av bly (mg/kg) i Stenungsundsområdets ytsediment (0–1 cm) 2000.

The distribution of lead (mg/kg) in 2000 in the surficial sediments (0–1 cm)of the Stenungsund area.

Tabell 4:14 Ytsedimentens (0–1 cm) miljökvalitet i Stenungsundsområdet 1975–2000 med avseende på blyhalten. Klassning enligt svenska bedömningsgrunder (Naturvårdsverket 1999).

The environmental quality of the surface sediments (0–1 cm) in the Stenungsund area with respect to the lead content 1975–2000. Classification according to Swedish Environmental Quality Criteria (Naturvårdsverket 1999).

mg/kg	Pb 1972	Pb 1975	Pb 1981	Pb 1985	Pb 1995	Pb 2000
A3	-	50	54	38	34	21
B3	-	46	49	35	34,1	36
C2	-	30	20	15	21,3	21
D1	-	15	19	14	14,6	12
D7						17
E1	-	30	33	17	25,2	21
E2	-	37	34	26	26,8	29
E3	-	38	42	31	27	28
F2	-	37	33	26	19,7	24
F4	-	38	35	30	28,3	30
G1	-	37	34	26	26,1	24
H3	-	35	33	33	23,7	25
I2	-	37	32	30	28,4	31
K2	-	49	51	36	33,3	35

Metaller Avvikelse från jämförvärde	
Klass 1	Ingen obetydlig avvikelse
Klass 2	Liten avvikelse
Klass 3	Tydlig avvikelse
Klass 4	Stor avvikelse
Klass 5	Mycket stor avvikelse

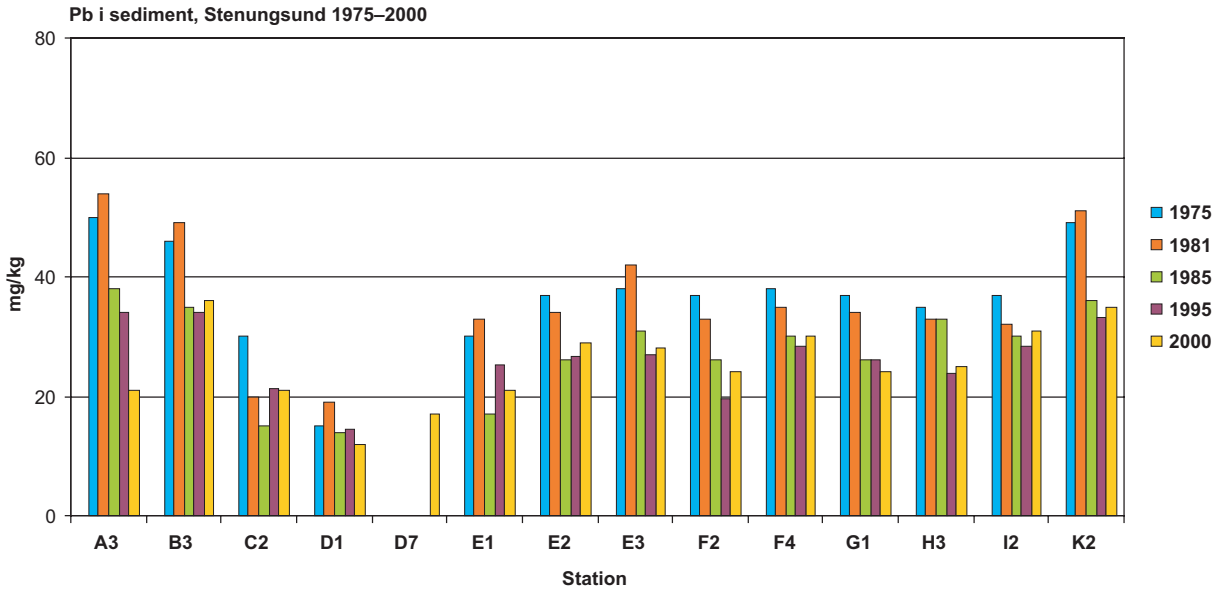


Fig. 4:59. Koncentrationen av bly (Pb, mg/kg ts) i ytsedimentet (0–1 cm) på respektive station i Stenungsundsområdet 1975–2000.
The concentration of lead (Pb, mg/kg dw) in the surficial sediments (0–1 cm) at each station in the Stenungsund area in 1975–2000 respectively.

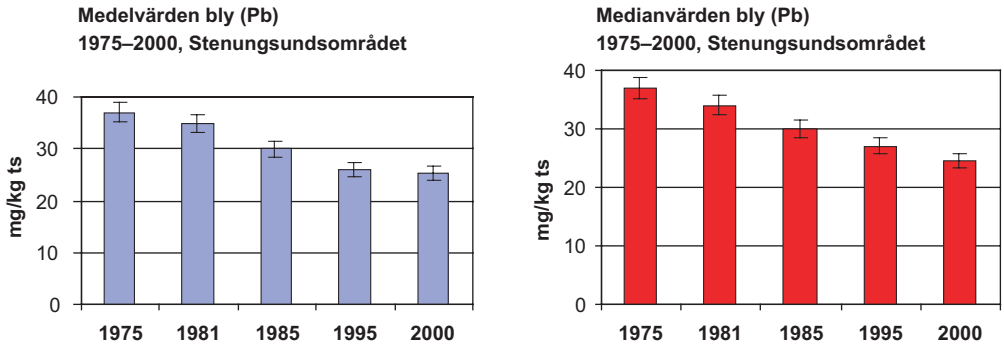


Fig. 4:60. Medelvärden (t.v.) och medianvärden (t.h.) för bly (Pb) i Stenungsundsområdets ytsediment (0–1 cm) mellan 1975 och 2000 (n = 14).
Mean (left) and median (right) values of lead (Pb) between 1975 and 2000 in the surficial sediments (0–1 cm) of the Stenungsund area (n = 14).

4.5.9.9 Tenn

Ytsedimenten innehåll av tenn (Sn) år 2000 varierar mellan 2 och 4,8 mg/kg ts med ett medelvärde och medianvärde av 3,9 respektive 4,3 mg/kg ts (tabellerna 4:6 och 4:8). Den areella variationen av Sn i ytsedimentet (0–1 cm) illustreras i figur 4:61. Fördelningsmönstret är förhållandevis enhetligt och jämnt.

Svenska bedömningsgrunder för tenn i kust- och havssediment saknas.

Förändringen på respektive station av sedimentens tennhalter mellan åren 1995 och 2000 illustreras i figur 4:62. I förhållande till 1995 års data har halterna minskat på vissa stationer, ökat på andra och på vissa är de oförändrade.

Baserat på medel- och medianvärdesförändringarna har halterna minskat med 7 % respektive 5 % (fig. 4:63). Förändringarna av Sn i ytsedimenten är inte reella eftersom variationskoefficienten för tenn till följd av sedimentens inhomogenitet torde vara närmare 10±2 % om man jämför med övriga metaller (Cato 1997a). Minskningen är dessutom mindre än de minst 35 %, som baserat på blandningsfaktorn (se avsnitt 2.5), krävs för att en förändring skall kunna detekteras vid ett femårigt provtagningsintervall.

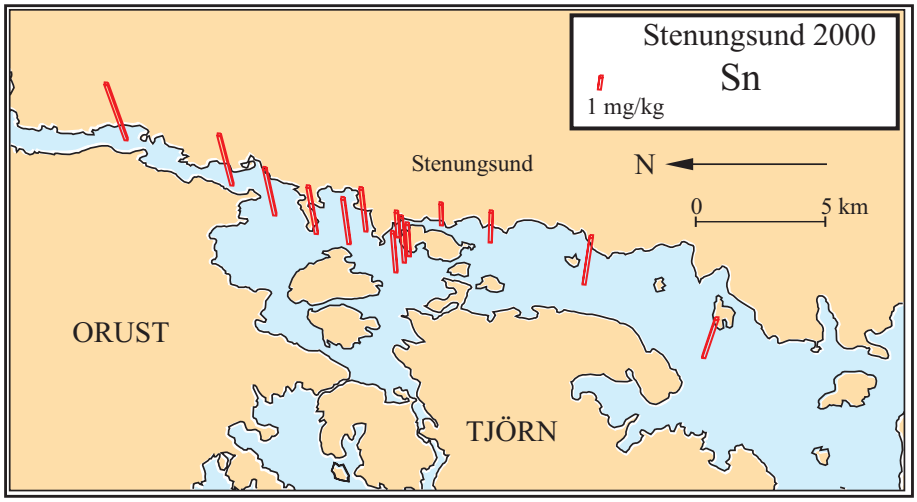


Fig. 4:61. Fördelningen av tenn (mg/kg) i Stenungsundsområdets ytsediment (0–1 cm) 2000.
The distribution of tin (mg/kg) in 2000 in the surficial sediments (0–1 cm) of the Stenungsund area.

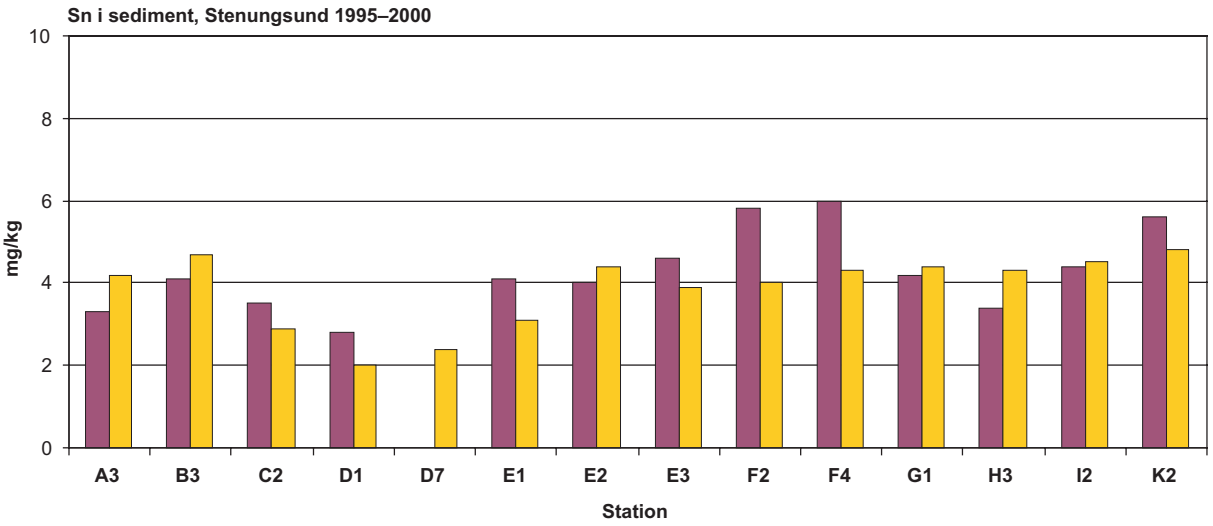


Fig. 4:62. Koncentrationen av tenn (Sn, mg/kg ts) i ytsedimentet (0–1 cm) på respektive station i Stenungsundsområdet 1995–2000.
The concentration of tin (Sn, mg/kg dw) in the surficial sediments(0–1 cm) at each station in the Stenungsund area in 1995–2000 respectively.

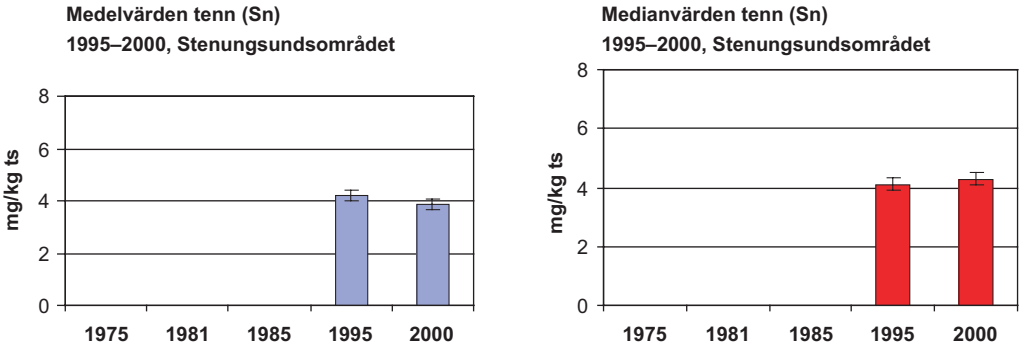


Fig. 4:63. Medelvärden (t.v.) och medianvärden (t.h.) för tenn (Sn) i Stenungsundsområdets ytsediment (0–1 cm) mellan 1995 och 2000 (n = 14). Data saknas för 1975–1985.
Mean (left) and median (right) values of tin (Sn) between 1995 and 2000 in the surficial sediments (0–1 cm) of the Stenungsund area (n = 14). Data are lacking from 1975–1985.

4.5.9.10 Vanadin

Ytsedimenten innehåll av vanadin (V) år 2000 varierar mellan 39 och 83 mg/kg ts med ett medelvärde och medianvärde av 60 respektive 59 mg/kg ts (tabellerna 4:6 och 4:8). Den areella variationen av V i ytsedimentet (0–1 cm) illustreras i figur 4:64. Fördelningsmönstret är förhållandevis enhetligt och jämnt.

Svenska bedömningsgrunder för vanadin i kust- och havssediment saknas.

Förändringen på respektive station av sedimentens vanadinhalter mellan åren 1985 och 2000 illustreras i figur 4:65. I förhållande till 1995 års data har halterna med undantag för fyra stationer (A3, B3, F2 och K2) minskat.

Baserat på medel- och medianvärdesförändringarna har halterna minskat med 13 % respektive 19 % (fig. 4:66). Sedan 1985 har halten ökat med 25 %. Förändringarna av V i ytsedimenten är reella eftersom variationskoefficienten för vanadin till följd av sedimentens inhomogenitet torde vara mindre än 10±2 % om man jämför med övriga metaller (Cato 1997a). Minskningen är dock mindre än de minst 35 %, som baserat på blandningsfaktorn (se avsnitt 2.5), krävs för att en förändring skall kunna detekteras vid ett femårigt provtagningsintervall. Sedan 1985 har dock halten i genomsnitt ökat med 25 %, vilket är mer än de 20 % som baserat på blandningsfaktorn krävs vid ett tioårigt provtagningsintervall.

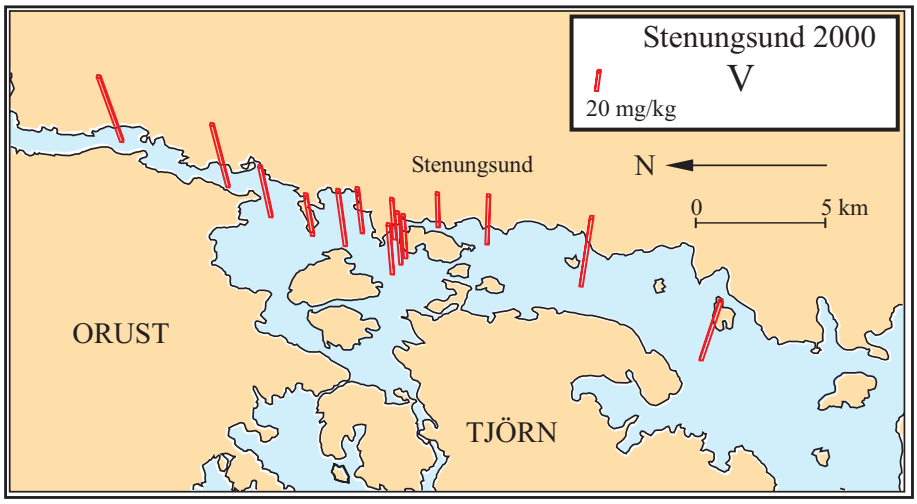


Fig. 4:64. Fördelningen av vanadin (mg/kg) i Stenungsundsområdets ytsediment (0–1 cm) 2000.

The distribution of vanadium (mg/kg) in 2000 in the surficial sediments (0–1 cm) of the Stenungsund area.

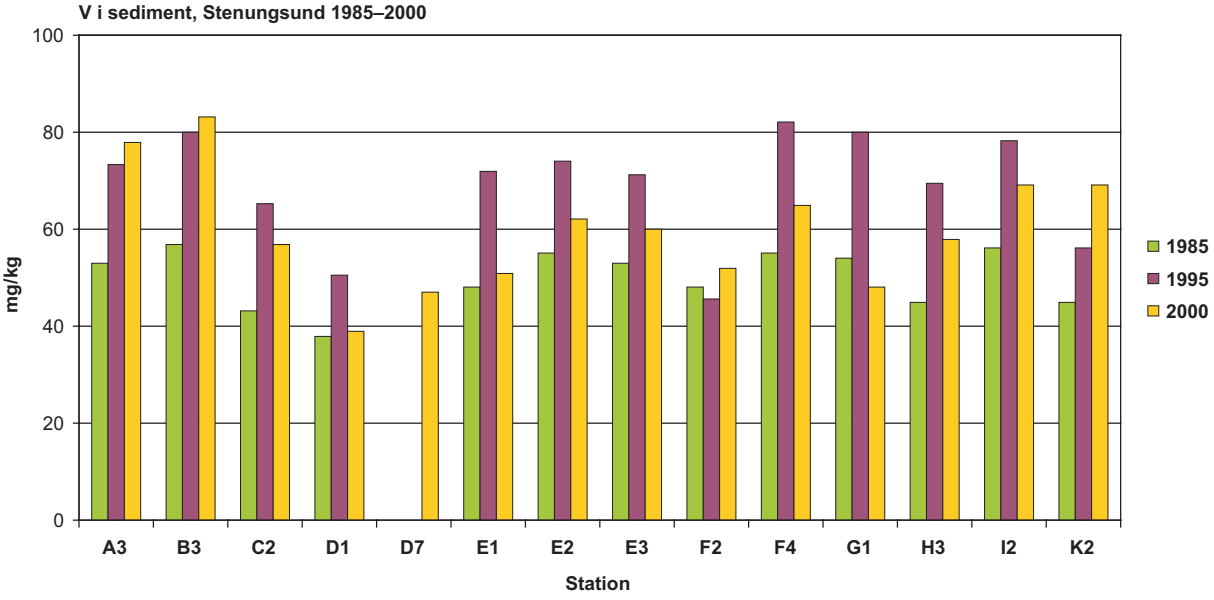


Fig. 4:65. Koncentrationen av vanadin (V, mg/kg ts) i ytsedimentet (0–1 cm) på respektive station i Stenungsundsområdet 1985–2000.

The concentration of vanadium (V, mg/kg dw) in the surficial sediments (0–1 cm) at each station in the Stenungsund area in 1985–2000 respectively.

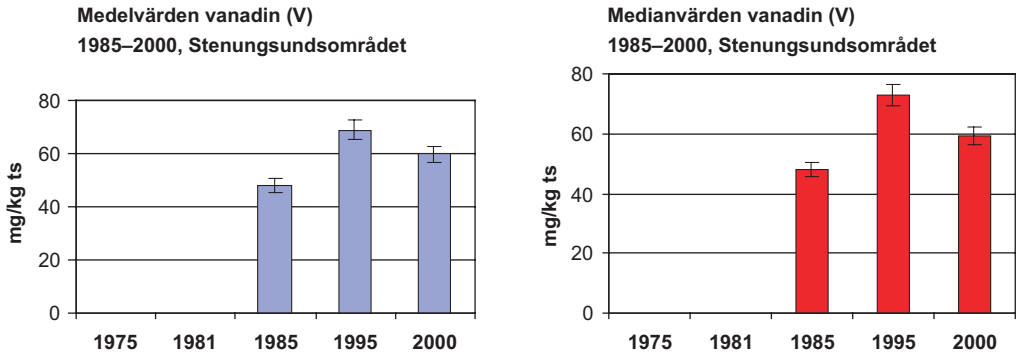


Fig. 4:66. Medelvärden (t.v.) och medianvärden (t.h.) för vanadin (V) i Stenungsundsområdets ytsediment (0–1 cm) mellan 1985 och 2000 (n = 14). Data saknas för 1975 och 1981.

Mean (left) and median (right) values of vanadium (V) between 1985 and 2000 in the surficial sediments (0–1 cm) of the Stenungsund area (n = 14). Data are lacking from 1975 and 1981.

4.5.9.11 Zink

Ytsedimenten innehåll av zink (Zn) år 2000 varierar mellan 49 och 98 mg/kg ts med ett medelvärde och medianvärde av 77 respektive 78 mg/kg ts (tabellerna 4:6 och 4:8). Den areella variationen av Zn i ytsedimentet (0–1 cm) illustreras i figur 4:67. Fördelningsmönstret är förhållandevis enhetligt och jämnt.

Enligt svenska bedömningsgrunder för kust- och havssediment (Naturvårdsverket 1999) faller med avseende på zink samtliga stationer från år 2000 i tillståndsklass I och II (*ingen/obetydlig avvikelse* till *liten avvikelse* från nationella jämförvärdet). Resultaten visar på en tydlig förbättring av miljökvaliteten sedan 1995 och tidigare (tabell 4:15).

Förändringen på respektive station av sedimentens zinkhalter mellan åren 1975 och 2000 illustreras i figur 4:68. På samtliga stationer har halten zink minskat mellan undersökningsåren 1995 och 2000.

Baserat på medel- och medianvärdesförändringarna har halterna minskat med 39 % respektive 34 % (fig. 4:69). Sedan 1975 har halten i genomsnitt minskat med 47 %. Förändringarna av Zn i ytsedimenten är reella eftersom variationskoefficienten för zink till följd av sedimentens inhomogenitet har analyserats och beräknats 5,3±3,4 (Cato 1977). Minskningen är dessutom större än de minst 20 % respektive 35 %, som baserat på blandningsfaktorn (se avsnitt 2.5 ovan), krävs för att en förändring skall kunna detekteras vid ett tioårigt respektive femårigt provtagningsintervall.

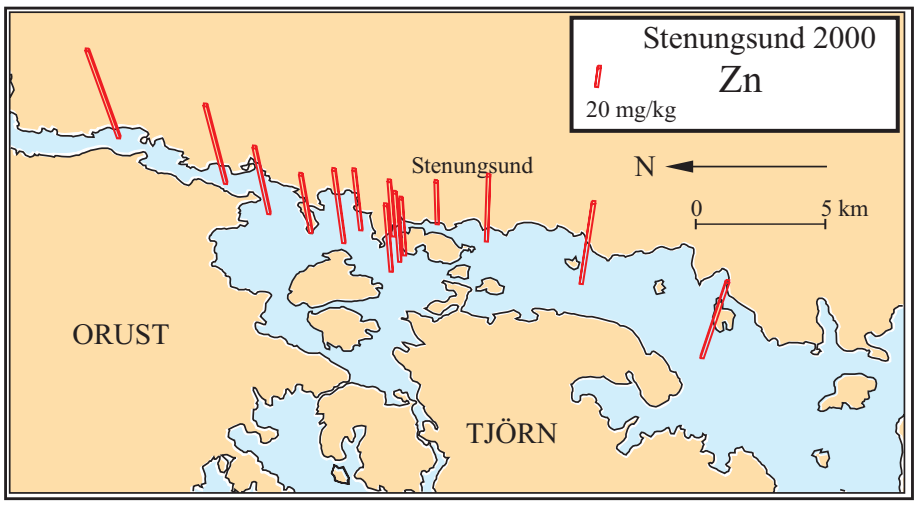


Fig. 4:67. Fördelningen av zink (mg/kg) i Stenungsundsområdets ytsediment (0–1 cm) 2000.

The distribution of zinc (mg/kg) in 2000 in the surficial sediments (0–1 cm) of the Stenungsund area.

Tabell 4:15 Ytsedimentens (0–1 cm) miljökvalitet i Stenungsundsområdet 1975–2000 med avseende på zinkhalten. Klassning enligt svenska bedömningsgrunder (Naturvårdsverket 1999).

The environmental quality of the surface sediments (0–1 cm) in the Stenungsund area with respect to the zinc content 1975–2000. Classification according to Swedish Environmental Quality Criteria (Naturvårdsverket 1999).

mg/kg	Zn 1972	Zn 1975	Zn 1981	Zn 1985	Zn 1995	Zn 2000
A3	-	160	-	-	133	98
B3	-	160	-	-	138	96
C2	-	120	-	-	125	76
D1	-	100	-	-	98,9	49
D7						64
E1	-	120	-	-	128	67
E2	-	150	-	-	129	81
E3	-	150	-	-	131	79
F2	-	130	-	-	92,4	69
F4	-	160	-	-	146	84
G1	-	150	-	-	141	67
H3	-	150	-	-	128	75
I2	-	150	-	-	138	85
K2	-	160	-	-	155	91

Metaller Avvikelse från jämförvärde	
Klass 1	Ingen obetydlig avvikelse
Klass 2	Liten avvikelse
Klass 3	Tydlig avvikelse
Klass 4	Stor avvikelse
Klass 5	Mycket stor avvikelse

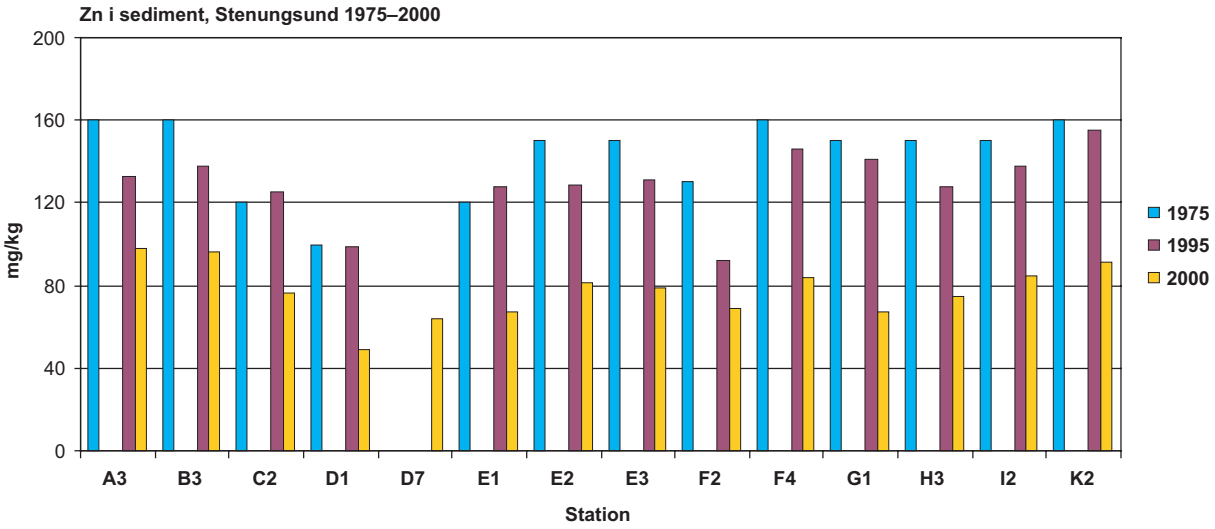


Fig. 4:68. Koncentrationen av zink (Zn, mg/kg ts) i ytsedimentet (0–1 cm) på respektive station i Stenungsundsområdet 1975–2000.

The concentration of zinc (Zn, mg/kg dw) in the surficial sediments (0–1 cm) at each station in the Stenungsund area in 1975–2000 respectively.

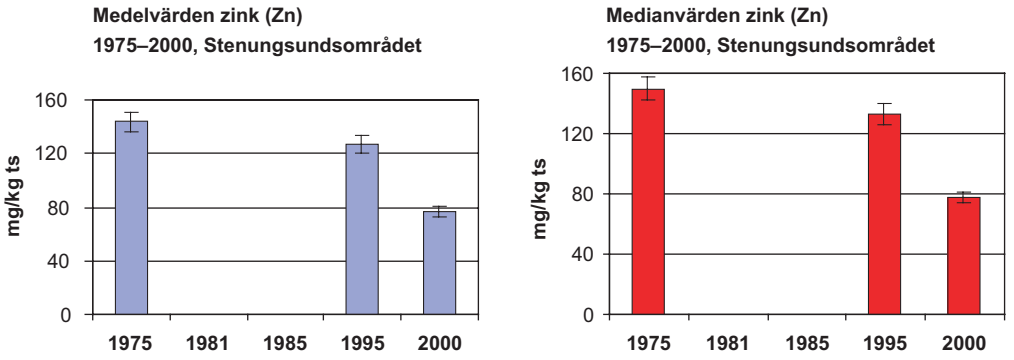


Fig. 4:69. Medelvärden (t.v.) och medianvärden (t.h.) för zink (Zn) i Stenungsundsområdets ytsediment (0–1 cm) mellan 1975 och 2000 (n = 14). Data från 1981 och 1985 saknas.

Mean (left) and median (right) values of zinc (Zn) between 1975 and 2000 in the surficial sediments (0–1 cm) of the Stenungsund area (n = 14). Data are lacking from 1981 and 1985.

4.5.10 SAMMANFATTNING AV METALLERNAS AREELLA FÖRDELNINGSMÖNSTER

Metallernas geografiska variation i ytsedimenten (0–1 cm) visar med några få undantag på en relativt jämn geografisk fördelning inom undersökningsområdet (se figurerna 4:38-4:68). De lägsta halterna påträffas innanför Stenungsundsön vid stationerna D1 och D7, medan halterna både norr och söder om Stenungsund är högre. Den areella fördelningen är inte en effekt av kornstorleksvariationer och endast marginellt påverkad av sedimentens organiska halt. Från detta generella mönster skiljer sig Cd och i viss mån Mn. Kadmium uppvisar tvärt emot övriga metaller de högsta halterna på stationerna C2, D1 och D7, medan mangan uppvisar högre halter i områdets nordligaste del. Det senare är en effekt av skillnader i redoxförhållanden vid botten.

Det areella och generella fördelningsmönstret år 2000 liknar 1995 års fördelningsmönster, dock med undantag för Cu som då på station F4 uppvisade ca tre gånger högre halt än medelvärdet för hela området (tabell 4:6). Även Cd och Sn uppvisade ett mönster som avvek från det generella mönstret 1995 genom att högre halter uppträdde i Askeröfjorden och norrut.

Det areella fördelningsmönstret år 2000 tyder inte på att några direkta utsläppskällor för metaller finns i Stenungsund eller dess industriområde. Ingenting tyder heller på att de två spillvattenutsläppen från Borealis respektive Akzo Nobel samt Perstorps och kommunens gemensamma avlopp skulle utgöra några källor för metallemmission i området. Däremot förefaller en källa för kadmium ligga innanför Stenungsundsön.

4.5.11 TUNGMETALLBELASTNINGEN OCH DESS FÖRÄNDRING I STENUNGSUNDSOMRÅDET 1975–2000

För att eliminera de i ovan beskrivna naturliga variationerna i syfte att på ett objektivt sätt utröna tungmetallbelastningen i bottensedimenten i Stenungsundsområdet 2000, och om denna belastning har förändrats sedan de fyra tidigare undersökningarna 1975, 1981, 1985 och 1995, har den s.k. Gradientmetoden (Cato 1977) utnyttjats. Erhållna samband för år 2000 illustreras jämte sambanden mellan respektive metall och kornstorleksfraktionen <63 µm i figurerna 4:70–4:80.

Resultaten från de fem undersökningsperioderna visar att de studerade tungmetallerna till stor del är associerade med det organiska materialet (uttryckt som totalt organiskt kol, TOC). Korrelationskoefficienterna för de positiva och approximativt linjära sambanden finns redovisade i tabell 4:16. I tabellen redovisas också motsvarande samband till kornstorleksfraktionen <63 µm vad avser åren 1995 och 2000 (Sedimentens kornstorlek har inte analyserats vid undersökningarna före 1995). Av tabellen framgår det att styrkan på sambanden varierar mellan de olika åren och mellan de olika metallerna. Detta beror ofta på något enstaka värde som avviker i populationen. I samtliga fall 1995, kadmium undantaget, var sambanden starkare mellan metallerna och fraktionen <63 µm än mellan metallerna och organiskt kol. Vid undersökningarna 2000 var däremot sambanden för Cu, Mn, Pb och Sn starkare till TOC. Skillnaderna i styrka mellan sambanden metall och TOC respektive metall och kornstorlek är i allmänhet liten (tenn undantaget), vilket beror på det starka samband som föreligger mellan organiskt material och kornstorleksfraktionen <63 µm (se fig. 4:28). Denna skillnad var i flera fall större 1995, vilket också avspeglas i resultaten från 1995.

Svaga eller inga samband föreligger för Cd och Sn. I synnerhet gäller detta mellan dessa metaller och kornstorleksfraktionen <63 µm (se figurerna 4:71 och 4:78).

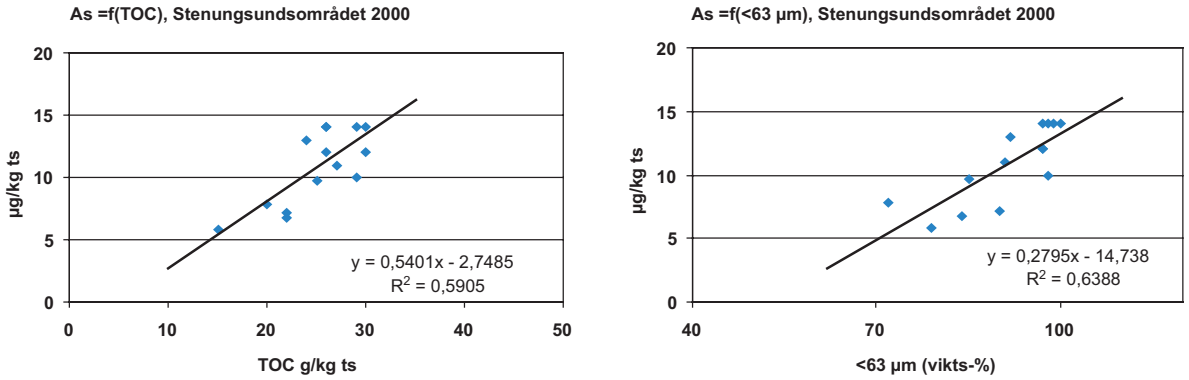


Fig. 4:70 a och b. Sambandet mellan arsenik (As) och totalt organiskt kol (TOC) respektive arsenik (As) och kornstorleksfraktionen <63 µm i ytsedimenten (0–1 cm) i Stenungsundsområdet 2000.

The relationship between arsenic (As) and total organic carbon (TOC), arsenic (As) and the grain-size fraction <63 µm respectively in the surficial sediments (0–1 cm) of the Stenungsund area in 2000.

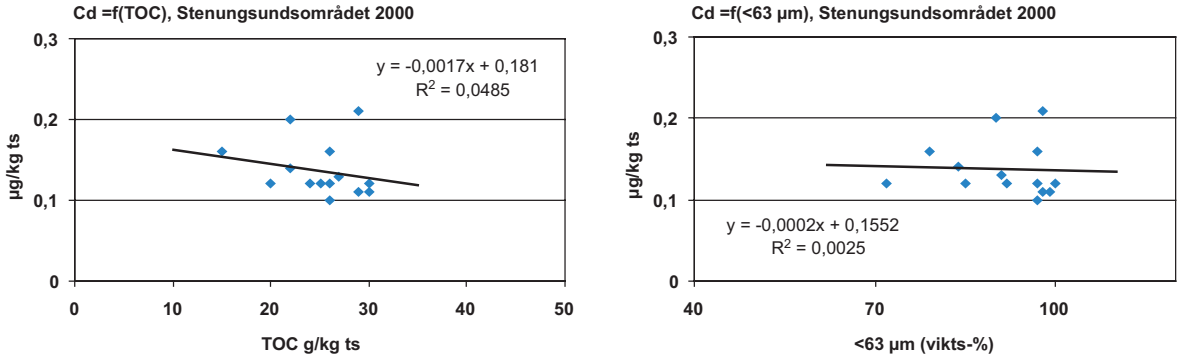


Fig. 4:71 a och b. Sambandet mellan kadmium (Cd) och totalt organiskt kol (TOC) respektive kadmium (Cd) och kornstorleksfraktionen <63 µm i ytsedimenten (0–1 cm) i Stenungsundsområdet 2000.

The relationship between cadmium (Cd) and total organic carbon (TOC), and cadmium (Cd) and the grain-size fraction <63 µm respectively in the surficial sediments (0–1 cm) of the Stenungsund area in 2000.

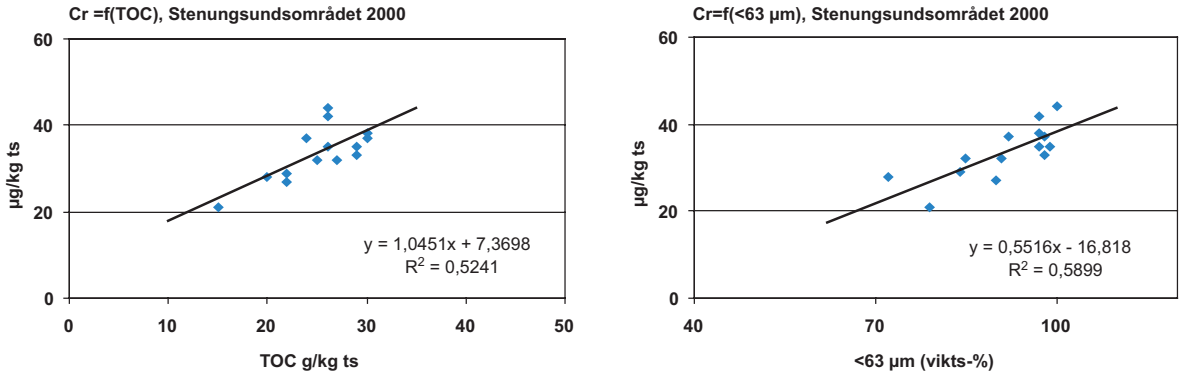


Fig. 4:72 a och b. Sambandet mellan krom (Cr) och totalt organiskt kol (TOC) respektive krom (Cd) och kornstorleksfraktionen <63 µm i ytsedimenten (0–1 cm) i Stenungsundsområdet 2000.

The relationship between chromium (Cr) and total organic carbon (TOC), and chromium (Cr) and the grain-size fraction <63 µm respectively in the surficial sediments (0–1 cm) of the Stenungsund area in 2000.

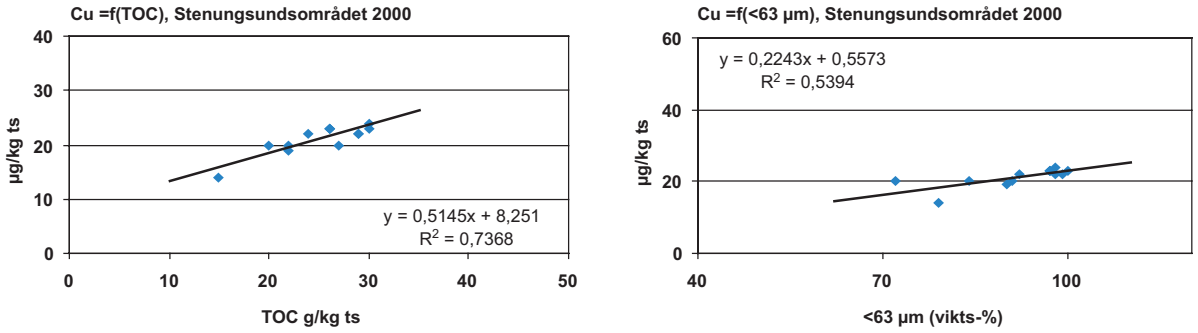


Fig. 4:73 a och b. Sambandet mellan koppar (Cu) och totalt organiskt kol (TOC) respektive koppar (Cu) och kornstorleksfraktionen <63 µm i ytsedimenten (0–1 cm) i Stenungsundsområdet 2000.

The relationship between copper (Cu) and total organic carbon (TOC), and copper (Cu) and the grain-size fraction <63 µm respectively in the surficial sediments(0–1 cm) of the Stenungsund area in 2000.

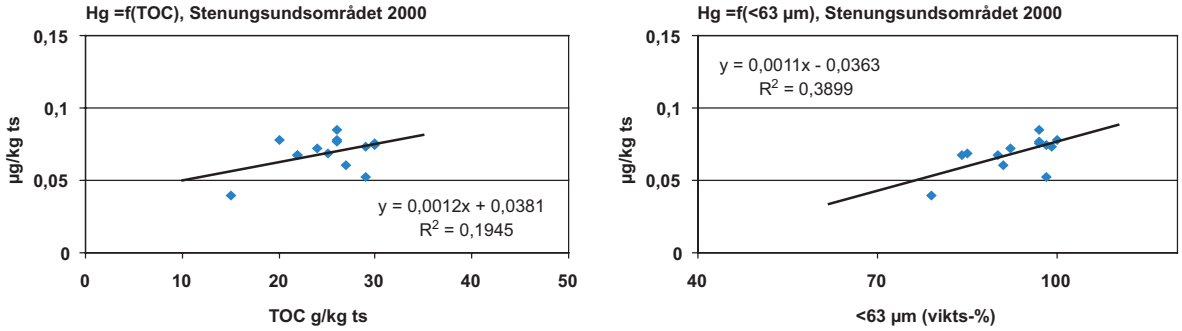


Fig. 4:74 a och b. Sambandet mellan kvicksilver (Hg) och totalt organiskt kol (TOC) respektive kvicksilver (Hg) och kornstorleksfraktionen <63 µm i ytsedimenten (0–1 cm) i Stenungsundsområdet 2000.

The relationship between mercury (Hg) and total organic carbon (TOC), and mercury (Hg) and the grain-size fraction <63 µm respectively in the surficial sediments (0–1 cm) of the Stenungsund area in 2000.

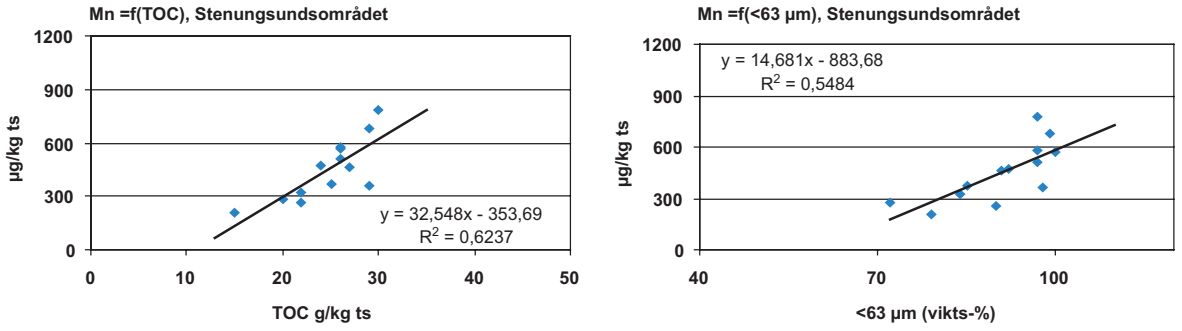


Fig. 4:75 a och b. Sambandet mellan mangan (Mn) och totalt organiskt kol (TOC) respektive mangan (Mn) och kornstorleksfraktionen <63 µm i ytsedimenten (0–1 cm) i Stenungsundsområdet 2000.

The relationship between manganese (Mn) and total organic carbon (TOC), and manganese (Mn) and the grain-size fraction <63 µm respectively in the surficial sediments (0–1 cm) of the Stenungsund area in 2000.

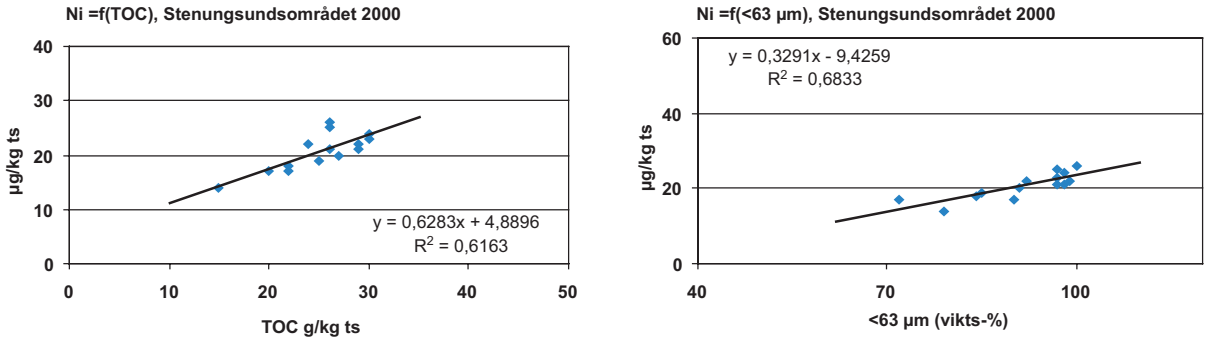


Fig. 4:76 a och b. Sambandet mellan nickel (Ni) och totalt organiskt kol (TOC) respektive nickel (Ni) och kornstorleksfraktionen <63 µm i ytsedimenten (0–1 cm) i Stenungsundsområdet 2000.

The relationship between nickel (Ni) and total organic carbon (TOC), and nickel (Ni) and the grain-size fraction <63 µm respectively in the surficial sediments (0–1 cm) of the Stenungsund area in 2000.

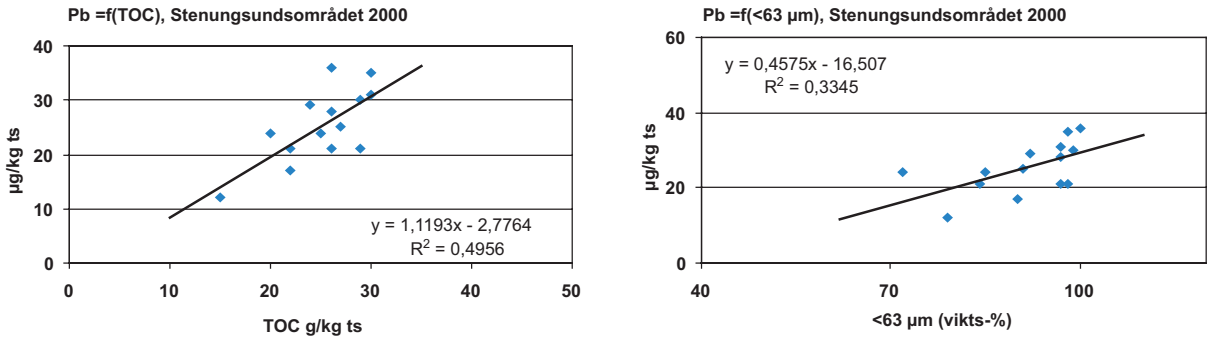


Fig. 4:77 a och b. Sambandet mellan bly (Pb) och totalt organiskt kol (TOC) respektive bly (Pb) och kornstorleksfraktionen <63 µm i ytsedimenten (0–1 cm) i Stenungsundsområdet 2000.

The relationship between lead (Pb) and total organic carbon (TOC), and lead (Pb) and the grain-size fraction <63 µm respectively in the surficial sediments(0–1 cm) of the Stenungsund area in 2000.

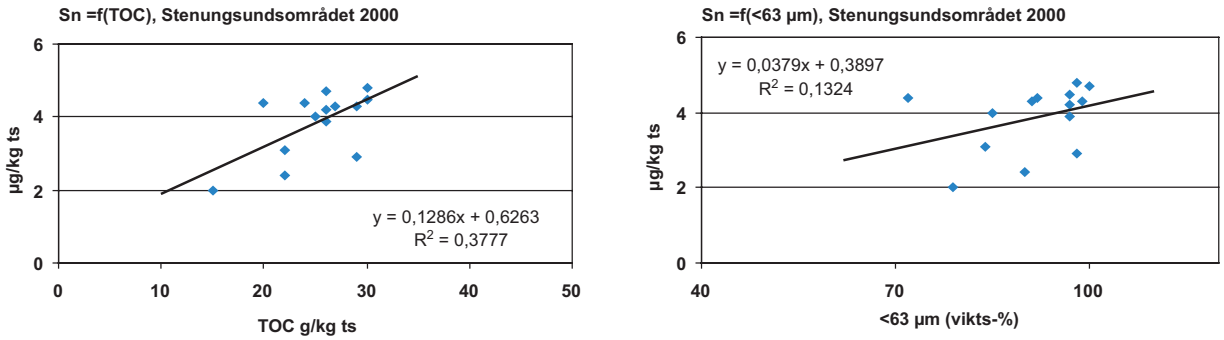


Fig. 4:78 a och b. Sambandet mellan tenn (Sn) och totalt organiskt kol (TOC) respektive tenn (Sn) och kornstorleksfraktionen <63 µm i ytsedimenten (0–1 cm) i Stenungsundsområdet 2000.

The relationship between tin (Sn) and total organic carbon (TOC), and tin (Sn) and the grain-size fraction <63 µm respectively in the surficial sediments (0–1 cm) of the Stenungsund area in 2000.

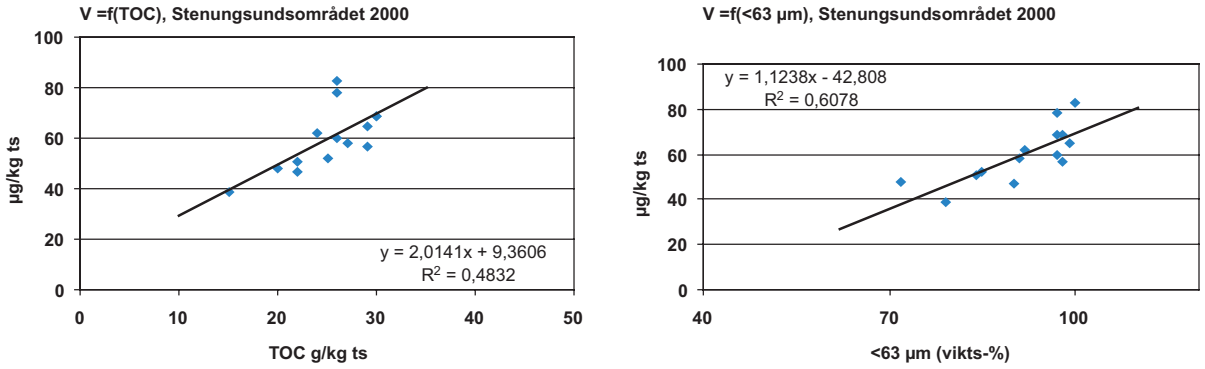


Fig. 4:79 a och b. Sambandet mellan vanadin (V) och totalt organiskt kol (TOC) respektive vanadin (V) och kornstorleksfraktionen <63 µm i ytsedimenten (0–1 cm) i Stenungsundsområdet 2000.

The relationship between vanadium (V) and total organic carbon (TOC), and vanadium (V) and the grain-size fraction <63 µm respectively in the surficial sediments (0–1 cm) of the Stenungsund area in 2000.

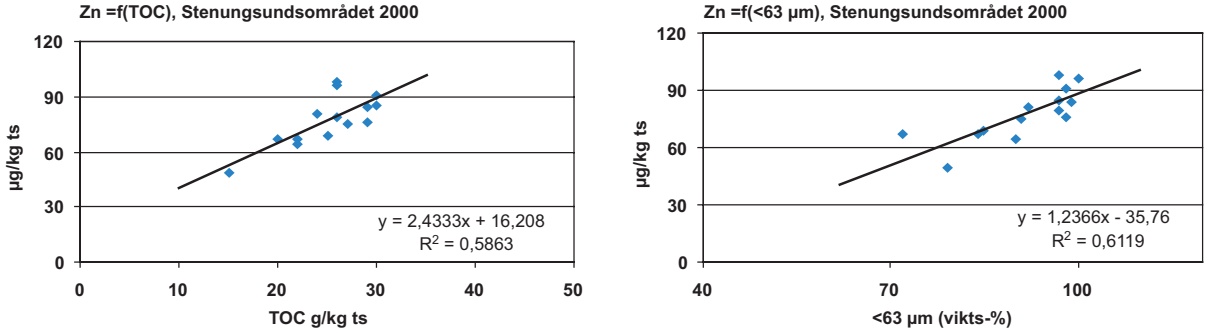


Fig. 4:80 a och b. Sambandet mellan zinc (Zn) och totalt organiskt kol (TOC) respektive zink (Zn) och kornstorleksfraktionen <63 µm i ytsedimenten (0–1 cm) i Stenungsundsområdet 2000.

The relationship between zinc (Zn) and total organic carbon (TOC), and zinc (Zn) and the grain-size fraction <63 µm respectively in the surficial sediments (0–1 cm) of the Stenungsund area in 2000.

Tabell 4:16. Korrelationskoefficienter, r, för det linjära sambandet mellan några tungmetaller och totalt organiskt kol (TOC) i ytsediment (0–1 cm) från Stenungsundsområdet åren 1975–2000, samt motsvarande samband till kornstorleksfraktionen <63 µm (n=14).

The linear correltion coefficients, r, for the relationship between some heavy metals and total organic carbon (TOC), and the corresponding relationship to the grain-size fraction <63 µm in the surficial sediments (0–1 cm) of the Stenungsund area in the years 1975–2000 (n=14).

Metall	1975 TOC	1981 TOC	1985 TOC	1995 TOC	2000 TOC	1995 <63 µm	2000 <63 µm
As	-	-	-	0,34	0,77	0,53	0,80
Cd	-	-	0,33	0,40	0,22	-	0,05
Cr	0,56	0,77	-	0,62	0,72	0,93	0,77
Cu	0,50	0,28	0,1	0,72	0,86	0,77	0,73
Hg	-	-	-	0,36	0,44	0,63	0,62
Mn					0,79		0,74
Ni	0,38	-	-	0,61	0,79	0,81	0,83
Pb	0,68	0,78	0,66	0,40	0,70	0,69	0,58
Sn	-	-	-	0,28	0,61	0,31	0,36
V	-	-	0,64	0,50	0,70	0,85	0,78
Zn	0,90	-	-	0,65	0,77	0,93	0,78

De beräknade belastningsgradienterna för respektive metall och undersökningsår redovisas i tabell 4:17. Av tabellen framgår att endast Cu och Pb undersökts vid samtliga undersökningsomgångar. Någon belastningsberäkning för kvicksilverdata från 1972 har inte varit möjlig att göra till följd av avsaknad på TOC-data för detta år.

Av tabellen framgår det att belastningen med avseende på bly successivt sjunkit från 1975 till 1995 för att sedan åter öka år 2000. För koppar och krom ökadebelastningen under perioden 1975 till 1981 för att därefter

fram till 2000 sjunka under respektive strax över 1975 års nivå. Den ökade belastningen för Cu 1981 hänger samman med tillfälliga kopparutsläpp i recipienten (Gustavsson 1982). Även belastningen av Zn och Cd har sjunkit mellan 1975 och 2000 respektive 1981/1985 och 2000. Ni däremot uppvisar en svag ökning av belastningen under 20-årsperioden från 1975 till 2000 och V en ökning sedan 1985. Belastningen för As, Cr och Sn har ökat något sedan 1995, medan belastningen för Hg sjunkit något. Det senare torde sammanhänga med de restrektioner och förbud som sedan 1970-talet införts mot användning av Hg.

Tabell 4:17. Belastningsgradienter (kontamineringsgrader relaterat till TOC) vad avser några tungmetaller i ytsediment (0–1 cm) från Stenungsundsområdet åren 1975–2000.

The load (degree of contamination in relation to TOC) of some heavy metals in the surficial sediments (0–1 cm) of the Stenungsund area in the years 1975–2000.

Metall	1975	1981	1985	1995	2000
As	-	-	-	0,44	0,54
Cd	-	0,017	0,017	0,0044	0,0017
Cr	0,78	1,1	-	0,92	1,0
Cu	1,4	2,8	0,53	0,62	0,51
Hg	-	-	-	0,002	0,0012
Mn					33
Ni	0,43	-	-	0,57	0,63
Pb	1,3	1,1	0,94	0,47	1,1
Sn	-	-	-	0,069	0,13
V	-	-	1,2	1,5	2,0
Zn	5,1	-	-	3,1	2,4

Belastningsgradienternas förändring överensstämmer till stor del med och styrker de utvecklingstrender som framkommit vid jämförelse av medelvärden och medianvärden för respektive element under den studerade tidsperioden (se avsnitt 4.5.10).

4.5.12 ANRIKNINGSFAKTORER OCH LOKALA BAKGRUNDSDATA FÖR TUNGMETALLER

Halten av tungmetaller undersöktes på 20–30 cm sedimentdjup på fem stationer 1995 (A3, C4, F3, H3 och K2). Undersökningen genomfördes för att få ett mått på den lokala naturliga bakgrunden av de metaller som ingår i sedimentkontrollprogrammet för Stenungsundsområdet. Resultaten redovisas i tabell 4:18.

I samma tabell redovisas även de nationella bakgrundsvärdena (Naturvårdsverket 1999). Vid en jämförelse mellan de lokala bakgrundsvärdena och de nationella värdena kan konstateras att en god överensstämmelse råder, med undantag för Hg, där bakgrundshalten i Stenungsundsområdet ligger nästan dubbelt så högt som det nationella jämförvärdet. För bly däremot ligger det nationella jämförvärdet nästa dubbelt så högt som den lokala bakgrunden i Stenungsund.

Dessa skillnader kan hänga samman med att det nationella jämförvärdet har bestämts på data från 50–55 cm nivån i sediment från svenska kust- och havssediment, dvs. från en något djupare nivå, samt dessutom på ett betydligt större dataunderlag än de lokala data som hänför sig till endast fem stationer från Stenungsundsområdet.

Medianvärdet för respektive metall i 2000 års ytsediment (0–1 cm) samt anrikningsfaktorn återges i tabell 4:18. Som jämförelse presenteras även de beräknade anrikningsfaktorerna från 1995 års undersökningar.

Anrikningsfaktorn är ett uttryck för den antropogena påspädningen gentemot den lokala preindustriella bakgrunden. Anrikningsfaktorn för Sn och Pb visar på en 100-procentig ökning gentemot bakgrunden, medan Cu och Zn visar på en 30 respektive 40 procentig ökning. Övriga metaller visar inte på någon eller en mycket måttlig anrikning. Förhållandena var med undantag för Hg ungefär desamma 1995. Anrikningsfaktorn för Hg indikerar att man år 2000 nått halter som i ytan ligger på samma nivå som den lokala bakgrunden.

Tabell 4:18. Medianvärden för några tungmetaller i ytsediment (0–1 cm), den lokala bakgrunden, samt anrikningsfaktorer i Stenungsundsområdet 1995 och 2000.

Medians of some heavy metals in the surficial sediments (0–1 cm), the local background, and the enrichmentfactors in 1995 and 2000 in the Stenungsund area.

Element	Medianvärde 2000 0–1 cm	Medianvärde (1995) 20–30 cm	Jämförvärden. Svenska bedömningsgrunder 1999	Anrikningsfaktor 1995 F	Anrikningsfaktor 2000 F
As	12	13	10	1,1	0,92
Cd	0,12	0,11	0,2	1	1,1
Cr	34	43	40	0,9	0,8
Cu	22	17	15	1,4	1,3
Hg	0,073	0,07	0,04	1,7	1
Ni	21	25	30	0,9	0,8
Pb	25	14	25	1,9	1,8
Sn	4,3	2	-	2,1	2,2
V	59	76	-	1	0,8
Zn	133	92	85	1,4	1,4

4.5.13 TOTALKOLVÄTEN SAMT FÖRÄNDRINGAR EFTER 1995

Analysresultaten avseende totalkolväten (THC) i ytsedimenten (0–1 cm) redovisas tillsammans med 1995 års data i tabell 4:19. Den geografiska variationen illustreras i figur 4:81. Koncentrationen av totalkolväten i ytsedimentet inom undersökningsområdet varierar från 7 till som mest 23 mg/kg ts med ett medelvärde och medianvärde av 13 respektive 12 mg/kg ts (tabell 4:20). Den högsta halten (23 mg/kg ts) påträffades i likhet med 1995 vid marinan i Stenungsund.

I tabell 2:44 i del 2 (denna samlingsvolym) redovisas THC-halter i ytsedimenten från några områden utmed Bohuskusten, Skagerrak och Kattegatt. En jämförelse med föreliggande undersökning visar att THC-halter över 100 mg/kg ts kan betraktas som höga. Halter överstigande detta värde påträffades 1995 på drygt 40 % av stationerna i området, men vid undersökningarna 2000 påträffades inga halter över detta värde. THC är som mest anrikat 3 gånger gentemot bakgrundsreferensen från Färöarna (del 2, tabell 2:44 denna samlingsvolym). I medeltal är anrikningen 1,5 gånger mot 14 gånger 1995.

Svenska bedömningsgrunder för THC i kust- och havssediment saknas.

Enligt Norskt klassificering av miljökvalitet i fjordar och kustvatten (Konieczny & Juliussen 1995) faller åtta stationer (A3, B3, C2, D1, D7, E1, E3 och F2) i tillståndsklass II (”mindre god”). Övriga sex stationer faller i tillståndsklass I (”god”). Detta innebär att Stenungsundsområdet är ej till svagt förorenat med avseende på THC. Detta är en förbättring i förhållande till 1995 års undersökningar då sju stationer konstaterades vara tydligt förorenade (tillståndsklass III).

Förändringen på respektive station av sedimentens THC-halter mellan åren 1995 och 2000 illustreras i figur 4:82. På stationerna (A3, B3, C2, D1, E1, F2, H3 och I2) har halterna i ytsedimenten minskat radikalt medan den på övriga stationer ligger kvar på en i stort sett oförändrad nivå sedan 1995. Baserat på medel- och medianvärdesförändringarna har halterna minskat med hela 90 % respektive 81 % (fig. 4:83).

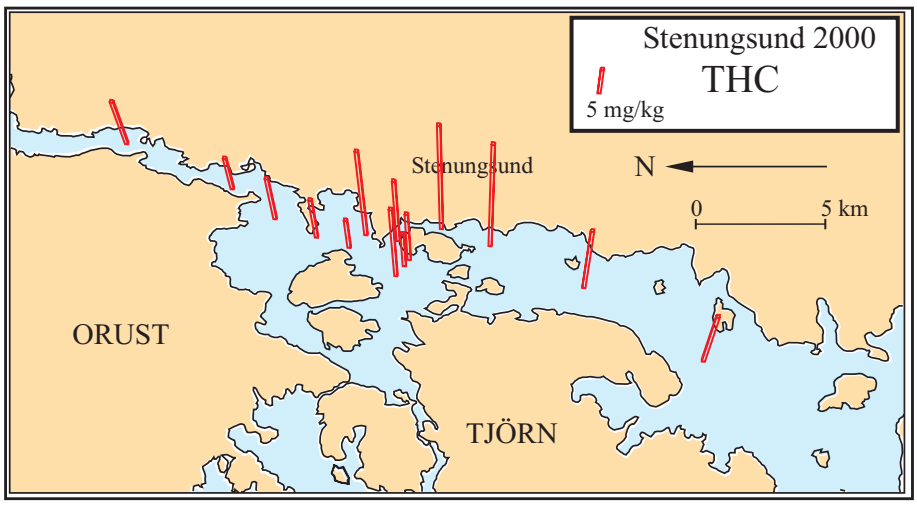


Fig. 4:81. Halten av totalkolväten (THC) i mg/kg i Stenungsundsområdets ytsediment (0–1 cm) 2000.

The content of total hydrocarbons (THC) in mg/kg in the surficial sediments (0–1 cm) of the Stenungsund area in 2000.

Förändringarna mellan 1995 och 2000 av THC i Stenungsundsområdets ytsediment är sannolikt reella eftersom variationskoefficienten för THC kan antas ligga runt 10 % (jfr metaller, se avsnitt 4.5.10) till följd av sedimentens inhomogenitet. Minskningen är i så fall långt större än de minst 35 %, som baserat på blandningsfaktorn (se avsnitt 2.5 denna samlingsvolym), krävs för att en förändring skall kunna detekteras vid ett femårigt provtagningsintervall.

Tabell 4:19. Totalkolväte (THC) i ytsedimenten (0–1 cm) i Stenungsundsområdet 1995–2000.
Total hydrocarbon (THC) in the surficial sediments (0–1 cm) of the Stenungsunds area in 1995–2000.

Station	THC 1995 mg/kg	THC 2000 mg/kg
A3	288,3	12
B3	4,8	14
C2	381,4	23
D1	575,6	23
D7	-	14
E1	36,7	11
E2	7,5	7,9
E3	<0,63	16
F2	109,3	19
F4	<0,63	6,6
G1	6	8,9
H3	90,5	9,4
I2	192	7
K2	30,3	9,2

Tabell 4:20. Spridning, medelvärden och medianvärden för THC i ytsedimenten (0–1 cm) i Stenungsundsområdet 1995–2000.
Range, means and medians of THC in the surficial sediments (0–1 cm) of the Stenungsunds area in 1995–2000.

Element mg/kg	År	n	Intervall	Medelvärde MV	Medianvärde Md	Standardavvikelse (s)
THC	1995	17	<0,63–576	125	62	158
	2000	14	6,6–23	13	12	5,5

GC/FID-kromatogrammen (redovisade i Alcontrol 2004) över THC på respektive station från området uppvisar en typisk sedimentprofil. Ingen s.k. ”bulle” bestående av en ”unresolved complex mixture” (UCM), bestående av en stor mängd grenade, omättade, cykliska och aromatiska kolväten syns i kromatogrammen baserade på sediment från undersökningarna 2000. Denna bulle, som rikligt påträffades vid 1995 års undersökningar, bildas då det förekommer ett stort antal isomerer och molekyler med likartad strukturformel inom samma kokpunktsintervall (Rudling 1976, Clark & Brown 1977, Farrington 1980, Sletter m.fl. 1980) och indikerar, vid förekomst, petroleumursprung.

THC är negativt korrelerat (r = –0,60) till det organiska materialet i ytsedimenten.

4.5.14 POLYCYKLISKA AROMATISKA KOLVÄTEN

Analysresultaten från 2000 års undersökning avseende summan av 16 identifierade polycykliska aromatiska kolväteföreningar (∑16 PAH) från d sk EPA-listan samt de enskilda PAH-föreningarna redovisas tillsammans med motsvarande data från 1995 i tabell 4:21. ∑16 PAH inom undersökningsområdet varierar mellan 180 och 2000 µg/kg ts med ett medelvärde och medianvärde av 546 respektive 370 µg/kg ts. Motsvarande värden för de enskilda PAH-föreningarna redovisas i tabell 4:22. Den mest frekventa föreningen är indeno(1,2,3cd)pyrén och benso(b+k)fluoranten som var och en i medeltal utgör ca 26 % av summa 16 PAH i Stenungsundsområdet. Motsvarande siffra för 1995 var 20 %. En förening (Acenaften) kunde inte detekteras inom området.

Den geografiska fördelningen för summa 16 PAH och några utvalda identifierade PAH-föreningar inom områdets ytsediment (0–1 cm) illustreras i figurerna 4:84–4:86. Det areella fördelningsmönstren för de olika PAH-föreningarna är mycket enhetligt. De högsta halterna förekommer på stationerna E3, F2 och F4, dvs. i området nära industriernas och kommunens spillvattenutsläpp utanför Stenungsund. Förhöjda halter

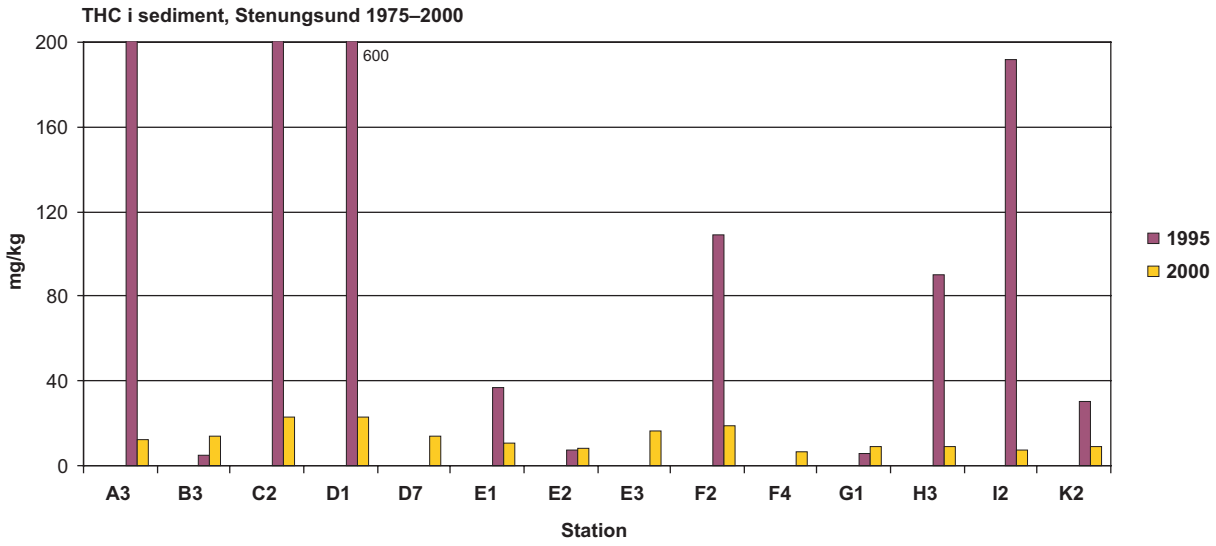


Fig. 4:82. Koncentrationen av totalkolväte (THC, mg/kg ts) i ytsedimentet (0–1 cm) på respektive station i Stenungsundsområdet 1995–2000.

The concentration of total hydrocarbons (THC, mg/kg dw) in the surficial sediments (0–1 cm) at each station in the Stenungsund area in 1995–2000 respectively.

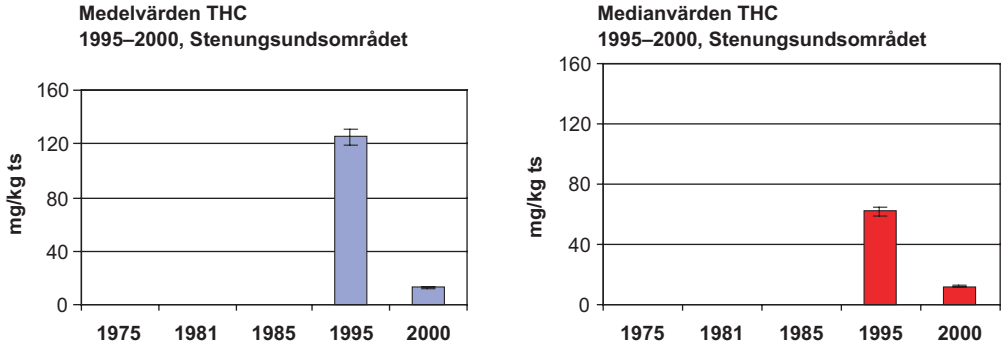


Fig. 4:83. Medelvärden (t.v.) och medianvärden (t.h.) för totalkolväte (THC) i Stenungsundsområdets ytsediment (0–1 cm) mellan 1995 och 2000 (n = 14).

Mean (left) and median (right) values of total hydrocarbon (THC) between 1995 and 2000 in the surficial sediments (0–1 cm) of the Stenungsund area (n = 14).

påträffas också på den nordligaste stationen (K2). Halten av fenantren är dock högst på station B3, dvs. i Hakefjorden.

Flera föreningar med bl.a. låg molekylvikt (acenaften, fluoren, fenantren, antracen) samt dibenso(a,h)antracen kunde enbart detekteras på berörda stationer (E3, F2 och F4) i norra Askeröfjorden. Naftalen förekommer även i sedimenten i norra och södra delen av området.

Summa 11 PAH utgör i medeltal 89 % av summa 16 PAH. Svenska bedömningsgrunder omfattar endast summa 11 PAH.

Enligt svenska bedömningsgrunder för kust- och havssediment (Naturvårdsverket 2005) faller med avseende på summa 11 PAH ytsedimenten på stationerna B3, C2, D1, D7, E1 och E2 från år 2000 i tillståndsklass II (*låg halt*), dvs. miljökvaliteten har här förbättrats sedan 1995 (tabell 4:23). Övriga åtta stationer faller i tillståndsklasserna III och IV (*medelhög till hög halt*). I de senare fallen är miljökvaliteten från 1995 i stort sett bibehållen. En viss försämring kan dock noteras på stationerna E3 och F2.

Förändringen på respektive station av sedimentens halt av summa 16 PAH mellan åren 1995 och 2000 illustreras i figur 4:87. På samtliga stationer utom två har halterna i ytsedimenten minskat sedan 1995. I

Tabell 4:21. Summa polycykliska aromatiska föreningar (∑16 PAH) och enskilda polycykliska aromatiska föreningar i ytsedimenten (0–1 cm) i Stenungsundsområdet 1995–2000.

The sum of polycyclic aromatic hydrocarbons (∑16 PAH) and individual polycyclic aromatic hydrocarbons in the surficial sediments (0–1 cm) of the Stenungsunds area in 1995–2000.

Station	År	∑16PAH µg/kg	Naftalen µg/kg	Acenaftylen µg/kg	Acenaften µg/kg	Fluoren µg/kg	Fenantren µg/kg	Antracen µg/kg	Fluorantene µg/kg
A3	1995	869,3	13	5	3,1	6,0	31	9,5	105
	2000	630	13	<10	<10	<10	55	<10	54
B3	1995	953	14	3,7	2,7	6,6	30	7,8	81
	2000	300	12	<10	<10	<10	190	<10	27
C2	1995	357,7	5,8	4,4	2,4	6,1	20	9,5	55
	2000	240	<10	<10	<10	<10	12	<10	27
D1	1995	389,8	5	5,3	3,1	7,0	20	12,	50
	2000	290	<10	<10	<10	<10	17	<10	32
D7	1995	-	-	-	-	-	-	-	-
	2000	280	<10	<10	<10	<10	16	<10	33
E1	1995	835,7	13	11	3,9	9,3	26	16	132
	2000	180	<10	<10	<10	<10	10	<10	20
E2	1995	1016,1	24	7,6	5,0	13	58	15	13
	2000	220	<10	<10	<10	<10	13	<10	23
E3	1995	850,2	172	4,3	3,0	7,4	35	9,5	89
	2000	2000	23	12	<10	11	60	13	110
F2	1995	889,1	81	62	14	24	72	66	169
	2000	1200	39	17	<10	12	53	13	70
F4	1995	726,1	15	4,7	3,2	7,9	34	9,5	92
	2000	560	11	<10	<10	<10	23	<10	35
G1	1995	719,3	16	6,1	3,3	8,4	32	9,8	84
	2000	460	<10	<10	<10	<10	18	<10	33
G2	1995	1251,1	25	10,9	6,0	14	55	17	140
	2000		<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10
H3	1995	363,7	6,8	3,6	1,5	3,7	15	4,8	59
	2000	370	<10	<10	<10	<10	18	<10	34
I2	1995	733,1	17	7	3,5	7,8	33	10	118
	2000	370	13	<10	<10	<10	24	<10	33
K2	1995	1270,4	19	9	5,6	11	44	15	140
	2000	540	14	<10	<10	<10	28	<10	55

flera fall är minskningen kraftig. På stationerna E3 och F2 har halterna däremot ökat starkt under samma period med 135 respektive 35 %. Baserat på medel- och medianvärdesförändringarna har halterna i området minskat med 30 % respektive 54 % (fig. 4:88). Förändringarna av PAH i ytsedimenten är sannolikt reella eftersom variationskoefficienten för PAH kan antas ligga runt 10 % (jfr metaller ovan) till följd av sedimentens inhomogenitet. Minskningen är i nivå med de minst 35 %, som baserat på blandningsfaktorn (se avsnitt 2.5 ovan), krävs för att en förändring skall kunna detekteras vid ett femårigt provtagningsintervall.

PAH är positivt men svagt associerat med sedimentens kornstorleksfraktion <63 µm (r = 0,22) i området. Mot totalt organiskt kol (TOC) är ∑16 PAH också dåligt korrelerat (r = 0,35). Vid undersökningarna 1995 var förhållandena ungefär desamma, dvs. en svag korrelation förelåg till både kornstorlek och organiskt material.

I syfte att skapa jämförbarhet med data från andra områden längs västkusten (tabell 2:49 i del 2, denna samlingsvolym) har också ∑11 PAH beräknats för stationerna i Stenungsundsområdet 1995. ∑11 PAH varierar mellan 130 µg/kg ts och 1 895 µg/kg ts med ett medelvärde och medianvärde av 486±474 respektive 319 µg/kg ts. Det senare värdet är ca 65 % lägre än motsvarande värden för hela Skagerrak och Kattegatt (tabell 2:49 i del 2, denna samlingsvolym), men ca 60 % högre än referensdata (310 µg/kg ts) från Färöarna.

Tabell 4:21. Fortsättning. Cont.

Station	År	Pyrene µg/kg	Benso(a)-antracen µg/kg	Krysen µg/kg	Benso-(b+k)-fluoranten µg/kg	Benso(a)-pyren µg/kg	Indeno-(1.2.3-cd)-pyren µg/kg	Benso(ghi)-perylen µg/kg	Dibenso-(a.h)-antra-cen µg/kg
A3	1995	79	38	54	184	51	113	108	70
	2000	46	27	37	159	34	110	78	14
B3	1995	57	251	62	151	42	94	96	53
	2000	20	13	19	72	15	74	32	<10
C2	1995	37	23	40	64	20	29	13	29
	2000	20	15	20	60	14	52	22	<10
D1	1995	34	23	38	49	15	43	30	56
	2000	23	16	24	71	15	67	30	<10
D7	1995	-	-	-	-	-	-	-	-
	2000	24	15	23	66	16	64	28	<10
E1	1995	101	35	50	130	39	104	105	62
	2000	16	11	15	36	11	44	18	<10
E2	1995	102	63	101	229	62	126	125	73
	2000	18	11	14	56	13	52	23	<10
E3	1995	72	45	142	56	67	26	85	38
	2000	91	92	100	497	110	64	240	22
F2	1995	25	57	71	101	37	39	37	31
	2000	82	63	68	271	72	32	120	41
F4	1995	71	45	78	127	42	75	81	41
	2000	27	22	28	137	26	170	64	<10
G1	1995	63	40	66	143	38	81	81	47
	2000	31	25	29	122	26	120	49	<10
G2	1995	104	66	107	252	70	150	146	88
	2000	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10
H3	1995	50	20	33	71	19	33	35	17
	2000	26	17	26	95	23	84	46	<10
I2	1995	88	38	68	139	36	66	72	29
	2000	28	15	24	97	21	74	43	<10
K2	1995	104	65	92	265	80	165	158	99
	2000	43	23	37	142	34	110	58	<10

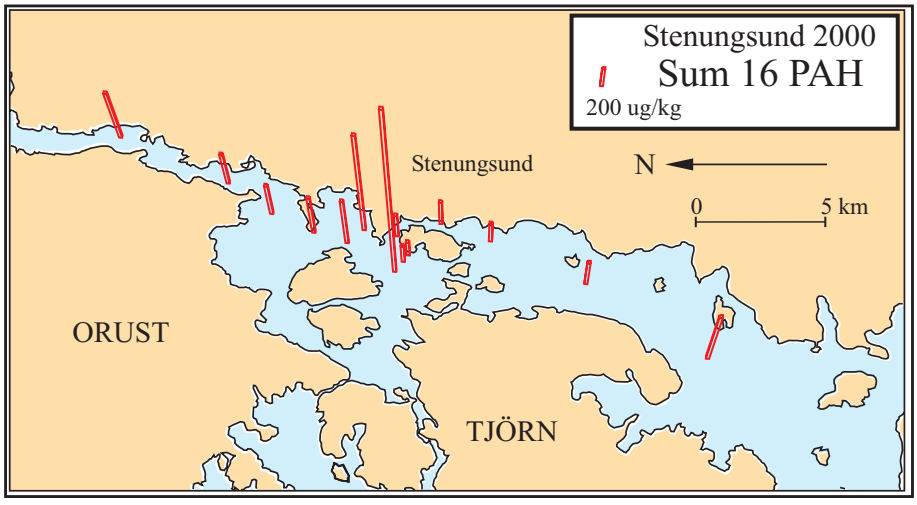


Fig 4:84. Fördelningen av ∑16 PAH (µg/kg) i Stenungsundsområdets ytsediment (0–1 cm) 2000.

The distribution of ∑16 PAH (µg/kg) in 2000 in the surficial sediments (0–1 cm) of the Stenungsund area.

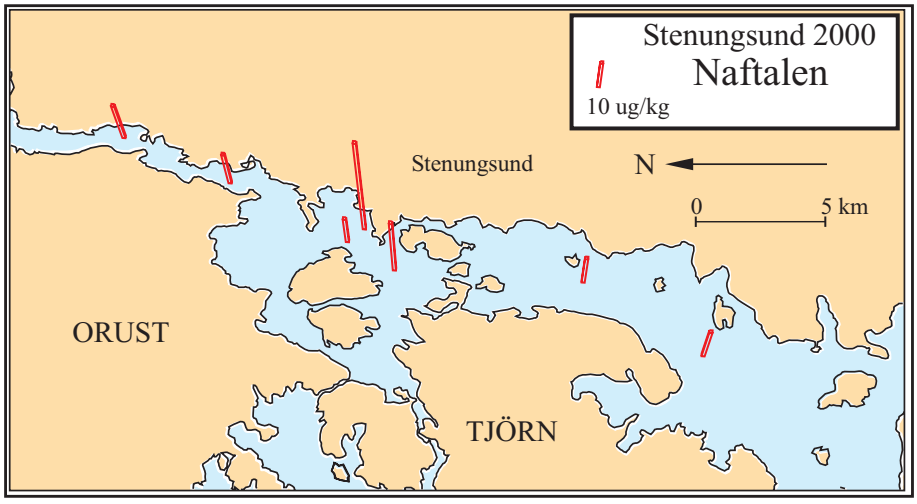


Fig 4:85. Fördelningen av naftalen (µg/kg) i Stenungsundsområdets ytsediment (0–1 cm) 2000.

The distribution of naphtalene (µg/kg) in 2000 in the surficial sediments (0–1 cm) of the Stenungsund area.

Tabell 4:22. Spridning, medelvärden och medianvärden för 16 polycykliska aromatiska kolväten i ytsedimenten (0–1 cm) i Stenungsundsområdet 1995–2000.

Range, means and medians of 16 polycyclic aromatic hydrocarbons in the surficial sediments (0–1 cm) of the Stenungsunds area in 1995–2000.

Summaparameter/ /förening µg/kg	År	Intervall	Medelvärde MV n = 18	Medianvärde Md n = 18	Standardavvik. (s)	Medianvärde Västerhavet n = 92 (Cato 1997)	Bakgrund Färöarna Ref. 1 (Cato) 1992
∑11 PAH	1995	276–1127	652	668	235	900	310
	2000	130–1895	486	319	474		
∑16 PAH	1995	264–1270	775	796	287		
	2000	180–2000	546	370	492		
Naftalen	1995	3,7–172	27	15	40		
	2000	<10–39	14	11	8		
Fenantren	1995	14–72	35	33	15	37	8
	2000	<10–190	38	21	47		
Antracen	1995	4,8–66	14	10	14	7	3
	2000	<10–13	10	<10	1		
Acenaftylen	1995	3,6–62	9.5	6.3	13		
	2000	<10–17	11	<10	1,9		
Acenaften	1995	15–72	4.0	3.3	2.8		
	2000	<10	<10	<10	-		
Fluoren	1995	2,7–24	8.8	7.9	4.6		
	2000	<10–12	10	<10	0,5		
Fluoranten	1995	13–169	94	90	42	84	21
	2000	20–110	42	33	24		
Pyren	1995	25–104	70	71	27	53	39
	2000	16–91	35	27	23		
Benso(a)antracen	1995	20–251	53	40	51	36	11
	2000	11–92	26	17	23		
Krysen	1995	30–142	68	67	28	49	13
	2000	14–100	33	25	23		
Benso(b+k)fluoranten	1995	49–265	141	141	66	230	55
	2000	11–206	58	44	51		
Benso(a)pyren	1995	15–80	43	41	18	64	22
	2000	11–110	31	22	28		
Benso(ghi)perylen	1995	5–158	80	83	43	120	80
	2000	18–240	61	45	58		
Indeno(1,2,3-cd)pyren	1995	18–165	80	78	44	170	55
	2000	44–640	142	79	160		
Dibenso(a,h)antracen	1995	15–99	50	50	23		
	2000	<10–49	15	<10	11		

Tabell 4:23 Ytsedimentens (0–1 cm) miljökvalitet i Stenungsundsområdet 1995–2000 med avseende på ∑11 PAH. Klassning enligt svenska bedömningsgrunder (Naturvårdsverket 2005).

The environmental quality of the surface sediments (0–1 cm) in the Stenungsund area with respect to the content of ∑11 PAH in 1995–2000. Classification according to Swedish Environmental Quality Criteria (Naturvårdsverket 2005).

Station µg/kg	11 PAH 1975	11 PAH 1981	11 PAH 1985	11 PAH 1995	11 PAH 2000
A3				773	573
B3				873	248
C2				311	190
D1				313	240
D7				-	230
E1				737	130
E2				910	170
E3				625	1895
F2				677	1091
F4				654	505
G1				639	409
H3				338	320
I2				668	317
K2				1127	486

Organiska miljögifter	
Klass 1	Ingen halt
Klass 2	Låg halt
Klass 3	Medelhög halt
Klass 4	Hög halt
Klass 5	Mycket hög halt

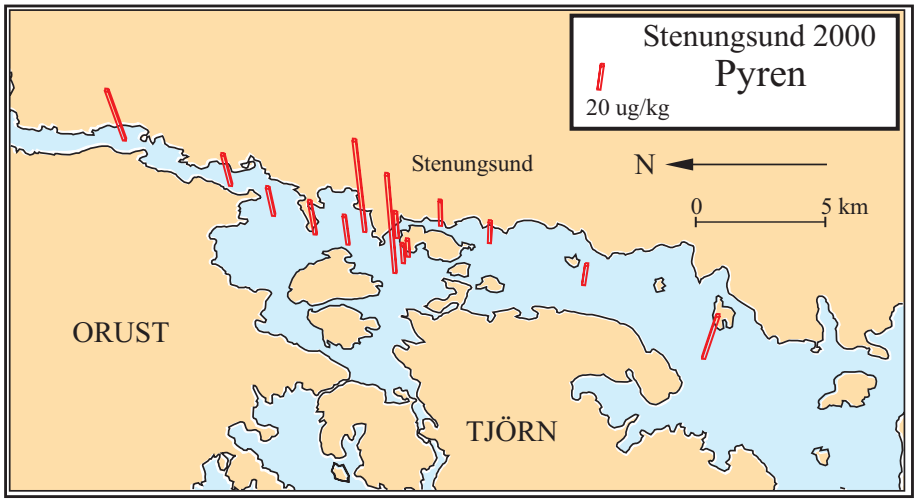


Fig 4:86. Fördelningen av pyren (µg/kg) i Stenungsundsområdets ytsediment (0–1 cm) 2000.

The distribution of pyrene (µg/kg) in 2000 in the surficial sediments (0–1 cm) of the Stenungsund area.

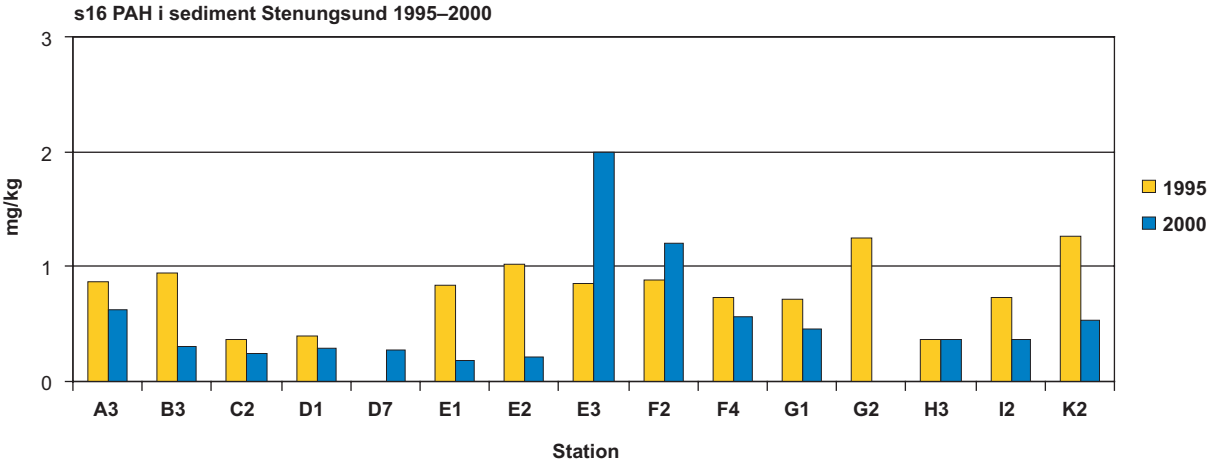


Fig. 4:87. Koncentrationen av polcykliska aromatiska kolväten (sum 16 PAH, mg/kg ts) i ytsedimentet (0–1 cm) på respektive station i Stenungsundsområdet 1995–2000.

The concentration of polycyclic aromatic hydrocarbons (sum 16 PAH, mg/kg dw) in the surficial sediments (0–1 cm) at each station in the Stenungsund area in 1995–2000 respectively.

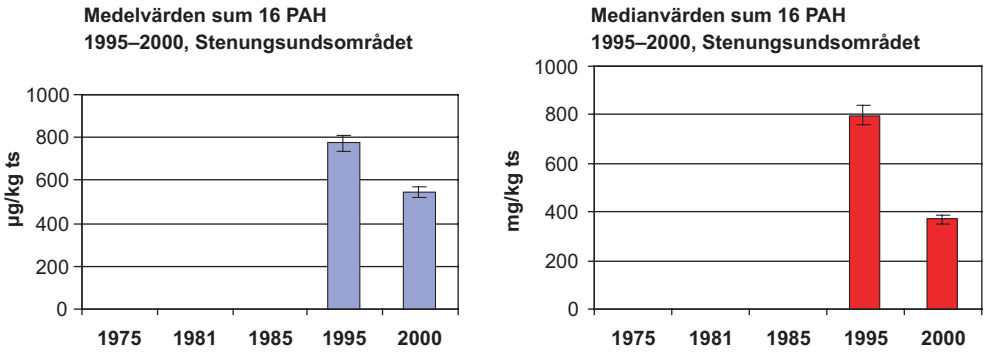


Fig. 4:88. Medelvärden (t.v.) och medianvärden (t.h.) för polycykliska aromatiska kolväten (sum 16 PAH) i Stenungsundsområdets ytsediment (0–1 cm) mellan 1995 och 2000 (n = 14). Data saknas för 1975–1985.

Mean (left) and median (right) values of polycyclic aromatic hydrocarbons (sum 16 PAH) between 1995 and 2000 in the surficial sediments (0–1 cm) of the Stenungsund area (n = 14). Data are lacking from 1975–1985.

4.5.15 METYLNAFTALENER

Analysresultaten vad avser 1-metylnaftalen och 2-metylnaftalen redovisas i tabell 4:24 och den geografiska fördelningen för 2-metylnaftalen illustreras i figur 4:89. Föreningarna uppvisar ett liknande fördelningsmönster. Koncentrationen i ytsedimenten år 2000 varierar mellan <10 och 30 µg/kg ts för 1-metylnaftalen och <10 till 41 µg/kg ts för 2-metylnaftalen. Respektive medelvärden och medianvärden var 12 och <10 samt 13 och <10 µg/kg ts (tabell 4:25). Föreningarna kunde endast detekteras på stationerna E3 och F2 i norra och mellersta Askeröfjorden.

Svenska bedömningsgrunder för kust- och havssediment saknas för metylnaftalener. Föreningarna har inte tidigare studerats i områdets sediment.

Tabell 4:24. **Metylnaftalener i** ytsediment (0–1 cm) i Stenungsundsområdet 2000.

Methylnaphtalenes in 2000 in the surficial sediments (0–1 cm) of the Stenungsund area.

Station	År	1-Metylnaftalen µg/kg ts	2-Metylnaftalen µg/kg ts
A3	2000	<10	<10
B3	2000	<10	<10
C2	2000	<10	<10
D1	2000	<10	<10
D7	2000	<10	<10
E1	2000	<10	<10
E2	2000	<10	<10
E3	2000	14	22
F2	2000	30	41
F4	2000	<10	<10
G1	2000	<10	<10
H3	2000	<10	<10
I2	2000	<10	<10
K2	2000	<10	<10

Tabell 4:25. Spridning, medelvärden och medianvärden för metylnaftalener i ytsedimenten (0–1 cm) i Stenungsundsområdet 2000.

Range, means and medians of methylnaphtalenes in the surficial sediments (0–1 cm) of the Stenungsunds area in 2000.

Ämne	Enhet	n	Intervall	Medelvärde MV	Medianvärde Md	Standardavikelse s
1-metylnaftalen	µg/kg ts	14	<10–30	12	<10	5,4
2-metylnaftalen	µg/kg ts	14	<10–41	13	<10	8,7

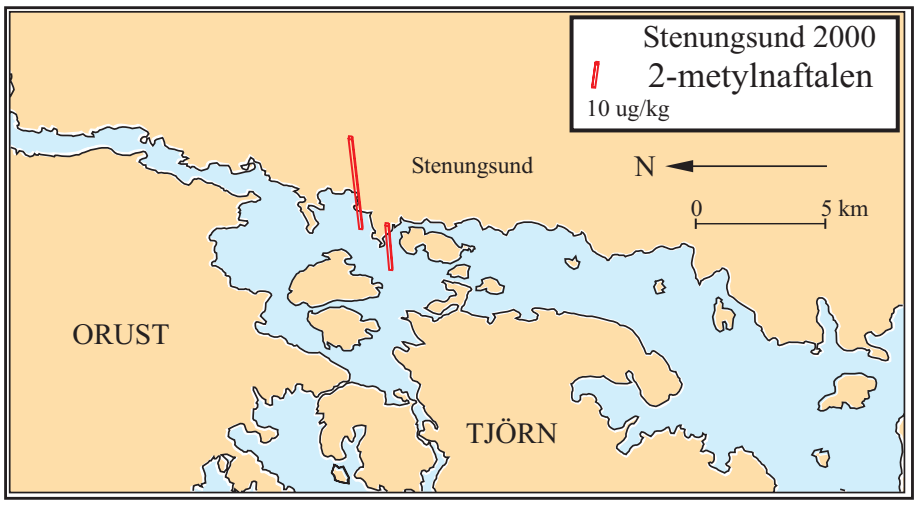


Fig 4:89. Fördelningen av 2-metylnaftalen (µg/kg) i Stenungsundsområdets ytsediment (0–1 cm) 2000.

The distribution of 2-methylnaphtalen (µg/kg) in 2000 in the surficial sediments (0–1 cm) of the Stenungsund area.

4.5.16 POLYKLORERADE BIFENYLER SAMT FÖRÄNDRINGAR EFTER 1994

Analysresultaten vad avser polyklorerade bifenyler (PCB) redovisas i tabellerna 4:26–4:27 tillsammans med 1995 års data samt för vissa stationer motsvarande data från 1994 års undersökningar (Brorström-Lundén & Granmo 1995). Värdena avser dels summan av sju identifierade PCB:er (kongenerna: PCB 28, PCB 52, PCB 101, PCB 118, PCB 153, PCB 138 och PCB 180), vilka sammanförts under begreppet ∑7-PCB, dels totalt identifierade PCB:er, dvs. förutom nämnda kongener också PCB 105, PCB 156, PCB 157 och PCB 167.

PCB 28 och PCB 52 kunde inte detekteras inom området, och PCB 157 kunde enbart detekteras på två stationer (E3 och F2) i Askeröfjorden. Övriga PCB kunde med något undantag detekteras på samtliga stationer.

Koncentrationen av ∑7-PCB i ytsedimenten år 2000 varierar mellan <0,1 och 3,7 µg/kg ts med ett medelvärde och medianvärde av ca 1,3 respektive 1,0 µg/kg ts (tabell 4:28). Den geografiska fördelningen illustreras i figur 4:90. Fördelningsmönstret är detsamma för övriga PCB.

De högsta halterna år 2000 (3,7 och 3,6 µg/kg ts) påträffades på stationerna E3 och F2 i Askeröfjorden. På övriga stationer låg halterna under 1,8 µg/kg ts. 1995 uppmättes den högsta halten (14,7 µg/kg ts) på station A1 i undersökningsområdets södra del (Hakefjorden).

Koncentrationen av total-PCB (som aroklor 1254) i ytsedimenten år 2000 varierar mellan 0,35 och 13 µg/kg ts med ett medelvärde och medianvärde av ca 4,6 respektive 3,6 µg/kg ts (tabellerna 4:26–4:28). Den geografiska fördelningen överensstämmer med fördelningen av ∑7-PCB.

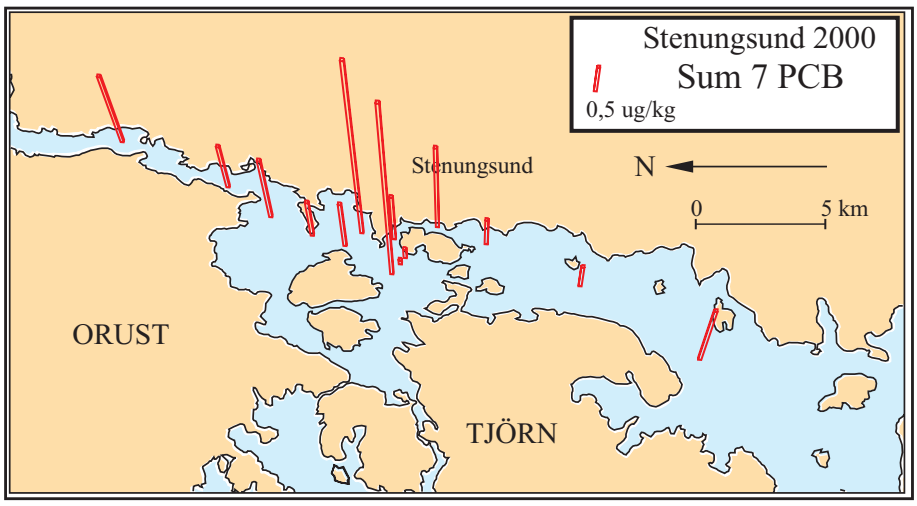


Fig 4:90. Fördelningen av ∑7-PCB (µg/kg) i Stenungsundsområdets ytsediment (0–1 cm) 2000.

The distribution of ∑7-PCB (µg/kg) in 2000 in the surficial sediments (0–1 cm) of the Stenungsund area.

Tabell 4:26. Polyklorerade bifenyler (PCB, ∑7-Dutch), i ytsediment (0–1 cm) i Stenungsundsområdet 1994–2000. Data från 1994 från Brorström-Lundén & Granmo (1995).

Polychlorinated biphenyls (PCB, ∑7-Dutch), in 1994–2000 in the surficial sediments (0–1 cm) of the Stenungsund area. Data from 1994 from Brorström-Lundén & Granmo (1995).

Station	År	∑7 PCB µg/kg	Tot PCB µg/kg	PCB 28 µg/kg	PCB 52 µg/kg	PCB 101 µg/kg	PCB 118 µg/kg	PCB 138 µg/kg	PCB 153 µg/kg	PCB 180 µg/kg
A3	1994	8.8	17,6*							
	1995	5,7	11,4*	0,3	0,5	0,7	1	1,3	1,3	0,6
	2000	1,3	4,5	<0,1	<0,3	0,23	0,26	0,34	0,34	0,12
B3	1995	7,5	15*	0,3	0,5	0,9	1,1	1,8	1,9	1
	2000	0,48	1,7	<0,1	<0,1	<0,1	0,13	0,18	0,18	<0,1
C2	1995	3,9	7,8*	0,3	0,7	*	0,7	0,8	1	0,4
	2000	0,58	2	<0,1	<0,1	0,12	0,13	0,16	0,17	<0,1
D1	1995	3,6	7,2*	0,3	*	*	0,9	0,9	1	0,4
	2000	1,8	6,3	<0,1	<0,1	0,30	0,27	0,45	0,48	0,31
D7	1995									
	2000	1,0	3,6	<0,2	<0,7	0,28	0,27	0,24	0,24	<0,1
E1	1994	6.5	13*							
	1995	4,8	9,6*	0,5	0,5	*	1	1,2	1,1	0,5
	2000	0,21	0,73	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,11	0,1	<0,1
E2	1994	6.7	13,4*							
	1995	4,4	8,8*	0,3	0,5	*	0,9	1,1	1,1	0,5
	2000	0,1	0,35	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,1	<0,1
E3	1994	6,9	13,8*							
	1995	6,4	12,8*	0,3	0,5	1,1	1,1	1,3	1,4	0,7
	2000	3,7	13	<0,2	<0,2	0,65	0,81	0,87	1	0,41
F2	1994	5.9	11,8*							
	1995	6,9	13,8*	0,6	1,1	*	1,2	1,5	1,7	0,8
	2000	3,6	13	<0,1	<0,3	0,74	0,82	0,88	0,85	0,36
F4	1994	7.1	14,2*							
	1995	6,4	12,8*	0,4	0,6	1,1	1,1	1,3	1,3	0,6
	2000	0,99	3,5	<0,1	<0,1	0,19	0,25	0,27	0,28	<0,1
G1	1995	5	10*	0,3	0,5	*	1,1	1,3	1,2	0,6
	2000	0,79	2,8	<0,1	<0,2	0,15	0,18	0,23	0,23	<0,1
H3	1995	6,4	12,8*	0,3	0,9	1,3	1	1,2	1,2	0,5
	2000	1,3	4,4	<0,1	<0,1	0,21	0,26	0,34	0,34	0,12
I2	1995	6	12*	0,3	0,6	0,9	1	1,3	1,3	0,6
	2000	0,92	3,2	<0,1	<0,1	0,17	0,20	0,27	0,27	<0,1
K2	1995	7,6	15,2*	0,4	0,6	1	1,5	1,7	1,7	0,7
	2000	1,4	4,9	<0,1	<0,1	0,24	0,29	0,35	0,4	0,12

* = analysresultaten maskerade.

I tabell 2:58 i del 2 (denna samlingsvolym) redovisas PCB-halterna från öppna Skagerrak och Kattegatt samt från några områden utmed Bohuskusten. Medel- och medianvärdena är 5,3 respektive 3,5 µg/kg ts för ∑7-PCB, dvs. ca 3–4 gånger högre än motsvarande värde i Stenungsundsområdet.

Enligt svenska bedömningsgrunder för polyklorerade bifenyler (∑7 PCB och tot-PCB) i kust- och havssediment (Naturvårdsverket 2005) faller år 2000 åtta stationer i tillståndsklass 2, dvs. en *låg halt* och sex stationer i tillståndsklass 3, dvs. en *medelhög halt* (tabell 4:29). Förhållandena är likartade med avseende på total-PCB.

I jämförelse med 1994 och 1995 är miljökvaliteten i detta avseende väsentligt förbättrad på flertalet stationer i Stenungsundsområdet. Såväl 1994 som 1995 uppmättes *höga halter* på i stort sett samtliga stationer (tabell 4:29).

PCB-halterna är dåligt korrelerade till sedimentens organiska kolhalt (r = 0,13) och till kornstorleksfraktionen <63 µm (r = 0,04).

1994 genomfördes en undersökning på åtta av övervakningsstationerna (A1, A3, E1, E2, E3, F2, F3, F4) av Brorström-Lundén & Granmo 1995. Dessa data nyttjas tillsammans med 1995 års data för trendanalysen. Utvecklingstrenden för ∑7 PCB på varje enskild station mellan 1994 och 2000 illustreras i figur 4:91.

Tabell 4:27. Polyklorerade bifenyler (PCB) i Stenungsundsområdets ytsediment (0–1 cm) 1995–2000.

Polychlorinated biphenyls (PCB) in 1995–2000 in the surficial sediments (0–1 cm) of the Stenungsund area.

Station	År	PCB 105 µg/kg	PCB 156 µg/kg	PCB 157 µg/kg	PCB 167 µg/kg	PCB 209 µg/kg
A3	1995	0,400	0,200			0,3
	2000	0,100	0,037	<0,01	0,019	
B3	1995	0,400	0,300			0,3
	2000	0,056	0,018	<0,01	0,010	
C2	1995	0,300	0,100			<0,1
	2000	0,063	0,018	<0,01	<0,01	
D1	1995	0,500	0,200			<0,1
	2000	0,130	0,051	<0,01	0,023	
D7	1995					
	2000	0,140	0,028	<0,01	0,013	
E1	1995	0,500	0,200			0,3
	2000	0,042	0,011	<0,01	<0,01	
E2	1995	0,400	0,200			0,2
	2000	0,036	<0,01	<0,01	<0,01	
E3	1995	0,500	0,200			0,3
	2000	0,360	0,110	0,026	0,059	
F2	1995	0,600	0,300			0,2
	2000	0,350	0,120	0,027	0,052	
F4	1995	0,600	0,200			0,3
	2000	0,110	0,030	<0,01	0,016	
G1	1995	0,500	0,200			0,3
	2000	0,083	0,022	<0,01	0,012	
H3	1995	0,500	0,200			0,2
	2000	0,120	0,036	<0,01	0,019	
I2	1995	0,500	0,200			0,2
	2000	0,092	0,026	<0,01	0,015	
K2	1995	0,700	0,300			0,3
	2000	0,130	0,038	<0,01	0,021	

Tabell 4:28. Spridning, medelvärden och medianvärden för polyklorerade bifenyler (PCB) i ytsedimenten (0–1 cm) i Stenungsundsområdet 1994–2000.

Range, means and medians of polychlorinated biphenyles (PCB) in the surficial sediments (0–1 cm) of the Stenungsunds area in 1994–2000.

Ämne	Årtal	n	Intervall µg/kg	Medelvärde MV µg/kg	Medianvärde Md µg/kg	Standardavvikelse s
∑7-PCB	1994	6	5,9–8,8	7	6,8	0,98
	1995	18	3,3–15	6	5,9	2,5
	2000	14	<0,1–3,7	1,3	1,0	1,1
Tot PCB	1994	6	11,8–17,6*	14*	13,6*	
	1995	13	6,6–30*	12*	11,8*	
	2000	14	0,35–13	4,6	3,6	3,9
PCB 28	1995	13	0,3–0,6	0,35	0,30	0,096
	2000	14	<0,1	<0,1	<0,1	-
PCB 52	1995	13	0,5–1,1	0,63	0,55	0,19
	2000	14	<0,1	<0,1	<0,1	-
PCB 101	1995	13	0,7–1,3	1	1	0,19
	2000	14	<0,1–0,74	0,26	0,20	0,20
PCB 118	1995	13	0,7–1,5	1	1	0,19
	2000	14	<0,1–0,82	0,29	0,26	0,23
PCB 138	1995	13	0,8–1,8	1,3	1,3	0,28
	2000	14	<0,1–0,88	0,34	0,27	0,25
PCB 153	1995	13	1–1,9	1,3	1,3	0,28
	2000	14	<0,1–1	0,36	0,28	0,27
PCB 180	1995	13	0,4–1	0,61	0,60	0,17
	2000	14	<0,1–0,41	0,16	0,10	0,11
PCB 105	1995					
	2000	14	0,036–0,36	0,13	0,11	0,10
PCB 156	1995					
	2000	14	<0,01–0,12	0,040	0,029	0,034
PCB 157	1995					
	2000	14	<0,01–0,027	0,012	0,010	0,006
PCB 167	1995					
	2000	14	<0,01–0,059	0,021	0,016	0,015

- = ej analyserat. Not analysed.
* = 2x s7PCB

Halten av ∑7 PCB har sjunkit kraftigt på samtliga stationer. I medeltal har halten sjunkit med 78 % sedan 1995 (fig. 4:92). Förändringarna av PCB i ytsedimenten är statistiskt signifikant eftersom variationskoefficienten för PCB kan antas ligga runt 10 % (jfr metaller ovan) till följd av sedimentens inhomogenitet. Den observerade minskningen är betydligt större än de 35 % som krävs för att en förändring med säkerhet skall kunna detekteras vid ett femårigt provtagningsintervall.

Utvecklingstrenden vad avser total-PCB mellan de tre undersökningsåren 1994, 1995 och 2000 har inte varit möjlig att studera direkt eftersom inga totalhalter analyserades 1994 och 1995. Eftersom ∑7 PCB utgör ca 50 % av totalhalten PCB (De Voogt & Brinkman 1989) har den förra halten på varje station multiplicerats med 2 för att erhålla totalhalter för 1994 och 1995. Förändringarna av sedimentens halt av tot-PCB på respektive station mellan 1994 och 2000 års undersökningar illustreras i figur 4:93. På samtliga stationer har halten minskat kraftigt sedan 1994/1995. I medeltal har halten sjunkit med 62 %. En förändring som är statistiskt signifikant eftersom variationskoefficienten för tot-PCB kan antas ligga runt 10 % (jfr metaller ovan) till följd av sedimentens inhomogenitet. Den observerade minskningen är, i likhet med minskningen av summa 7 PCB, betydligt större än de 35 % som krävs för att en förändring med säkerhet skall kunna detekteras vid ett femårigt provtagningsintervall.

I jämförelse med halten av summa 7 PCB kan konstateras att halterna av total-PCB på stationerna E3 och F2 skiljer sig mindre åt mellan undersökningsåren än vad som gäller på övriga stationer. Detta indikerar att området har källor med olika PCB-profiler.

Tabell 4:29 Ytsedimentens (0–1 cm) miljökvalitet i Stenungsundsområdet 1994–2000 med avseende på ∑7 PCB och total-PCB. Klassning enligt svenska bedömningsgrunder (Naturvårdsverket 2005).

The environmental quality of the surface sediments (0–1 cm) in the Stenungsund area with respect to the content of ∑7 PCB and total PCB in 1994–2000. Classification according to Swedish Environmental Quality Criteria (Naturvårdsverket 2005).

Station µg/kg	s7 PCB 1994	s7 PCB 1995	s7PCB 2000	TotPCB 2000
A3	8,8	5,7	1,3	4,5
B3		7,5	0,48	1,7
C2		3,9	0,58	2
D1		3,6	1,8	6,3
D7			1	3,6
E1	6,5	4,8	0,21	0,73
E2	6,7	4,4	0,1	0,35
E3	6,9	6,4	3,7	13
F2	5,9	6,9	3,6	13
F4	7,1	6,4	0,99	3,5
G1		5	0,79	2,8
H3		6,4	1,3	4,4
I2		6	0,92	3,2
K2		7,6	1,4	4,9

Organiska miljögifter	
Klass 1	Ingen halt
Klass 2	Låg halt
Klass 3	Medelhög halt
Klass 4	Hög halt
Klass 5	Mycket hög halt

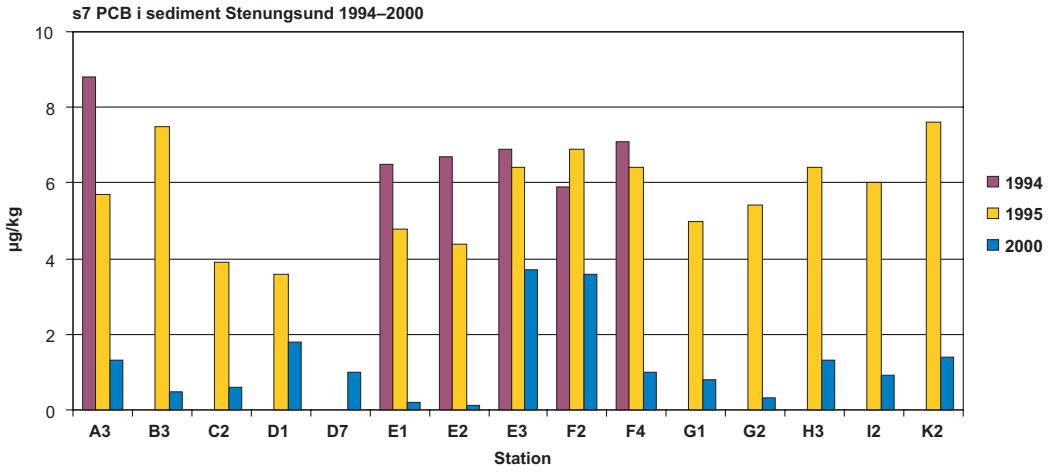


Fig. 4:91. Koncentrationen av polyklorerade bifenyler (sum 7 PCB, µg/kg ts) i ytsedimentet (0–1 cm) på respektive station i Stenungsundsområdet 1994–2000.

The concentration of polychlorinated biphenyls (sum 7 PCB, µg/kg dw) in the surficial sediments (0–1 cm) at each station in the Stenungsund area in 1994–2000 respectively.

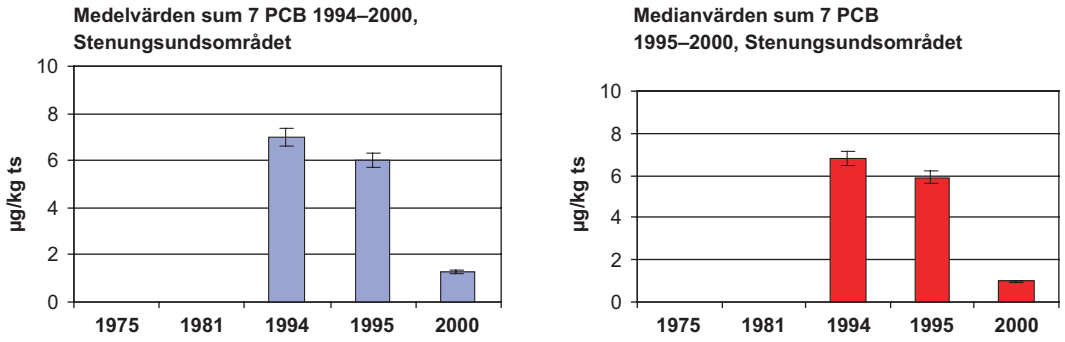


Fig. 4:92. Medelvärden (t.v.) och medianvärden (t.h.) för polyklorerade bifenyler (sum 7 PCB) i Stenungsundsområdets ytsediment (0–1 cm) mellan 1994 och 2000 (n = 14). Data saknas för 1975–1981.

Mean (left) and median (right) values of polychlorinated biphenyls (sum 7 PCB) between 1994 and 2000 in the surficial sediments (0–1 cm) of the Stenungsund area (n = 14).Data are lacking from 1975–1981.

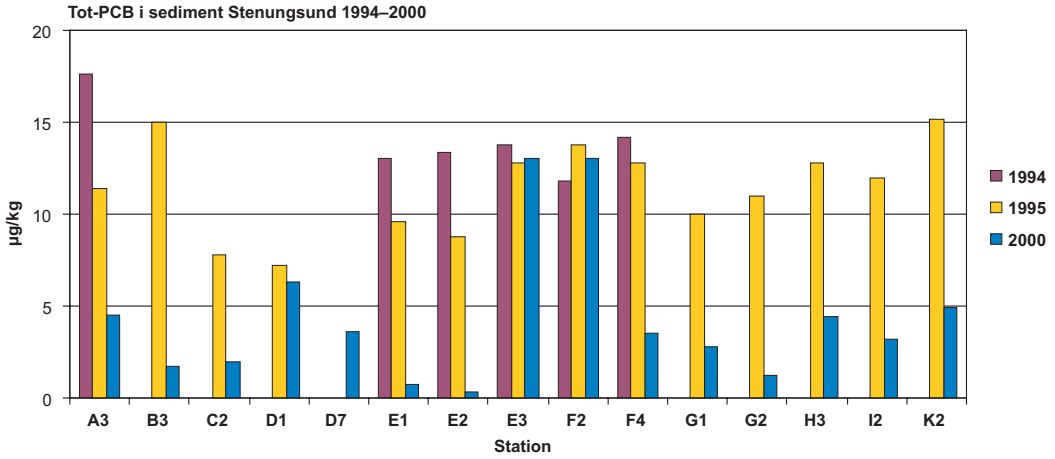


Fig. 4:93. Koncentrationen av polyklorerade bifenyler (total-PCB, µg/kg ts) i ytsedimentet (0–1 cm) på respektive station i Stenungsundsområdet 1994–2000.

The concentration of polychlorinated biphenyls (total-PCB, µg/kg dw) in the surficial sediments (0–1 cm) at each station in the Stenungsund area in 1994–2000 respectively.

4.5.17 PLANA PCB

En speciell och mycket toxisk grupp av PCB utgör de s.k. plana PCB, dvs. PCB-kongener med kloratomer i molekylens para- och meta-positioner. Dessa s.k. nonorto PCBer, omfattar i föreliggande studie kongenerna PCB-77, PCB-126 och PCB-169. Resultaten redovisas i tabell 4:30. I tabellen återges också ∑nonorto (plana) PCB, toxisitetsekvivalenterna TE(WHO) enligt Ahlborg m.fl. (1994) samt i-TE(Safe) enligt Safe (1994).

Endast PCB-77 kunde detekteras vid 2000 års undersökningar. Koncentrationen av ∑nonorto-PCB (i detta fall PCB-77) i ytsedimenten varierar mellan <10 och 86 ng/kg ts med ett medelvärde och medianvärde av 30 respektive 26 ng/kg ts (tabell 4:31).

Tabell 4:30. Plana PCB jämte toxisitetsekvivalenter i Stenungsundsområdets ytsediment (0–1 cm) 2000.

Non-ortho PCB and the accounted toxic equivalents in the surficial sediments (0–1 cm) of the Stenungsund area in 2000.

Station	År	PCB 77 ng/kg	PCB 126 ng/kg	PCB 169 ng/kg	∑non-orto PCB ng/kg	TEF (WHO)	i-TEF (Safe)
A3	2000	21	<10	<10	21	0,0021	2,1
B3	2000	13	<10	<10	13	0,0013	1,3
C2	2000	15	<10	<10	15	0,0015	1,5
D1	2000	30	<10	<10	30	0,0030	3
D7	2000	42	<10	<10	42	0,0042	4,2
E1	2000	13	<10	<10	13	0,0013	1,3
E2	2000	<10	<10	<10	<10	<0,001	<0,1
E3	2000	86	<10	<10	86	0,0086	8,6
F2	2000	55	<10	<10	55	0,0055	5,5
F4	2000	26	<10	<10	26	0,0026	2,6
G1	2000	22	<10	<10	22	0,0022	2,2
H3	2000	26	<10	<10	26	0,0026	2,6
I2	2000	22	<10	<10	22	0,0022	2,2
K2	2000	31	<10	<10	31	0,0031	3,1

Tabell 4:31. Spridning och medelvärden för några plana PCB i Stenungsundsområdets ytsediment (0–1 cm) 2000.

Range and means of non-ortho PCB in surficial sediments (0–1 cm) of the Stenungsund area in 2000.

Bifenyl	År	Antal stationer (n)	Intervall ng/kg	Medelvärde MV ng/kg ts	Medianvärde Md ng/kg	Standardavvikelse s ng/kg ts
PCB-77	2000	14	<10–86	30	26	21
PCB-126	2000	14	<10–<10	<10	<10	-
PCB-169	2000	14	<10–<10	<10	<10	-
∑nonorto PCB	2000	14	<10–86	30	26	21
TEF (WHO)	2000	14	<0,001–0,0086	0,003	0,0026	0,0021
i-TEF (Safe)	2000	14	<0,1–8,6	3	2,6	2,1

Den geografiska fördelningen av PCB-77 illustreras i figur 4:94 Liksom för övriga PCB påträffades den högsta halten vid stationerna E3 och F2 i Askeröfjorden (se även fig. 4:95). Svenska bedömningsgrunder för plana PCB saknas.

I tabell 2:59 i del 2 (denna samlingsvolym) redovisas de fåtal data som finns över plana PCB från Bohuskusten. Halterna i Stenungsundsområdet förefaller att vara lägre än i Göta älv och dess estuarium. Enda undantag utgör stationerna E3 och F2 i Askeröfjorden (fig. 4:95).

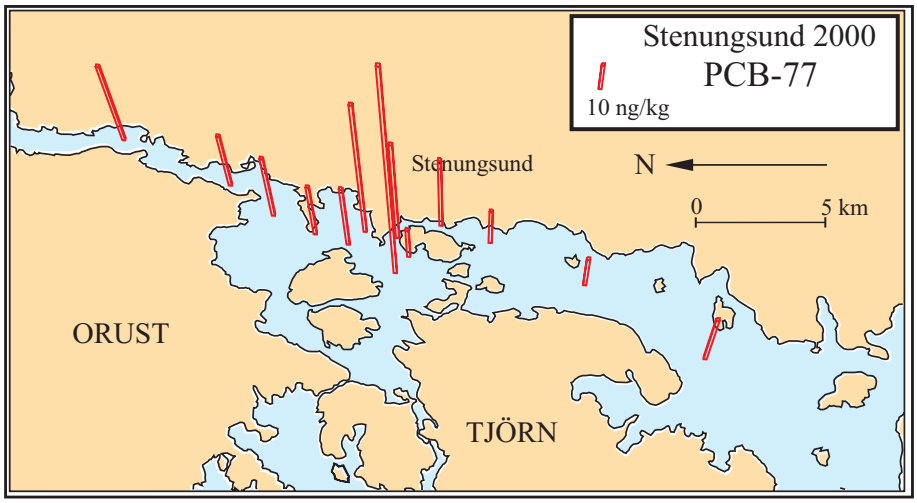


Fig 4:94. Fördelningen av plana PCB (ng/kg) i Stenungsundsområdets ytsediment (0–1 cm) 2000.

The distribution of non-ortho PCB (ng/kg) in 2000 in surficial sediment (0–1 cm) of the Stenungsund area.

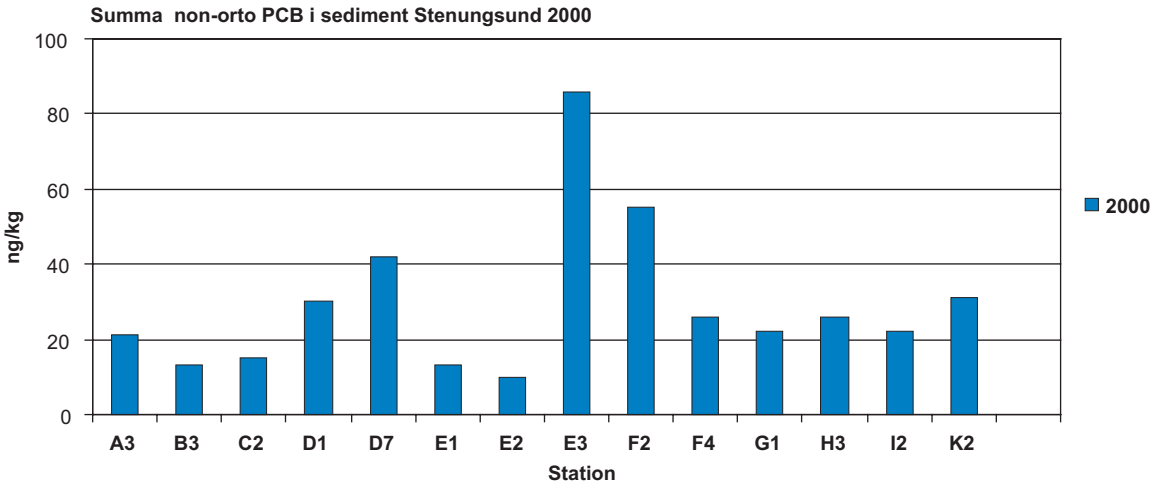


Fig. 4:95. Ytsedimentens (0–1 cm) halt av nonorto PCB (ng/kg ts) på respektive station i Stenungsundsområdet 2000.

The concentration of non-ortho PCB (ng/kg dw) in the surficial sediment (0–1 cm) at each station in the Stenungsund area in 2000 respectively.

4.5.18 KLORBENSENER OCH KLORSTYRENER SAMT FÖRÄNDRINGAR EFTER 1994

Analysresultaten från undersökningarna år 2000 avseende pentaklorbensen (pe-CB), hexaklorbensen (HCB) och oktaklorstyren (OCS) redovisas i tabell 4:32 tillsammans med motsvarande data från 1994 (Brorström-Lundén & Granmo 1995) och 1995 (Cato 1997).

Pentaklorbensen

Halten av pentaklorbensen (pe-CB) i ytsedimenten (0–1 cm) varierade mellan 0,032 och 0,92 µg/kg ts med ett medelvärde och medianvärde av respektive 0,24 och 0,12 µg/kg ts (tabell 4:33). Den geografiska variationen i ytsedimenten (0–1 cm) illustreras i figur 4:96. De högsta halterna påträffades runt Stenungsund samt på station I2 i norra Halsefjorden. Detta fördelningsmönster liknar till stor del det mönster som framkom vid 1995 års undersökningar.

Svenska bedömningsgrunder för pe-CB i kust- och havssediment saknas. Enligt Norsk klassificering av miljökvalitet i fjordar och kustvatten (Konieczny & Juliussen 1995) faller stationerna D7 och I2 i tillståndsklass II (”mindre god”). Alla övriga stationer faller i tillståndsklass I (”god”).

Anrikningsfaktorerna för pe-CB är 1,6 till 46 gånger högre än bakgrunden (0,02 µg/kg ts enl. Helland m.fl. 1990).

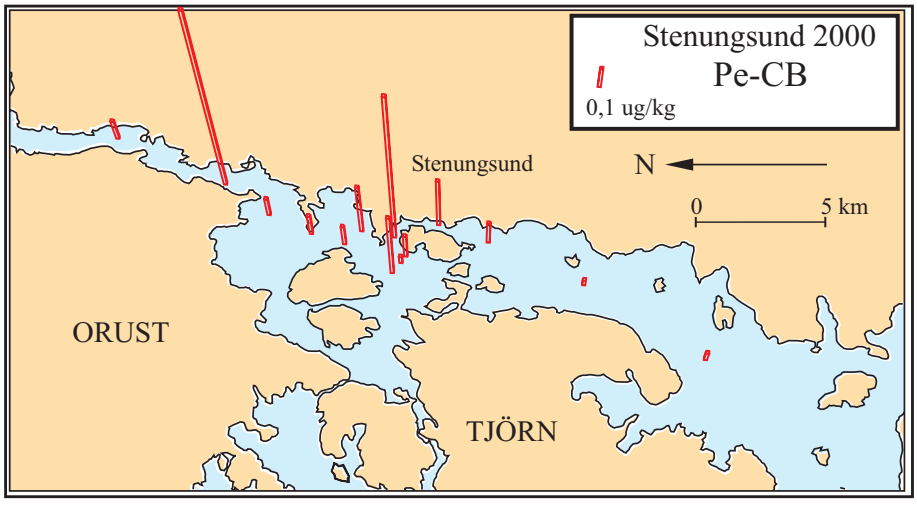


Fig 4:96. Fördelningen av pentaklorbensen, pe-CB, (µg/kg) i Stenungsundsområdets ytsediment (0–1 cm) 2000.

The distribution of pentachlorbenzene , pe-CB, (µg/kg) in 2000 in the surficial sediments (0–1 cm) of the Stenungsund area.

Pe-CB är dåligt associerat till såväl sedimentens organiska kolhalt (r = –0,3) som till kornstorleksfraktionen <63 µm (r = –0,26) i Stenungsundsområdet. Detta förhållande konstaterades även vid 1995 års undersökningar (Cato 1997a).

Tabell 4:32. Pentaklorbensen (pe-CB), hexsaklorbensen (HCB) och oktaklorstyren (OCS) i ytsediment (0–1 cm) i Stenungsundsområdet 1994–2000. Data från 1994 från Brorström-Lundén & Granmo (1995).

Pentachlorbenzene (pe-CB), hexachlorbenzene (HCB), octachlorstyrene (OCS) in 1994–2000 in the surficial sediments (0–1 cm) of the Stenungsund area. Data from 1994 from Brorström-Lundén & Granmo (1995).

Station	År	pe-CB µg/kg	HCB µg/kg	OCS µg/kg
A3	1994	3,9	60	<0,5
	1995	Maskerat	0,2	<0,1
	2000	0,048	0,14	0,015
B3	1995	Maskerat	0,4	<0,1
	2000	0,032	0,13	<0,01
C2	1995	Maskerat	1,7	<0,1
	2000	0,12	0,7	0,013
D1	1995	<0,1	6,6	<0,1
	2000	0,27	2	0,025
D7	1995	-	-	-
	2000	0,8	7	0,059
E1	1994	<0,8	5,2	<0,5
	1995	0,7	7,9	0,1
	2000	0,13	1,9	0,013
E2	1994	<0,8	1,7	<0,1
	1995	<0,1	1,1	<0,1
	2000	0,039	0,78	<0,01
E3	1994	<0,8	2,3	<0,2
	1995	0,4	1,1	<0,1
	2000	0,35	1,4	0,021
F2	1994	<0,8	2,7	<0,8
	1995	0,4	1,5	<0,1
	2000	0,27	1,3	0,16
F4	1994	<0,8	1,9	<0,4
	1995	0,5	0,9	0,1
	2000	0,11	0,53	0,013
G1	1995	<0,1	1,3	<0,1
	2000	0,11	0,33	<0,01
H3	1995	0,4	1	<0,1
	2000	0,098	0,33	<0,01
I2	1995	<0,1	1,1	<0,1
	2000	0,92	0,22	<0,01
K2	1995	<0,1	0,4	<0,1
	2000	0,099	0,68	<0,01

- = ej analyserat Not analysed

Pe-CB-halterna i Stenungsundsområdets ytsediment 1995 och 2000 är på samtliga stationer betydligt lägre än de halter (2,5 µg/kg ts) som uppmättes på station G2 1990 (Cato 1992) och station A3 1994 (3,9 µg/kg ts) (Brorström-Lundén & Granmo 1995).

Förändringarna av sedimentens pe-CB-halter på respektive station mellan 1994 och 2000 års undersökningar illustreras i figur 4:97. På samtliga stationer utom stationerna D1 och I2 har halterna sjunkit eller är oförändrad mellan 1995 och 2000. Minskningen är i medeltal 25 % (fig. 4:98), dvs. förändringarna är statistiskt signifikant eftersom variationskoefficienten för pe-CB kan antas ligga runt 10 % (jfr metaller ovan) till följd av sedimentens inhomogenitet. Den observerade minskningen är dock något mindre än de minst 35 %, som baserat på blandningsfaktorn i ytsedimentet (se avsnitt 2.5 ovan), krävs för att en förändring med säkerhet skall kunna detekteras vid ett femårigt provtagningsintervall. Sedan 1994 har halten i medeltal minskat med över 400 %, dvs. betydligt mer än de minst 20 % som krävs för att en förändring med säkerhet skall kunna detekteras vid ett tioårigt provtagningsintervall.

I jämförelse med övriga Bohuskusten och Oslofjorden kan dock konstateras att medelvärdet för pe-CB-halterna i Stenungsundsområdet ligger något högt (se tabell 2:62 i del 2, denna samlingsvolym).

Tabell 4:33. Spridning, medelvärden och medianvärden för klorerat organiskt material och klorerade föreningar i ytsedimenten (0–1 cm) i Stenungsundsområdet 1994–2000.

Range, means and medians of chlorinated substances and compounds in the surficial sediments (0–1 cm) of the Stenungsunds area in 1994–2000.

Ämne	År	n	Intervall µg/kg	Medelvärde MV µg/kg	Medianvärde Md µg/kg	Standardavikelse s
Pe-CB	1994	6	<0,8–3,9	1,3	<0,8	1,2
	1995	15	0,1–0,7	0,32	0,3	0,23
	2000	14	0,032–0,92	0,24	0,12	0,28
HCB	1994	6	1,7–60	12	2,5	23
	1995	18	0,1–7,9	1,6	1,1	2,1
	2000	14	0,13–7	1,2	0,7	1,8
OCS	1994	6	<0,1	<0,1	<0,1	
	1995	1	<0,1–0,1	<0,1	<0,1	
	2000	14	<0,01–0,16	0,027	0,013	0,04

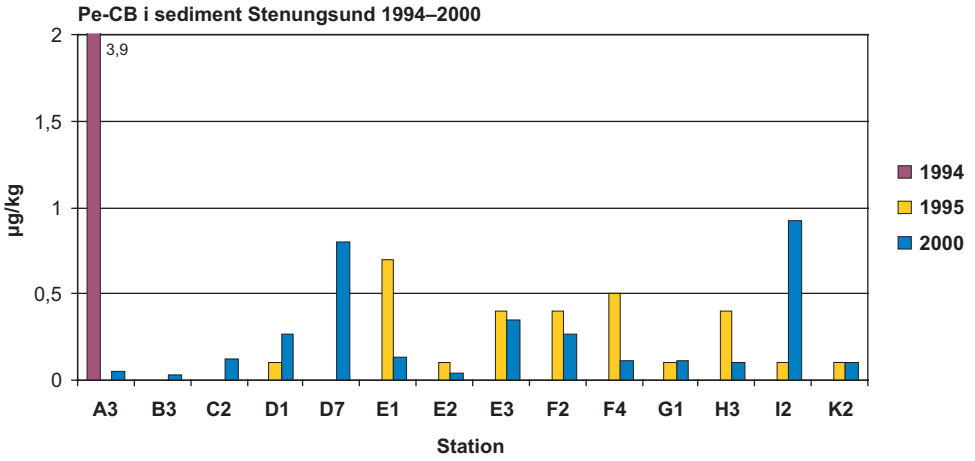


Fig. 4:97. Ytsedimentens (0–1 cm) halt av pentaklorbensen (Pe-CB, ug/kg ts) på respektive station i Stenungsundsområdet 2000.

The concentration of pentachlorobenzene (Pe-CB, ug/kg dw) in the surficial sediment (0–1 cm) at each station in the Stenungsund area in 2000 respectively.

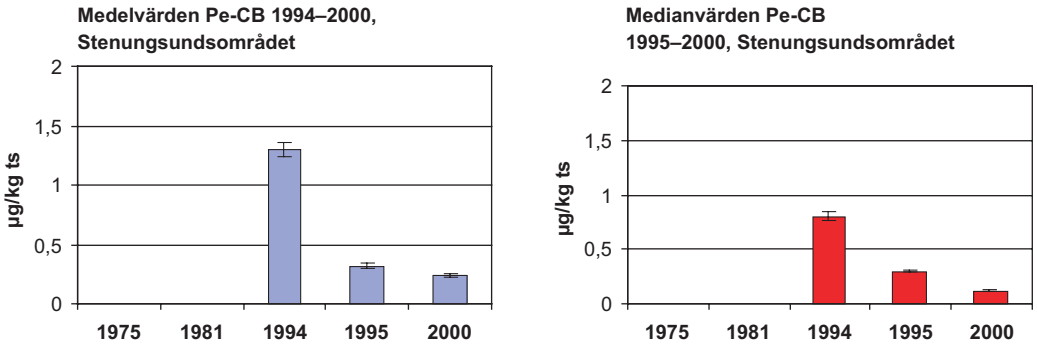


Fig. 4:98. Medelvärden (t.v.) och medianvärden (t.h) för pentaklorbensen (pe-CB) i Stenungsundsområdets ytsediment (0–1 cm) 1994–2000 (n = 14).

Mean (left) and median (right) values of pentachlorobenzene (pe-CB) in 1994–2000 in the surficial sediments (0–1 cm) of the Stenungsund area (n = 14).

Hexaklorbensen

Hexaklorbensen (HCB) kunde detekteras på samtliga stationer 2000. Halterna i ytsedimentet (0–1 cm) varierade mellan 0,13 och 7 µg/kg ts (tabell 4:32) med ett medelvärde och medianvärde på 0, 24 respektive 0,12 µg/kg ts (tabell 4:33). Fem av 14 stationer uppvisar en halt över 1 µg/kg ts. 1995 var motsvarande siffra elva stationer. De högsta koncentrationerna återfanns på stationerna D7 och D1 vid Stenungsund. Den geografiska variationen i ytsedimenten (0–1 cm) illustreras i figur 4:99. Fördelningen visar att HCB halterna är högre i området runt Stenungsund än söder och norr där om. Källan för HCB förefaller därför ligga inom tätortsområdet Stenungsund.

HCB är dåligt associerat till såväl sedimentens organiska kolhalt (r = –0,6) som till kornstorleksfraktionen <63 µm (r = –0,43) i Stenungsundsområdet. Detta förhållande konstaterades även vid 1995 års undersökningar (Cato 1997).

Anrikningsfaktor för ytsedimenten uppgår som mest till 35 gånger bakgrunden från Färöarna (tabell 2:64 i del 2, denna samlingsvolym). Ett högt värde som dock ligger ca 30 % under det värde som beräknades för området 1990 (Cato 1992). Den lokala bakgrunden i området har beräknats till 0,1 µg/kg ts baserat på data från 20–30 cm sedimentdjup på fyra stationer i området (A3, C4, H3 och K2). Anrikningsfaktorn år 2000 är i medeltal 12 men uppgår till ca 70 på station E1, dvs. något lägre än vid 1995 års undersökningar.

Enligt svenska bedömningsgrunder för HCB i kust- och havssediment (Naturvårdsverket 2005) uppvisar tre stationer i Stenungsundsområdet en *medelhög halt* (tillståndsklass 3), sju stationer en *hög halt* (tillståndsklass 4) och fem stationer en *mycket hög halt* (tillståndsklass 5). De högsta halterna är koncentrerade till Stenungsunds närhet (tabell 4:34).

I jämförelse med 1994 och 1995 har miljökvaliteten med avseende på HCB förbättrats något, men fortfarande är kvaliteten dålig till mycket dålig. HCB-halterna i Stenungsundsområdet ligger i medeltal fyra gånger högre än i öppna Skagerrak och Kattegatt (tabell 2:64 i del 2, denna samlingsvolym).

Förändringarna av sedimentens HCB-halter på respektive station mellan 1994 och 2000 års undersökningar illustreras i figur 4:100. På samtliga stationer utom stationerna E3 och K2 har halterna sjunkit mellan 1995 och 2000. Minskningen är i medeltal 25 % (fig. 4:101), dvs. förändringarna är statistiskt signifikant eftersom variationskoefficienten för HCB kan antas ligga runt 10 % (jfr metaller ovan) till följd av sedimentens inhomogenitet. Den observerade minskningen är dock något mindre än de minst 35 %, som baserat på blandningsfaktorn i ytsedimentet (se avsnitt 2.5 ovan), krävs för att en förändring med säkerhet skall kunna detekteras vid ett femårigt provtagningsintervall. Minskningen är dock större än de 20 % som krävs för att en förändring med säkerhet skall kunna detekteras vid ett tioårigt provtagningsintervall. Sedan 1994 har halten i medeltal minskat med över 800 %. Baserat på medianvärdena är minskningen ca 250 %.

Intressant är att det höga värde som påträffades på station A1 vid 1994 års undersökningar inte observerats 1995 och 2000. Eftersom man inte kan räkna med någon större nedbrytning av HCB tyder resultaten på en sekundär spridning av tidigare sedimenterat HCB.

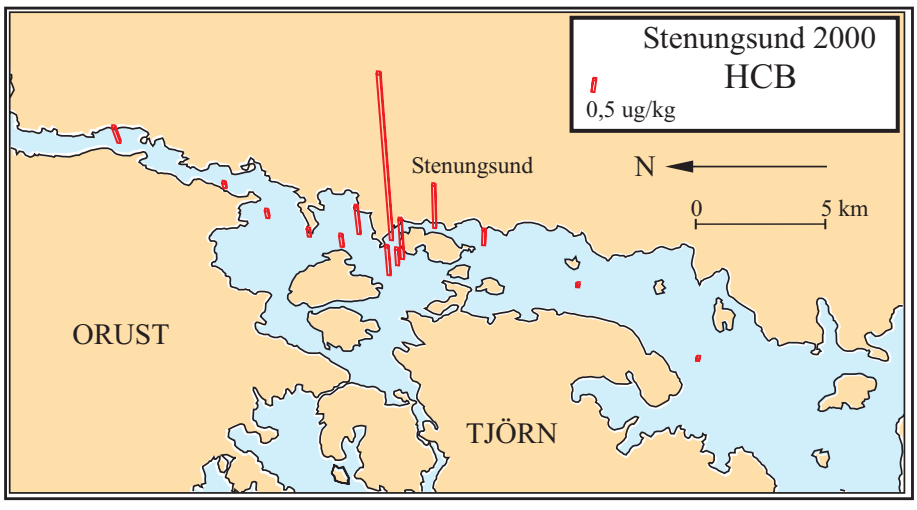


Fig 4:99. Fördelningen av hexaklorbensen, HCB, (µg/kg) i Stenungsundsområdets ytsediment (0–1 cm) 2000.

The distribution of hexachlorbenzene ,HCB, (µg/kg) in 2000 in the surficial sediments (0–1 cm) of the Stenungsund area.

Tabell 4:34 Ytsedimentens (0–1 cm) miljökvalitet i Stenungsundsområdet 1994–2000 med avseende på HCB. Klassning enligt svenska bedömningsgrunder (Naturvårdsverket 2005).

The environmental quality of the surface sediments (0–1 cm) in the Stenungsund area with respect to the content of HCB in 1994–2000. Classification according to Swedish Environmental Quality Criteria (Naturvårdsverket 2005).

Station	HCB µg/kg 1994	HCB 1995	HCB 2000
A3	60	0,2	0,14
B3		0,4	0,13
C2		1,7	0,70
D1		6,6	2,00
D7			7,00
E1	5,2	7,9	1,90
E2	1,7	1,1	0,78
E3	2,3	1,1	1,40
F2	2,7	1,5	1,30
F4	1,9	0,9	0,53
G1		1,3	0,33
G2		0,7	0,11
H3		1,0	0,33
I2		1,1	0,22
K2		0,4	0,68

Organiska miljögifter	
Klass 1	Ingen halt
Klass 2	Låg halt
Klass 3	Medelhög halt
Klass 4	Hög halt
Klass 5	Mycket hög halt

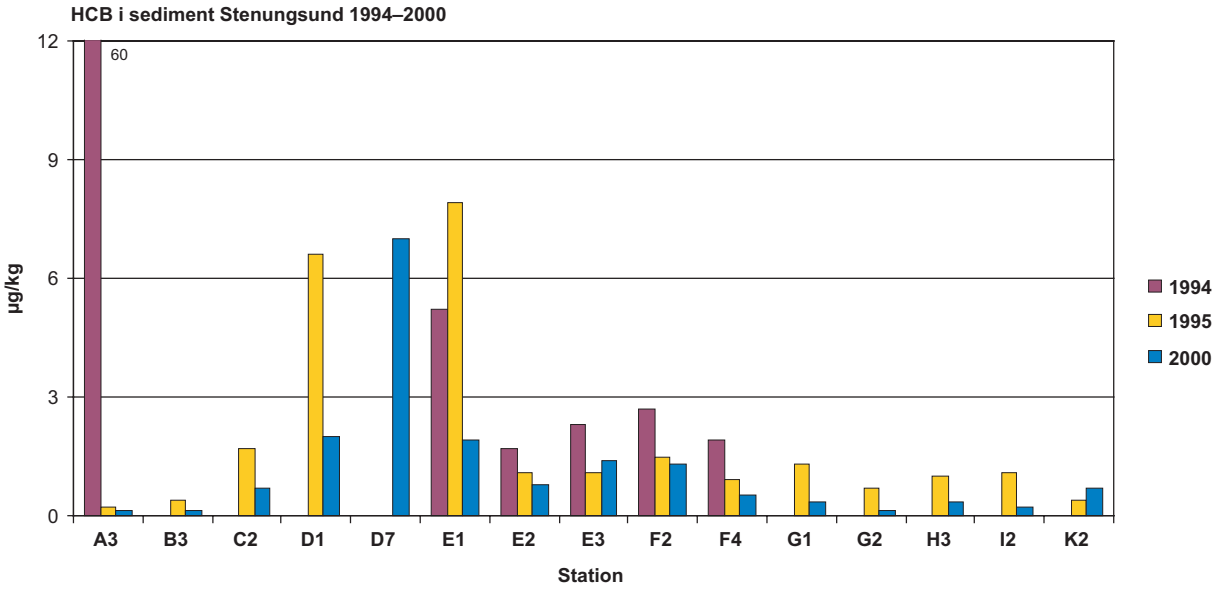


Fig. 4:100. Ytsedimentens (0–1 cm) halt av hexaaklorbensen (HCB, µg/kg ts) på respektive station i Stenungsundsområdet 2000.

The concentration of hexaachlorobenzene (HCB, µg/kg dw) in the surficial sediment (0–1 cm) at each station in the Stenungsund area in 2000 respectively.

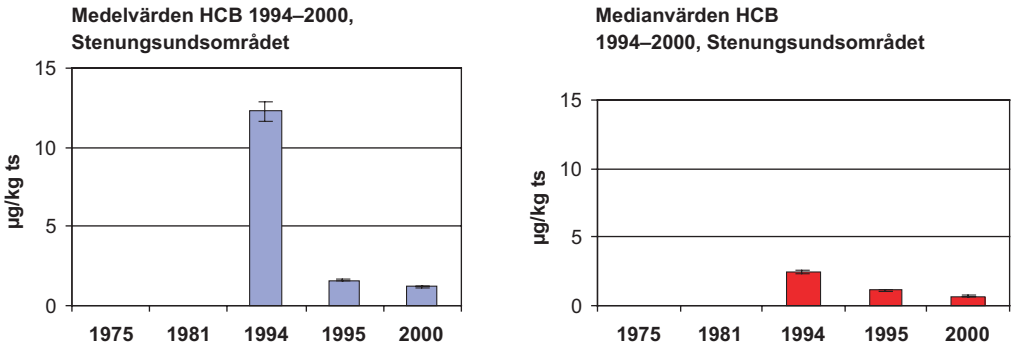


Fig. 4:101. Medelvärden (t.v.) och medianvärden (t.h.) för hexaklorbensen (HCB) i Stenungsundsområdets ytsediment (0–1 cm) 1994–2000 (n = 14).

Mean (left) and median (right) values of hexaachlorobenzene (HCB) in 1994–2000 in the surficial sediments (0–1 cm) of the Stenungsund area (n = 14).

Oktaklorstyren

Oktaklorstyren (OCS) kunde detekteras på åtta av fjorton stationer vid undersökningarna år 2000. Vid 1994 och 1995 års undersökningar kunde med ett respektive två undantag ingen OCS detekteras till följd av för hög detektionsgräns (0,1 µg/kg ts). Vid 2000 års undersökningar hade detektionsgränsen sänkts till 0,01 µg/kg ts. Halterna i ytsedimentet (0–1 cm) år 2000 varierade mellan <0,01 och 0,16 µg/kg ts (tabell 4:32) med ett medelvärde och medianvärde på 0,027 respektive 0,013 µg/kg ts (tabell 4:33). Den högsta koncentrationen återfanns på station F2 vid Stenungsund. Vid 1994 års undersökningar uppmättes den högsta halten (1,8 µg/kg ts) på station D7 och vid 1995 års undersökningar på stationerna E1 och F4 (0,1 µg/kg ts).

Den geografiska variationen i ytsedimenten (0–1 cm) illustreras i figur 4:102. Fördelningen visar att OCS halterna är högst i Askeröfjorden utanför Stenungsund. Källan för OCS förefaller därför att ligga inom Stenungsundsområdet.

OCS är dåligt associerat till såväl sedimentens organiska kolhalt (r = –0,15) som till kornstorleksfraktionen <63 µm (r = –0,24) i Stenungsundsområdet.

Klorbensenernas och klorstyrenernas dåliga association till sedimentens organiska kolhalt har medfört att några belastningsgradienter inte varit möjliga att beräkna.

Svenska bedömningsgrunder för OCS i kust- och havssediment saknas. Enligt Norsk klassificering av miljökvalitet i fjordar och kustvatten (Konieczny & Juliussen 1995) faller samtliga stationer år 2000 i tillståndsklass I (”god”).

Förändringarna av sedimentens OCS-halter på respektive station mellan 1994 och 2000 års undersökningar illustreras i figur 4:103. På de två stationer som halterna kan jämföras har halterna sjunkit kraftigt mellan 1995 och 2000. Minskningen är i medeltal 73 % (fig. 4:104), dvs. förändringarna är statistiskt signifikant eftersom variationskoefficienten för OCS kan antas ligga runt 10 % (jfr metaller ovan) till följd av sedimentens inhomogenitet. Den observerade minskningen är större än de minst 35 %, som baserat på blandningsfaktorn i ytsedimentet (se avsnitt 2.5 ovan), krävs för att en förändring med säkerhet skall kunna detekteras vid ett femårigt provtagningsintervall.

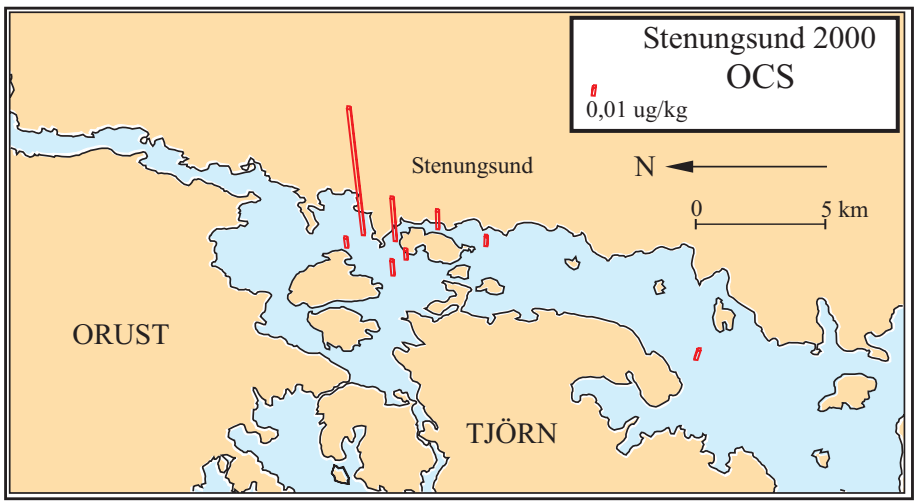


Fig 4:102. Fördelningen av oktaklorbensen, OCS, (µg/kg) i Stenungsundsområdets ytsediment (0–1 cm) 2000.
The distribution of octachlorobenzene ,OCS, (µg/kg) in 2000 in the surficial sediments(0–1 cm) of the Stenungsund area.

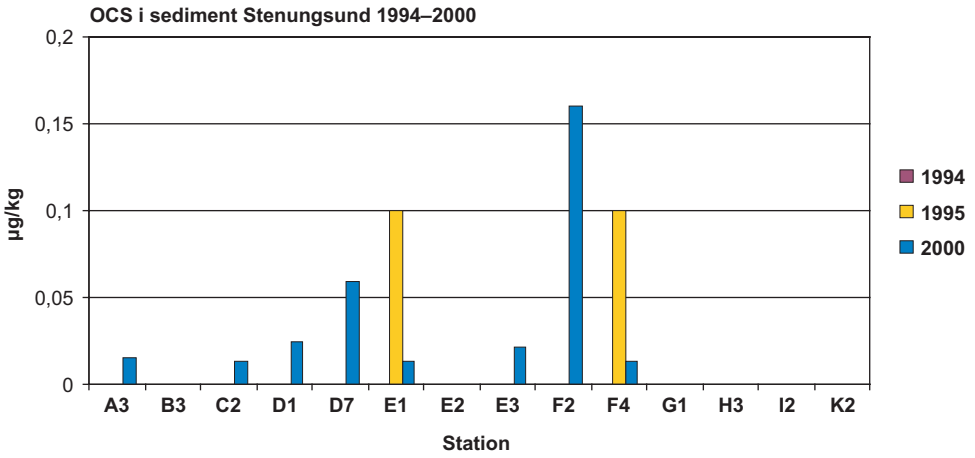


Fig. 4:103. Ytsedimentens (0–1 cm) halt av oktaaklorbensen (OCS, ug/kg ts) på respektive station i Stenungsundsområdet 2000. Notera att övriga data från 1994 och 1995 låg under detektionsgränsen 0,1 ug/kg ts.

The concentration of octachlorobenzene (OCS, ug/kg dw) in the surficial sediment (0–1 cm) at each station in the Stenungsund area in 2000 respectively. Note, that the remaining data from 1994 and 1995 were below the detection limit 0,1 ug/kg dw.

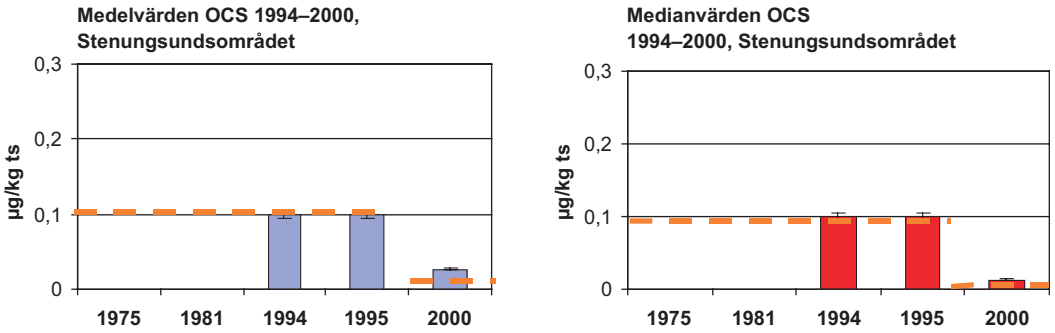


Fig. 4:104. Medelvärden (t.v.) och medianvärden (t.h) för oktaklorbensen (OCS) i Stenungsundsområdets ytsediment (0–1 cm) 1994–2000 (n = 14). Notera att detektionsgränserna (streckade linjer) skiljer sig åt mellan åren.

Mean (left) and median (right) values of octachlorobenzene (OCS) in 1994–2000 in the surficial sediments (0–1 cm) of the Stenungsund area (n = 14). Note, that the detection limits (hatched lines) differ between the different years

4.5.19 HALOGENERADE ALIFATER (HALOFORMER) SAMT FÖRÄNDRINGAR EFTER 1995

Undersökningarna av ytsedimentet (0–1 cm) år 2000 omfattade fyra opolära haloformer med följande namn: kloroform, tetraklormetan (koltetraklorid), trikloreten (trikloretylen) och tetrakloreten (tetrakloretylen). Inga av dessa föreningar kunde detekteras på de 14 undersökta stationerna i Stenungsundsområdet.

1995 kunde kloroform påvisas på samtliga 17 stationer, tetraklormetan på 12 stationer, trikloreten på fyra stationer och tetrakloreten på nio stationer (Cato 1997a). Detektionsgränsen låg då mellan 0,02 och 0,05 µg/kg ts. Detektionsgränsen vid Alcontrols analyser av sedimenten från undersökningarna år 2000 låg så högt som 50 µg/kg ts, dvs. alldeles för högt. Den höga detektionsgränsen är med största sannolikhet förklaringen till att inga haloformer kunde påvisas vid undersökningarna år 2000.

4.5.20 MONOAROMATER SAMT FÖRÄNDRINGAR EFTER 1995

Bensen

Analysresultaten vad avser bensen i ytsedimenten (0–1 cm) år 2000 redovisas tillsammans med 1995 års data i tabell 4:35. Till skillnad från 1995 kunde ingen bensen detekteras (detektionsgräns 1 µg/kg ts) vid undersökningarna år 2000. 1995 varierade halten mellan <1,5 och 24,5 µg/kg ts (tabell 4:36 och figur 4:105)

med en geografiskt fördelningsmönster som visade på mellan 5 och 10 gånger högre koncentrationer norr om Stenungsund jämfört med området söder därom. Halten av bensen har således sjunkit med 100 % mellan åren 1995 och 2000.

Svenska bedömningsgrunder för bensen saknas.

Förändringen är statistiskt signifikant eftersom variationskoefficienten för bensen kan antas ligga runt 10 % (jfr metaller ovan) till följd av sedimentens inhomogenitet. Den observerade minskningen är dessutom större än de minst 35 %, som baserat på blandningsfaktorn i ytsedimentet (se avsnitt 2.5), krävs för att en förändring med säkerhet skall kunna detekteras vid ett femårigt provtagningsintervall.

Tabell 4:35. BTEX (bensen, toluen och summa etylbensen och xylen) och styren i ytsedimenten (0–1 cm) i Stenungsundsområdet 1995–2000.

BTEX (benzene, toulen and the sum of ethylbenzen and xylen) and styrene in 1995–2000 in the surficial sediments (0–1 cm) of the Stenungsund area.

Station	År	Bensen µg/kg	Toluen µg/kg	Styren µg/kg	∑etylbensen och xylener µg/kg
A3	1995	<1,5	3,9		2,7
	2000	<1	<1	<1	<1
B3	1995	1,6	4,7		3,8
	2000	<1	<1	<1	<1
C2	1995	2,1	5,5		5,5
	2000	<1	<1	<1	2,7
D1	1995	<1,5	3,1		<2,4
	2000	<1	<1	3	<1
D7	1995	-	-	-	-
	2000	<1	<1	2	<1
E1	1995	2,6	9,5		3,6
	2000	<1	<1	<1	<1
E2	1995	-	<2,4		<2,4
	2000	<1	<1	<1	1,6
E3	1995	2,1	7,5		4,4
	2000	<1	<1	<1	<1
F2	1995	5,0	11,0		5,0
	2000	<1	<1	<1	<1
F4	1995	-	2,6		2,4
	2000	<1	<1	<1	<1
G1	1995	24,5	122,0		55,0
	2000	<1	<1	<1	<1
H3	1995	8,0	32,0		15,5
	2000	<1	<1	<1	<1
I2	1995	11,5	64,0		35,0
	2000	<1	<1	<1	<1
K2	1995	20,0	314,0		300,0
	2000	<1	<1	<1	<1

- = ej analyserat. Not analysed.

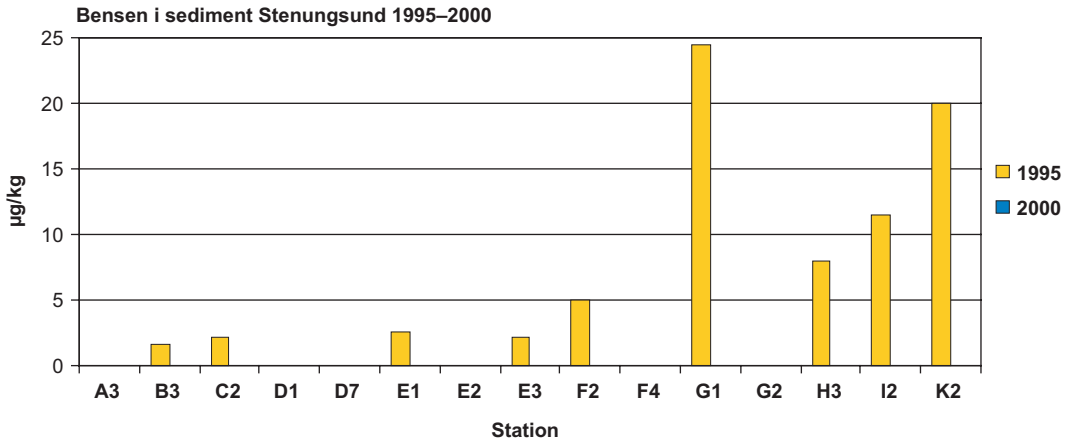


Fig. 4:105. Ytsedimentens (0–1 cm) halt av bensen (µg/kg ts) på respektive station i Stenungsundsområdet 1995–2000. Notera att alla data från 2000 låg under detektionsgränsen 1 µg/kg ts.

The concentration of benzene (µg/kg dw)in the surficial sediment (0–1 cm) at each station in the Stenungsund area in 1995–2000 respectively. Note, that all data from 2000 were below the detection limit 1 µg/kg dw.

Toluen

Analysresultaten vad avser toluen i ytsedimenten (0–1 cm) redovisas tillsammans med 1995 års data i tabell 4:35. Till skillnad från 1995 kunde ingen toluen detekteras (detektionsgräns 1 µg/kg ts) på de 14 stationerna vid undersökningarna år 2000. 1995 varierade halten mellan <2.4 och 314 µg/kg ts (tabell 4:36 och figur 4:106) med ett geografiskt fördelningsmönster som visade på uppemot 60 gånger högre koncentrationer norr om Stenungsund jämfört med området söder därom. Svenska bedömningsgrunder för toluen saknas.

Tabell 4:36. Spridning, medelvärden och medianvärden för BTEX i ytsedimenten (0–1 cm) i Stenungsundsområdet 1995–2000.
Range, means and medians of BTEX in the surficial sediments (0–1 cm) of the Stenungsunds area in 1995–2000.

Ämne	År	n	Intervall µg/kg	Medelvärde MV µg/kg	Medianvärde MD µg/kg	Standardavvikelse s
Bensen	1995	15	1,5–25	6	2,6	7,2
	2000	14	<1	<1	<1	–
Toluen	1995	18	2,4–314	34	6,5	76
	2000	14	<1	<1	<1	–
Styren	1995		–	–	–	–
	2000	14	1–3	1,2	<1	0,58
Sum etylbensen och xylener	1995	18	2,4–300	26	4,3	70
	2000	14	<1–2,7	1,2	<1	0,47

Halten av toluen har således sjunkit med 100 % mellan åren 1995 och 2000. Förändringen är statistiskt signifikant eftersom variationskoefficienten för toluen kan antas ligga runt 10 % (jfr metaller ovan) till följd av sedimentens inhomogenitet. Den observerade minskningen är dessutom större än de minst 35 %, som baserat på blandningsfaktorn i ytsedimentet (se avsnitt 2.5 ovan), krävs för att en förändring med säkerhet skall kunna detekteras vid ett femårigt provtagningsintervall.

Noterbart är att i Bohuskustens kontrollprogram noterades en toluenhalt av 2 µg/kg ts på station G2 (se del 2 denna samlingsvolym samt figur 4:106).

Styren

Analysresultaten vad avser styren i ytsedimenten (0–1 cm) redovisas i tabell 4:35. Halten varierar mellan <1 och 3 µg/kg ts med ett medel- och medianvärde av 1,2 respektive <1 µg/kg ts (tabell 4:36). Styren kunde endast detekteras på stationerna D1 och D7, vilket indikerar att källan finns i Stenungsund (fig. 4:107 och 4:108).

Styren analyserades inte vid 1995 års undersökningar. Svenska bedömningsgrunder för styren saknas.

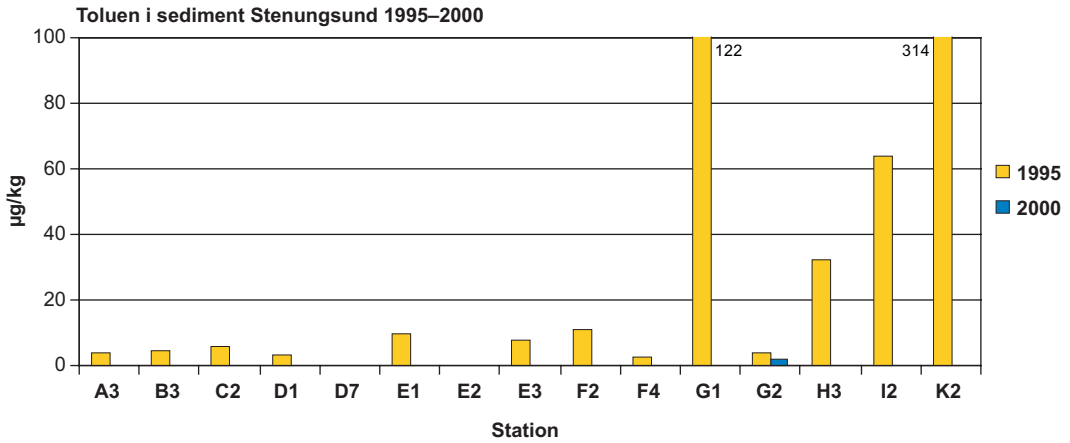


Fig. 4:106. Ytsedimentens (0–1 cm) halt av toluen (µg/kg ts) på respektive station i Stenungsundsområdet 1995–2000.
The concentration of toluen (µg/kg dw) in the surficial sediment (0–1 cm) at each station in the Stenungsund area in 1995–2000 respectively.

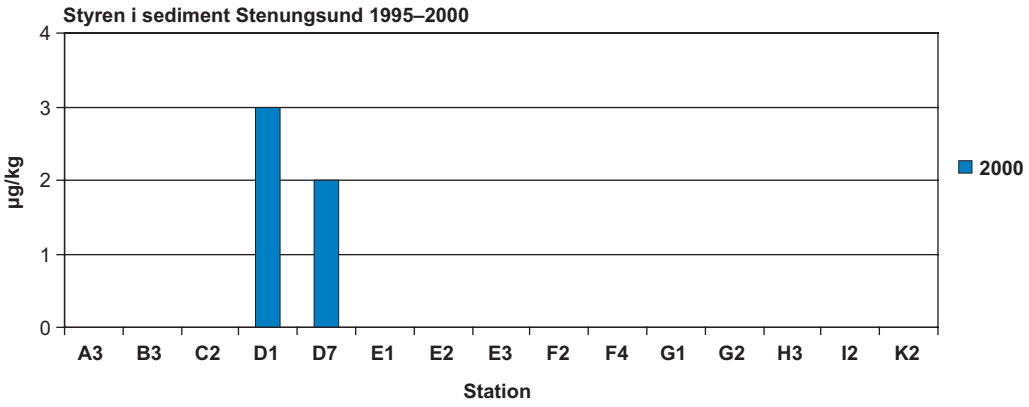


Fig. 4:107. Ytsedimentens (0–1 cm) halt av styren (µg/kg ts) på respektive station i Stenungsundsområdet 2000.
The concentration of toluen (µg/kg dw)in the surficial sediment (0–1 cm) at each station in the Stenungsund area in 2000 respectively.

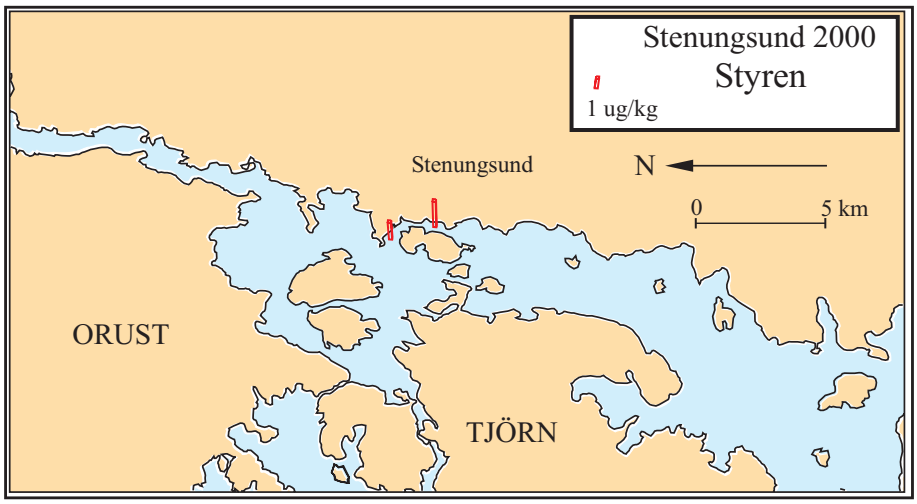


Fig 4:108. Fördelningen av styren (µg/kg) i Stenungsundsområdets ytsediment (0–1 cm) 2000.
The distribution of styrene (µg/kg) in 2000 in the surficial sediments (0–1 cm) of the Stenungsund area.

Etylbensen och xylener

Analysresultaten vad avser summa etylbensen och xylen i ytsedimenten (0–1 cm) redovisas tillsammans med motsvarande data från 1995 i tabell 4:35. Endast xylen kunde år 2000 detekteras på stationerna C2 och E2 (fig. 4:109). Koncentrationen varierar mellan <1 och 2,7 µg/kg ts med ett medel- och medianvärde av 1,1 respektive <1 µg/kg ts (tabell 4:36).

Svenska bedömningsgrunder för toluen saknas.

Vid 1995 års undersökningar varierade halten av summa etylbensen och xylen mellan <2.4 och 300 µg/kg ts (tabell 4:36) med en geografiskt fördelningsmönster som visade på uppemot 70 gånger högre koncentrationer norr om Stenungsund jämfört med området söder därom.

Halten av etylbensener och xylener har således sjunkit med 95 % mellan åren 1995 och 2000 (fig. 4:110). Förändringen är statistiskt signifikant eftersom variationskoefficienten för bensen kan antas ligga runt 10 % (jfr metaller ovan) till följd av sedimentens inhomogenitet. Den observerade minskningen är dessutom större än de minst 35 %, som baserat på blandningsfaktorn i ytsedimentet (se avsnitt 2.5), krävs för att en förändring med säkerhet skall kunna detekteras vid ett femårigt provtagningsintervall.

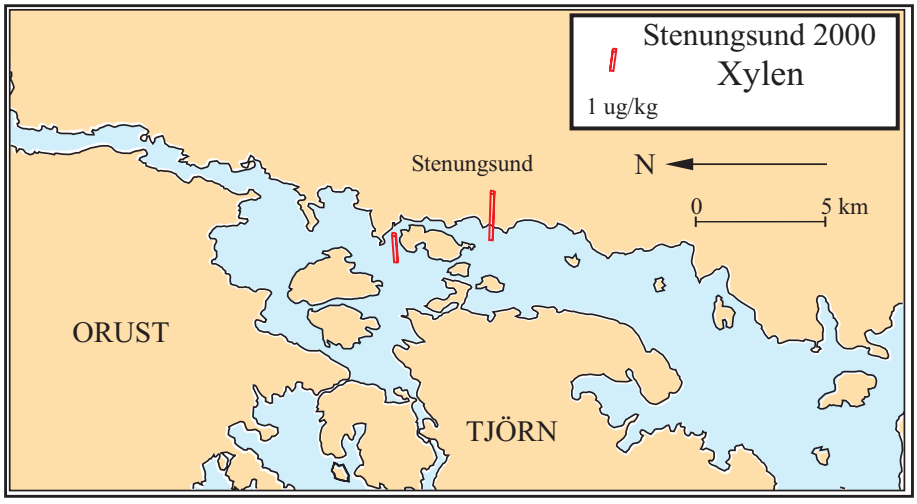


Fig 4:109. Fördelningen av xylen (µg/kg) i Stenungsundsområdets ytsediment (0–1 cm) 2000.

The distribution of xylene (µg/kg) in 2000 in the surficial sediments (0–1 cm) of the Stenungsund area.

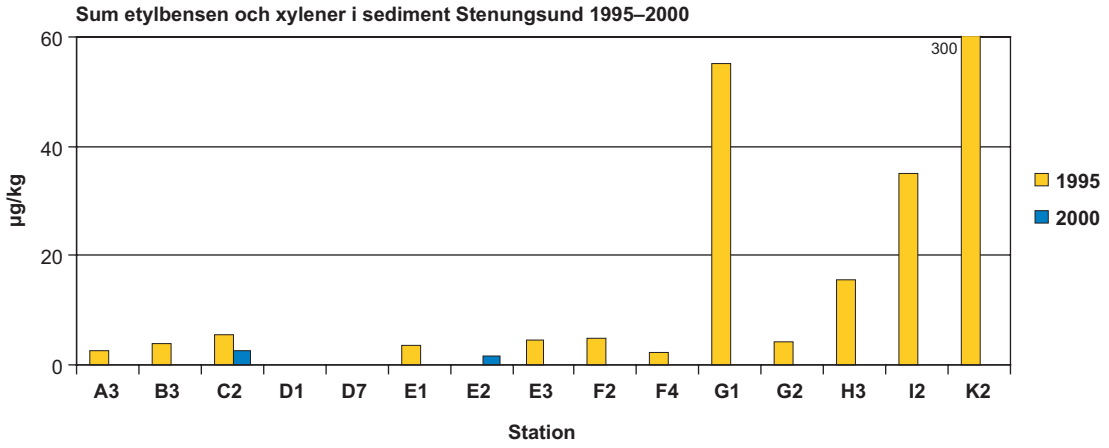


Fig. 4:110. Ytsedimentens (0–1 cm) halt av summa etylbensen och xylen (µg/kg ts) på respektive station i Stenungsundsområdet 1995–2000.

The concentration of the sum of ethylbenzene and xylene (µg/kg dw) in the surficial sediment (0–1 cm) at each station in the Stenungsund area in 1995–2000 respectively.

4.5.21 POLYBROMERADE DIFENYLETRAR

Polybromerade difenyletrar (PBDE) undersöktes i Stenungsundsområdets sediment för första gången år 2000. Analysresultaten presenteras i tabellerna 4:37–4:38. Endast tre av åtta undersökta kongener detekterades. Tetrabomdifenyleter (PBDE-47) och pentabromdifenyleter (PBDE-99) i låga halter på station E3 och dekabromdifenyleter (deka-BDE) på stationerna A3, E3 och F4. I övrigt låg halterna under detektionsgränsen (0,1 µg/kg ts). Pentabromdifenyleter (PBDE-100) samt hexabromdifenyletrarna (PBDE-154, PBDE-153 och PBDE-138) kunde inte påvisas på någon station i området.

Halten (2,1 µg/kg ts) av dekaBDE på station A3 (fig 4:111) är i samma storleksordning som den som uppmätts i Göteborgs hamnområde (se del 3, denna volym) och visar på en tydlig förhöjning gentemot övriga Bohuskusten (se tabellerna 2:82–2:86 i del 2, denna volym). Svenska bedömningsgrunder för PBDE saknas.

Tabell 4:37. Polybromerade difenyletrar i Stenungsundsområdets ytsediment (0–1 cm) 2000.

Polybrominated diphenylethers in the surficial sediments (0–1 cm) of the Stenungsund area in 2000.

Station	År	PBDE-47 µg/kg	PBDE-99 µg/kg	PBDE-100 µg/kg	PBDE-85 µg/kg	PBDE-154 µg/kg	PBDE-153 µg/kg	PBDE-138 µg/kg	Deka-BDE µg/kg
A3	2000	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	2,1
B3	2000	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
C2	2000	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
D1	2000	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
D7	2000	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
E1	2000	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
E2	2000	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
E3	2000	0,11	0,12	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,26
F2	2000	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
F4	2000	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,15
G1	2000	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
H3	2000	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
I2	2000	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
K2	2000	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1

Tabell 4:38. Spridning och medelvärden för några plana PCB i Stenungsundsområdets ytsediment (0–1 cm) 2000.

Range and means of non-ortho PCB in surficial sediments (0–1 cm) of the Stenungsund area in 2000.

PBDE	År	Antal stationer (n)	Intervall ng/kg	Medelvärde MV ng/kg ts	Medianvärde Md ng/kg	Standardavvikelse s ng/kg ts
PBDE-47	2000	14	<0,1–0,11	<0,1	<0,1	-
PBDE-99	2000	14	0,1–0,12	<0,1	<0,1	-
PBDE-100	2000	14	<0,1	<0,1	<0,1	-
PBDE-85	2000	14	<0,1	<0,1	<0,1	-
PBDE-154	2000	14	<0,1	<0,1	<0,1	-
PBDE-153	2000	14	<0,1	<0,1	<0,1	-
PBDE-138	2000	14	<0,1	<0,1	<0,1	-
DekaBDE	2000	14	<0,1–2,1	0,26	<0,1	0,53

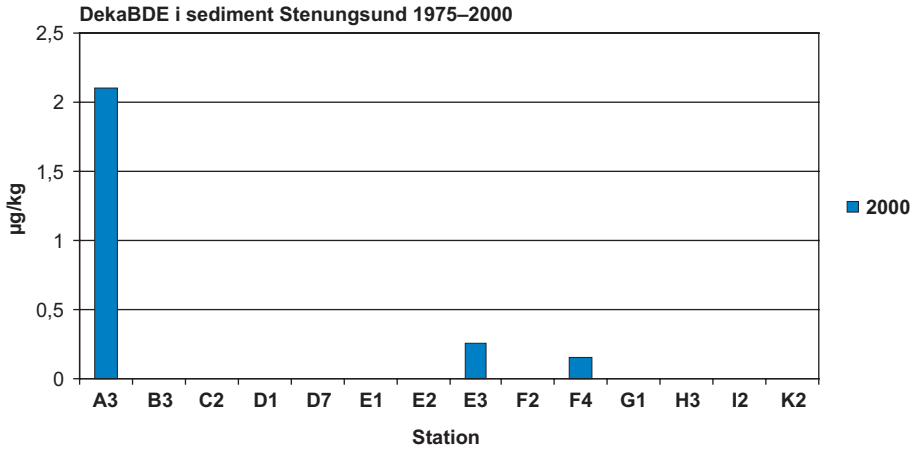


Fig. 4:111. Ytsedimentens (0–1 cm) halt av summa dekaBDE (µg/kg ts) på respektive station i Stenungsundsområdet 2000.

The concentration of dekaBDE (µg/kg dw) in the surficial sediment (0–1 cm) at each station in the Stenungsund area in 2000 respectively.

4.6 Sammanfattning

Sedimenten i Stenungsunds vattenområde har på uppdrag av länsstyrelsen i Västra Götalands län år 2000 undersökts med avseende på vissa fysiska och kemiska parametrar. Ett drygt 60-tal ämnen, tungmetaller, organiska miljögifter och näringsämnen har studerats på 14 stationer. Sveriges geologiska undersökning (SGU) har svarat för provinsamling och Alcontrol för analys av sedimentproven samt avrapportering av laboratoriedata, medan SGU har svarat för utvärdering, trendanalys och slutlig avrapportering. De två föregående studierna av områdets sediment genomfördes 1985 (Cato 1986a) och 1995 (Cato 1997a). Den senare samordnades i likhet med 2000 års undersökningar av Bohuskustens vattenvårdsförbund (Bvvf).

Föreliggande undersökningar föregicks av en hydroakustisk avbildning (side scan sonar-teknik) av bottenytan på de förutbestämda provtagningsplatserna. Avbildningen genomfördes i syfte att öka kunskapen om sedimentationsmiljön på och runt varje provtagningsplats. En förnyad provtagning av det översta sedimentskiktet (0–1 cm) kunde därefter genomföras på 14 tidigare provtagna stationer. Under förutsättning att detta översta skikt till största delen utgörs av nysedimenterat material kan utvecklingen av miljökvaliteten i form av antropogent tillförda ämnen till Stenungsundsområdets kustvatten avläsas genom s.k. trendanalys. I nedan redovisade och sammanfattande trendanalys återges endast den sammanvägda trenden för varje enskild parameter, ämne eller förening inom hela undersökningsområdet. Utvecklingen på varje enskild station redovisas separat under respektive avsnitt i rapporten.

För att kunna bestämma belastningen av ett kemiskt ämne eller förening inom ett kustavsnitt eller en recipient måste i vissa fall hänsyn tas till effekten av den naturliga variationen av ämnet/föreningen som beror på variationer i halten organiskt material. Detta kan man göra genom den s.k. Gradientmetoden, där gradienten i sig utgör ett mått på belastningen. Detta förutsätter dock att ämnet/föreningen uppvisar en godtagbar och sannolik positiv korrelation (association) till sedimentens innehåll av totalt organiskt kol. I de fall där ett sådant samband föreligger inom området har belastningsgradienten också beräknats.

Samtliga sedimentprovers halt av ler och silt, dvs. kornstorleksfraktionerna <63 µm, har bestämts i syfte att ytterligare utreda sedimentationsförhållandena på stationerna. Tillsammans med vattenhaltsbestämningar, radiografiska analyser och ovan nämnda hydroakustiska avbildning av sedimentet, visar resultaten att 12 av de 14 studerade stationerna härrör från bottendynamiskt stabila sedimentationsmiljöer medan två stationer (F2 och G1) representerar bottenmiljöer med något skiftande depositionsförhållanden.

Den organiska kolhalten i sedimenten ligger inom ett för Bohuskusten normalt intervall. Trendanalysen visar emellertid att halterna är de lägsta som erhållits under de 25 år som sedimentkontrollprogrammet löpt. I genomsnitt är halterna 21 % lägre än 1981 och 6 % lägre än 1995. Orsaken till detta är inte klarlagd men det kan vara en effekt av ändrade produktions- och/eller tillförselförhållanden alternativt en effekt av ökad båt- och fartygstrafik i området. Den senare effekten har i andra undersökningar konstaterats både utanför Göteborg och i Brofjorden (Cato 1986 b, 1990). Halten av oorganiskt kol (OOC, huvudsakligen karbonatkol) och totalkol (TC) har minskat med i genomsnitt 45 % respektive 13 % sedan 1995.

Kvävet (TN) i sedimenten är till största delen organiskt bundet och uppvisar därför ett fördelningsmönster snarlikt det för totalt organisk kol (TOC). Kvävehalten i sedimenten har i genomsnitt minskat med 13 % sedan 1995 medan C/N-kvoten ökat med ca 9 % under samma period. Förändringen tyder på att den ökning inom området av andelen sedimenterat marint (kväverikt) detritus som observerades mellan 1975 och 1995 nu kan ha brutits. Ett förhållande som bl.a. framgår av lutningskoefficienten för relationen mellan kväve och organiskt kol som minskat från 0,13 till 0,10 under samma period. Att förändringen beror på ett minskat tillskott av kväverik, dvs. marin detritus, framgår av det negativa samband som föreligger mellan halten kväve och C/N-kvoten i Stenungsundsområdets sediment. Orsaken till förändringarna av C/N-kvoten står närmast att finna i att den tidigare observerade allmänna eutrofieringen av området, som under många år gynnat produktionen av marint organiskt material relativt tillförseln av organiskt material från land, nu tycks ha minskat. Motsvarande förändringar har observerats i Brofjorden mellan 1972 och 2000, samt utmed hela Bohuskusten mellan 1990 och 2000 (se del 2 och 4 i denna samlingsvolym).

Sedimentens totalfosforhalt (tot P) har i medeltal ökat med ca 40 % mellan 1995 och 2000. Motsvarande förändringar har även noterats på andra håll utmed Bohuskusten, t.ex. i Brofjorden mellan 1972 och 2000, samt utmed hela Bohuskusten mellan 1990 och 2000 (se del 2 och 4 i denna samlingsvolym). Orsakerna till denna förändring är förvånande eftersom ca 96 % av fosforn i de kommunala utsläppen numera tas bort.

Ökningen beror sannolikt på att fosfor genom diagenetiska processer anrikas i sedimentytan till följd av en stabil reducerad bottenmiljö. Resultaten tyder därför inte på ökade fosforutsläpp till Brofjorden.

Metallerna arsenik (As), krom (Cr), koppar (Cu), kvicksilver (Hg), nickel (Ni), bly (Pb), tenn (Sn), vanadin (V) och zink (Zn) fördelar sig relativt likartat och jämnt inom undersökningsområdet. De lägsta halterna påträffas vid Stenungsund, medan halterna både norr och söder därom är högre. Ett gentemot dessa metaller starkt avvikande och motsatt mönster uppvisar kadmium (Cd). Halterna är här genomgående högre vid Stenungsund, vilket tyder på att en eller flera källor kan finnas där. Tungmetallerna är positivt associerade till det organiska materialet i områdets sediment.

Trendanalysen visar att tre metaller har ökat i ytsedimentet (0–1 cm) under 25-årsperioden. I medeltal har Cr och Ni ökat med ca 10 % mellan 1975 och 2000, och V med 25 % mellan 1985 och 2000. Övriga metaller visar på en trend med sjunkande halter i ytsedimentet. Cd har under perioden 1981–2000 sjunkit med 77 %. Pb och Zn har minskat med 32 respektive 47 % mellan 1975 och 2000, Hg med drygt 70 % mellan 1972 och 2000. Kopparhalterna har stadigt sjunkit sedan 1981 med motsvarande 75 %. Koncentrationerna var tidigare höga i området till följd av utsläpp av kopparhaltigt spillvatten från tidigare Esso Chemicals anläggning under åren 1962–1969 (Hannerz 1970). Spår av dessa utsläpp återfinns djupare ned i sedimenten (t.ex. station F3).

Resultaten från den senaste femårsperioden (1995–2000) visar att metallhalterna stadigt fortsätter att sjunka i området. Enda undantag är kadmium som ökat med 23 % och nickel som i princip har legat still under samma period.

Beräkning och trendanalys med hjälp av Gradientmetoden, där hänsyn tas till variationer i sedimentens organiska halt, styrker till stor del de ovan beskrivna trenderna, men avvikelser förekommer (främst Pb, Sn och V) under den senaste femårsperioden (1995–2000).

Anrikningsfaktorn är ett uttryck för den antropogena påspädningen gentemot den lokala preindustriella bakgrunden. Anrikningsfaktorn för Sn och Pb visar på en 100-procentig ökning gentemot bakgrunden, medan Cu och Zn visar på en 30 respektive 40 procentig ökning. Övriga metaller visar inte på någon alternativt en mycket måttlig anrikning.

Totalkolväten (THC) påträffades på samtliga stationer. I likhet med 1995 konstaterades de högsta halterna vid småbåtshamnen (marinan) i Stenungsund och med en avtagande gradient söderut. Resultaten tyder på att marinan kan vara ett källområde för oljekolväten. THC-halter över 100 mg/kg ts kan betraktas som höga. Halter överstigande detta värde påträffades 1995 på drygt 40 % av stationerna, men inte på någon station år 2000. Sedan 1995 har THC-halterna i medeltal minskat med 90 %. I genomsnitt är anrikningen gentemot bakgrundsreferensen från Färöarna 1,5 gånger (år 2000) mot 14 gånger 1995. Sammantaget kan Stenungsundsområdet betraktas som icke till svagt förorenat med avseende på THC. Detta är en väsentlig förbättring i förhållande till 1995 års situation.

Sexton polycykliska aromatiska kolväten (16 PAH) har analyserats inom området. Det areella fördelningsmönstret skiljer sig åt mellan de olika föreningarna, men i likhet med 1995 kan två dominerande mönster urskiljas. De med avseende på molekylvikten tyngre föreningarna förekommer i högre halter vid Stenungsund/Askeröfjorden och norrut medan de lättare föreningarna uppvisar högre halter i Stenungsunds närområde och i Askeröfjorden. I genomsnitt har halten (∑16 PAH) sjunkit med 30 % mellan 1995 och 2000.

Anrikningsfaktorn beräknad på medelvärdet för ∑11 PAH i Stenungsundsområdet och den preindustriella bakgrunden från SV Östersjön är låg. På två stationer nära Stenungsund ligger dock den cancerogena föreningen benso(a)pyren högt. Detta är en förbättring gentemot situationen 1995 då hela sex stationer konstaterades ligga högt i detta avseende.

Metylnaftalener undersöktes för första gången år 2000. Endast små mängder kunde detekteras i Askeröfjorden, dvs. i anslutning till de spillvattenutsläpp som sker i området.

Polyklorerade bifenyler (PCB) kunde med undantag för några få kongener (PCB 28, PCB 52 och PCB 157) detekteras på i stort sett samtliga stationer inom området. De högsta halterna återfinns utanför Stenungsund. I genomsnitt har summan för sju polyklorerade bifenyler (∑7 PCB) minskat med 78 % sedan 1995. Under samma period har halten av total-PCB (beräknat som Aroklor) sjunkit med 62 %. Halterna år 2000 ligger i genomsnitt något lägre än medelvärdet för hela Bohuskusten.

Av den mycket toxiska gruppen nonorto-PCB (s.k. plana PCB) kunde endast en kongen (PCB 77) detekteras. Även i detta fall återfanns de högsta halterna utanför Stenungsund.

Pentaklorbensen (pe-CB) och hexaklorbensen (HCB) kunde detekteras och kvantifieras på samtliga stationer i området, medan oktaklorstyren (OCS), med ett undantag, endast kunde detekteras på stationerna utanför Stenungsund. De högsta halterna för de tre föreningarna förekommer i Askeröfjorden utanför Stenungsund. Resultaten visar entydigt att källan till föreningarna finns i är Stenungsund. I genomsnitt har halterna för pe-CB och HCB sjunkit med 25 % och för OCS med 73 % sedan 1995. Halterna för de förra är dessutom i medeltal 80–90 % lägre än vid 1994 års undersökningar, vilket visar på minskade utsläpp under andra hälften av 1990-talet.

Vid 1995 års undersökningar påvisades såväl kloroform, tetraklormetan, tetrakloreten som trikloreten inom området. De högsta halterna förekom utanför Stenungsunds närområde och i Askeröfjorden. Inga halogenerade alifatiska föreningar kunde (sannolikt till följd av Alcontrols för högt satta detektionsgränser) påvisas vid undersökningarna år 2000.

Till skillnad från 1995 års undersökningar då monoaromaterna bensen, toluen etylbensen och xylen kunde påvisas i för Bohuskusten höga halter på i stort sett samtliga stationer, kunde endast xylen detekteras på två stationer utanför Stenungsund vid undersökningarna år 2000. I genomsnitt har halterna i undersökningsområdet minskat med mellan 95 och 100 % sedan 1995.

Styren undersöktes för första gången år 2000. Föreningen kunde endast påvisas på två stationer utanför Stenungsund.

Sju polybromerade difenyletrar (PBDE) undersöktes också för första gången i området år 2000. Av dessa kunde endast PBDE-47 och PBDE-99 detekteras i små mängder på en respektive två stationer utanför Stenungsund, medan dekaBDE detekterades på nämnda stationer samt i en förhöjd halt i södra delen av området.

I figur 4:112 sammanfattas sedimentens miljökvalitet inom Stenungsundsområ- det vad avser de ämnen/föreningar där svenska alternativt norska gränsvärden finns att tillgå. Siffrorna visar hur antalet stationer fördelar sig för varje ämne och tillståndsklass. Resultaten visar att ytsedimenten (0–1 cm) på många stationer i Stenungsundsområdet är tydligt till mycket starkt (klasserna 3–5) förorenat med avseende på hexaklorbensen (HCB), tydligt till starkt (klasserna 3–4) förorenat med avseende på polycykliska aromatiska kolväteföre-

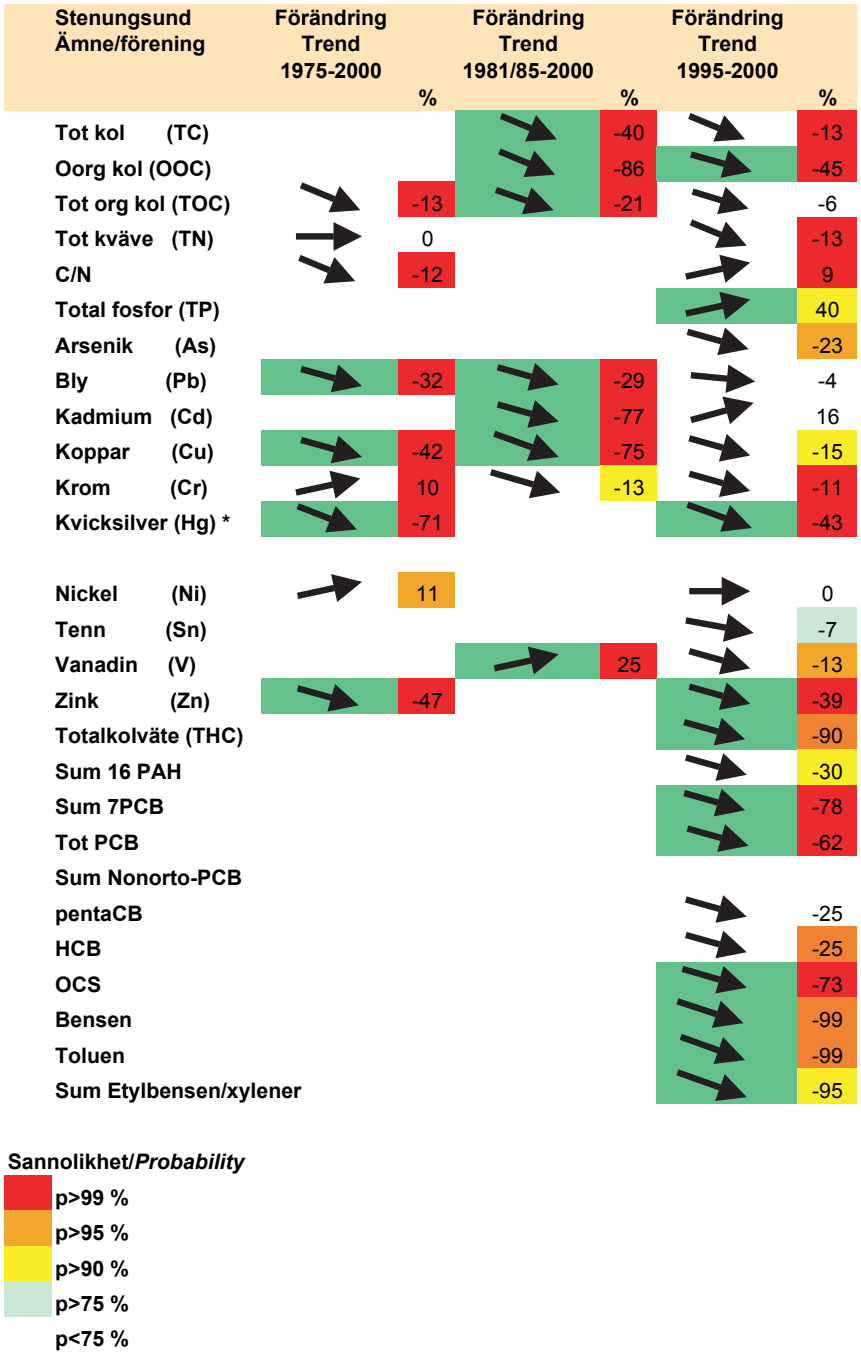
Stenungsund 2000 Ämne/förening	Klass 1 *Bakgrund* *Background*	Klass 2 *Låg halt* *Low cont.*	Klass 3 *Medelhög halt* *Medium cont.*	Klass 4 *Hög halt* *High cont.*	Klass 5 *Mycket hög halt* *Very high cont.*
Arsenik (As)	5	9			
Bly (Pb)	7	7			
Kadmium (Cd)	12	2			
Koppar (Cu)	1	12	1		
Krom (Cr)	12	2			
Kvicksilver (Hg)	1	13			
Nickel (Ni)	14				
Zink (Zn)	10	4			
Sum 11 PAH		6	6	2	
Sum 7PCB		8	6		
Tot PCB		11	3		
HCB			2	7	5
*TOC**	*14*				
*TN**	*2*	*12*			
*THC**	*6*	*8*			
*pe-CB**	*12*	*2*			
*OCS**	*14*				
** enligt SFT*					

Figur 4:112. Klassificering av miljökvaliteten på de 14 sedimentstationer som ingår i kustvattenkontrollen av Stenungsundsområdet år 2000. Siffrorna visar antalet stationer inom varje klass. Klassificering enligt svenska bedömningsgrunder (Naturvårdsverket 1999, 2005) utom i fem fall (markerade med *) där norskt klassificeringschema efter SFT (Rygg & Thèlin 1993, Konieczny & Juliussen 1995) använts.

*Classification of environmental sediment quality for the 14 stations run by the Coastal Water Monitoring Programme of the Stenungsund area in 2000. The figures refer to the number of stations within each class. Classification according to Swedish Environmental Quality Criteria (Naturvårdsverket 1999, 2005) except in five cases (marked with *) where the classification system after SFT in Norweig (Rygg & Thèlin 1993, Konieczny & Juliussen 1995) has been used.*

ningar (PAH) och tydligt (klass 3) förorenat med avseende på polyklorerade bifenyler (PCB). Det senare gäller även för kadmium (Cd) på en station vid Stenungsund.

För övriga metaller (As, Pb, Cu, Cr, Hg, Ni och Zn), organiskt kol (TOC), totalkväve (TN), totalkolväten (THC), pentaklorbensen (pe-CB) och oktaklorstyren (OCS) är miljökvaliteten att betrakta som bra till mycket bra (klasserna 1–2). I samtliga fall har miljökvaliteten förbättrats sedan 1995 och tidigare genomförda undersökningar.



Figur 4:113. Sammanställning över förändringen av medelvärdeskoncentrationen för några ämnen och föreningar i Stenungsundsområdets ytsediment (0–1 cm) mellan 1975 och 2000. Nedåtriktad pil betyder minskad halt och uppåtriktad pil ökad halt. Grönmarkerade fält markerar förändringar som är större än de minst 20 respektive 35 %, som baserat på blandningsfaktorn, krävs för att en förändring med säkerhet skall kunna detekteras vid ett tioårigt respektive femårigt provtagningsintervall.

Compilation of the changes of the average concentrations of some elements and compounds between 1975 and 2000 in the surficial sediment (0–1 cm) of the Stenungsund area. Arrow pointed downwards implies decreasing concentration and arrow pointed upwards implies increasing concentration. Green areas mark changes bigger than the mimimum of 20 and 35 % needed to detect changes with a high significance in a ten- and five-years sampling interval respectively.

Utvecklingstrenden mellan 1975 och 2000 illustreras översiktligt i figur 4:113. Pilarna visar om medelkoncentrationen för respektive ämne ökat, minskat eller är oförändrad. I syfte att erhålla en mer allmängiltig bild av koncentrationsförändringen av respektive miljögift har respektive medelvärde över de 14 stationerna testats statistiskt med hjälp av s.k. t-test med (n–1) frihetsgrader för matchade datapar. Härigenom har den statistiska sannolikheten (p) för respektive medelvärdesförändring kunnat fastläggas. Resultaten av testen visas med olika färger för olika sannolikhetsnivåer i figur 4:113. Förändringar under 10 % är inte statistiskt signifikanta.

Utöver berörda test av medelvärdesförändringen måste också hänsyn tas till sedimentens omblandningsfaktor i området. Denna avgör hur stor procentuell förändring som krävs för att en förändring med säkerhet skall kunna detekteras vid ett tioårigt respektive femårigt provtagningsintervall. Förändringar över 20 respektive 35 % kan i detta fall anses säkra vid ett tioårigt respektive femårigt provtagningsintervall. I de fall dessa krav är uppfyllda har förändringarna markerats med grönt i figur 4:113.

Resultatet från trendanalysen visar en starkt signifikant minskning sedan 1975 av Pb, Cu, Hg och Zn i ytsedimentet (0–1 cm) samt sedan 1981/85 av Cd, oorganiskt och organiskt kol. Endast V uppvisar en signifikant ökning under samma period. För övriga metaller är förändringarna mindre och därmed osäkra då de understiger de 20 % som baserat på blandningsfaktorn krävs för att en förändring med säkerhet skall kunna fastläggas vid ett tioårigt provtagningsintervall.

Under den senaste femårsperioden (1995–2000) har med mycket stor sannolikhet Hg, Zn, THC, ∑7 PCB, tot-PCB, oktaklorstyren, BTEX samt oorganiskt kol minskat mer än vad omblandningsfaktorn kräver för att förändringen med säkerhet skall kunna detekteras vid ett femårigt provtagningsintervall. Detta gäller också den starka ökningen av fosfor under samma period. För övriga metaller och föreningar är förändringarna mindre än berörda faktor och därför osäkra. Med undantag för Cd och C/N-kvoten visar dessa på en sjunkande trend.

4.7 Summary

At the request of the Västra Götaland County Administration, the bottom sediments of the Stenungsund area, were examined with regards to certain physical and chemical parameters in 2000. Slightly more than 60 chemicals and compounds, heavy metals, organic micropollutants and nutritive substances were studied at 14 sites. The Geological Sutvey of Sweden (SGU) was responsible for sampling procedures and Alcontrol for analyses of sediment samples and preliminary reporting, while SGU carried out the evaluation, trend analyses and final reporting. The former study was carried out in 1985 (Cato 1986 a) and 1995 (Cato 1997a). As the investigation in 2000, the latter was co-ordinated by the Bohus Coast Conservation Association (Bvvf).

The present investigations were preceded by side-scan sonar imaging of the bottom surface at the predetermined sampling sites. The imaging was carried out in order to increase the knowledge of the environment of sedimentation at and around the sampling sites. A resampling could then be carried out of i.a. the superficial sediment layer (0–1 cm) at 14 of the previous used sampling sites. By assuming that the main part of this layer consists of recently deposited sediments, the trend of the environmental quality expressed as the anthropogenic load of substances to the coastal waters of the Stenungsund area could be determined by trend analysis. In the trend analysis summarized below, only the average trend of each parameter, element or compound within the entire investigation area is given. The trend at each station is given separately, under its respective chapter in the present report.

To be able to determine the load of a certain chemical or compound within a coastal area or recipient, consideration must, in some cases, be taken of the effect of the natural variation of the element/compound. This, in turn, depends on the variation of the concentration of organic matter. This can be done by the Gradient method, where the gradient itself expresses the degree of the anthropogenic load. However, this presuppose that the element/compound in question shows an acceptable and probable positive correlation (association) to the sedimentary organic carbon. In those cases where such a relationship exists within the area the load gradient has been determined.

The content of clay and silt, i.e. the fraction <63 µm was determined at all stations as i.a. the environment of sedimentation at each site has to be examined. Together with the water content determinations of the sediment the results show that 12 out of 14 investigated sites within the control programme were placed in

potentially good deposition environments, while at two sites (F2 and G1) the bottom dynamic conditions are alternating or disturbed.

The total organic carbon (TOC) content of the sediments falls within an interval that can be considered as normal for the Bohus coast. However, the trend analysis shows that the concentrations are the lowest found during the twenty-five years the control programme has been run. On average the content is 21% lower than in 1981 and 6% lower than in 1995. The cause of this is not fully understood, but it may be due to either changes in the productivity in and/or supply of organic matter to the area or an effect of the increased boat and shipping traffic. The latter effect has in other investigations been found in the Göteborg archipelago and in the Brofjorden area (Cato 1986 b, 1990). The content of inorganic carbon (OOC, mainly carbonate coal) and total carbon (TC) has since 1995 decreased by, on average, 45% and 13% respectively.

The majority of the nitrogen (TN) occuring in the sediments is organically bound and therefore displays a distribution pattern closely resembling that of total organic carbon. On average the nitrogen content in the sediment has decreased by 13% between 1995 and 2000 while the C/N ratio has increased by c. 9% during the same period. The changes indicate that the increase in the amount of deposited marine detritrus (rich in nitrogen and poor in cellulose) observed between 1975 and 1995 now may be broken. This situation is evidenced by the regression coefficient of the relationship between nitrogen and organic carbon which decreased from 0.13 to 0.10 during the same period. From the negative relationship between the C/N ratio and the nitrogen content of the sediment, it is evident that the change is due to a decreased proportion of nitrogen rich detritus in the Stenungsund area. The change in the C/N ratio is due to the previous general observed eutrophication of the area which during many years favoured the production of marine organic matter viz. the supply of organic matter from land now seems to have diminished. Corresponding changes have been observed in the Brofjorden between 1972 and 2000, and along the entire Bohus coast between 1990 and 2000 (see Part 2 and 5, this volume).

The sediments' content of phosphorus (tot-P) has on average increased with c. 40% between 1995 and 2000. Corresponding changes have been observed in other areas along the Bohus coast, e.g. in Brofjorden between 1972 and 2000, and along the entire Bohus coast between 1990 and 2000 (see Part 2 and 5, this volume). The reason of this change is surprising as about 96% of the phosphorus in the municipal treatment plants nowadays is reduced. The increase is probably due to diagenetic processes which enrich phosphorous in the sediment surface as a consequence of steady state in the reduced bottom environment. Thus, the results may not indicate increased phosphorus emission to the Stenungsund area.

The concentrations of the heavy metals arsenic (As), chromium (Cr), copper (Cu), mercury (Hg), nickel (Ni), lead (Pb), tin (Sn), vanadium (V) and zinc (Zn) are relatively even distributed within the investigation area. The lowest concentrations appear at Stenungsund while the highest concentrations are found both north and south of it. Opposite cadmium (Cd) show a different pattern with in general the highest concentrations in the Stenungsund area. This may indicate emission in the Stenungsund area. The heavy metals are positively associated with the organic matter in the sediments.

The trend analysis shows that three metals have increased in the surface sediment (0–1 cm) during the twenty-five year period. On average Cr and Ni have increased by c. 10% between 1975 and 2000, and V with 25% between 1985 and 2000. All other metals show a significant trend of decreasing concentrations in the surface sediment. Cd has decreased by c. 77% in the superficial sediments between 1981 and 2000. Pb and Zn have decreased by 32 and 47% respectively between 1975 and 2000, Hg by 70% between 1972 and 2000. The copper concentration has constantly decreased since 1981 by about 75%. The concentrations were previously high in the area as a consequence of emission of copper loaded waste-water from the former Esso Chemicals´ plant during the period 1962–1969 (Hannerz 1970). Traces of these effluents have been found deeper down in the sediments (e.g. site F3).

The results from the latest five-year period (1995–2000) show that the metal concentrations continuous to decrease within the area. The only exception is cadmium which has increased with 23% and nickel which in principle has remained constant during the same period.

Estimation and trend analysis by the aid of the Gradient method where consideration is taken to the variation of the organic carbon content of the sediment, also confirms these trends. However, divergences exist (mainly Pb, Sn and V) during the latest five-year period (1995–2000).

The enrichment factor expresses the anthropogenic load compared to the local preindustrial background. The enrichment factors of Sn and Pb show a 100 percentage increase compred to the background, while Cu and Zn show an increase of 30 and 40% respectively. The other metals do not show any increase at all or just a moderate increase.

Total hydrocarbons (THC) were detected at all sites. As in 1995 the highest concentration was found in the small harbour (marina) in Stenungsund and with a decrease southwards. The results imply that the marina may be a source area of oil-hydrocarbons. THC concentrations >100 mg/kg dw have to be considered as high. Concentrations were above this limit at full 40% of the sites within the investigation area in 1995, but not at any site in 2000. Since 1995 the THC-concentrations have on average decreased with 90%. Compared to the background reference at the Färö islands, THC is at most enriched 1.5 times on average in 2000 to be compared to 14 times in 1995. Taken together the Stenungsund area has to be considered as not to moderately contaminated with respect to THC. This is a marked improvement compared to the situation in 1995.

Sixteen polyaromatic hydrocarbons (16 PAH) were analysed within the area. The distribution pattern differs between the different compounds, but as in 1995 with two dominant patterns recognized. The hydrocarbons with a larger molecule weight are observed more frequently to the north of Stenungsund/Askeröfjorden, while the less heavy compounds show higher concentrations in the vicinity of Stenungsund and in the Askeröfjorden. On average the concentration (∑16 PAH) has decreased with 30% between 1995 and 2000.

The enrichment factor, based on the average value of the ∑11 PAH in the Stenungsund area and the preindustrial background from the Baltic is low. With respect to this, the cancerogenic compound benzo(a)pyrene is high at two sites close to Stenungsund.

Methylnaphtalenes were for the first time investigated in 2000. Only very low content was detected in the sediment in the Askeröfjord, i.e. in the vicinity of the waste-water discharges of the area.

Polychlorinated biphenyls (PCB) could with exception of a few congenes (PCB-28, PCB-52 and PCB-157) be detected at in general all sites within the area. The highest concentrations were found close to Stenungsund. On average the sum of the seven polychlorinated biphenyls (∑7 PCB) has decreased with 78% since 1995. During the same period the concentration of total PCB (measured as Aroclhlor) decreased with 62. On average the concentrations in 2000 are lower than the average of the Bohus coast.

From the most toxic group nonortho-PCB only one congene (PCB-77) was detected. Like above, the highest concentrations were found close to Stenungsund.

Pentachlorbenzene (pe-CB) and hexachlorobenzene (HCB) were detected and quantified at all sites within the area, while octachlorostyrene (OCS), with one exception, only was detected at the sites close to Stenungsund. The highest concentrations of all three compounds were found in the Askeröfjord at Stenungsund. The results clearly show that the source of these substances are to be find in Stenungsund. On average the concentrations of pe-CB and HCB have decreased with 25% and OCS with 73% since 1995. The concentrations of the former is on average 80–90% lower compared to the investigations in1994. This implies decreased emission during the second part of the 1990's.

On average the concentrations are 70% lower than in 1994. Hexachlorobenzene (HCB) was detected at all sites with the highest concentrations north of Stenungsund. Compared to the local background the compound is enriched by at most 80 times. On average the HCB concentration is 86% lower than in 1994. The results may indicate a secondary dispersion of both 5CB and HCB, since a change normaly not should be detected after only one year. The chlorobenzenes mainly appear in the Askeröfjorden and in the vicinity of Stenungsund.

The aliphatic halogen compounds chloroform, tethrachlormetane, tethrachlorethene and trichlorethene were found within the area in 1995. The highest concentration was found in the vicinity of Stenungsund and in the Askeröfjorden. No aliphatic halogen compounds could (probably as a consequence of the high detection limit set by Alcontrol) be found in the investigations in 2000.

In comparison to other parts of the Bohus coast the monoaromatic compounds (benzene, toluene, ethylbenzene and xylene) could be detected in relative high concentrations at most sites within the Stenungsund area in 1995. In 2000 only xylene was detected at two sites close to Stenungsund. On average the concentrations have decreased with 95 to 100% since 1995.

Styrene was for the first time investigated in 2000. The substance could only be detected at two sites close to Stenungsund.

Seven polybrominated diphenylethers (PBDE) were investigated in the area in 2000. Out of these only PBDE-47 and PBDE-99 were detected in small quatities at one and two sites respectively outside Stenungsund, while decaBDE was found at the sites mentioned and in an elevated concentration in the southern part of the area.

In Figure 4:112 the sediment quality within the Stenungsund area is summarized with respect to each element/compound when suitable limit values are available (Swedish or Norwegian criteria). The figures show the distribution of the number of sites with respect to each element/compound and the class of anthropogenic impact. The results imply that the surface sediment (0–1 cm) at most sites in the Stenungsund area is markedly to very strongly contaminated (classes 3–5) with respect to hexachlorobenzene (HCB), markedly to strongly contaminated (classes 3–4) with respect to polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH) and markedly contaminated (class 3) with respect to polychlorinated biphenyls (PCB). The latter is also valid for cadmium (Cd) at one station close to Stenungsund.

For most other metals (As, Pb, Cu, Cr, Hg, Ni and Zn), total organic carbon (TOC), total nitrogen (TN) total hydrocarbons (THC), pentachlorobenzene (pe-CB) and octachlorostyrene (OCS) the environmetal quality can be considered as good to very good (classes 1–2). In all cases the environmental quality has improved since 1995 and previously carried out investigations.

The trend of the sediment quality status between 1975 and 2000 is summarized in Figure 4:113. The arrows show whether the average concentration of each element or compound increased, decreased or is unchanged. Changes less than 10% can not be considered as statistically significant. However, consideration has also to be taken to the bioturbation factor. This determinates how strong change that is needed, with a high probability, to detect changes at a ten- and five-years interval of sampling respectively. In this case, changes of more than 20 and 35% respectively have to be considered. In those cases where this is fulfilled the changes has been marked with green colour in figure 4:113.

The result from the trend analysis demonstrated a strong significant decrease of Pb, Cu, Hg, and Zn in the superficial sediment (0–1 cm) since 1975, and of Cd, inorganic- and organic carbon since 1981/85. Only V shows a significant increase during the same period. Most other metals have changes less than the bioturbation factor 20% and therefore they have to be considered as uncertain in a ten-year retro-perspective.

During the last five-years period (1995–2000) has with very high probability Hg, Zn, THC, ∑7 PCB, tot-PCB, octachlorostyrene, BTEX and inorganic carbon decreased more than what is needed according to the bioturbation factor to detect changes in a five-years period. This is also valid to the strong increase of phosphorous during the same period. For most other metals and compounds the changes are less than the factor mentioned and thereby uncertain. With exception to Cd and the C/N-ratio these show a decreasing trend.

4.8 Referenser

Alcontrol, 2004: *Bohuskustens vattenvårdsförbund 2001–2002. Resultat från undersökningar av sediment och biologiskt material.* Rapport Alcontrol Laboratories 2004, 361 s.

Axe, P., Andersson, L., Håkansson, B., Sahlsten, E. & Ingemansson, A., 2004: Sammanställning och utvärdering av hydrografiska mätningar längs Bohuskusten. *SMHI Rapport 2004-57*, 144 s.

Cato, I., 1977: recent sedimentological and geochemical conditions and pollution problems in two marine areas in southwestern Sweden. *Striae 6*, 158 s.

Cato, I., 1986a: Tungmetaller och petrogena (organiska) substanser i Stenungsundsområdets bottensediment 1985, samt förändringar efter 1975. *Naturvårdsverket Rapport 3152/Miljöutredningen för Stenungsund Rapport Nr 25*, 49 s.

Cato, I., 1986b: Sedimentens belastning av tungmetaller och närsalter i Göteborgs skärgård 1982, samt förändringar efter 1966. Göteborgs universitet, *Maringeologiska institutionen, Rapp. 2*. 95 s.

Cato, I., 1990: Sedimentundersökningar i Brofjorden särskilt Trommekilen 1989, samt förändringar efter 1972 och 1984. *Sveriges geologiska undersökning Rapporter & meddelanden 64*, 75 s.

Cato, I., 1992: Sedimentundersökningar längs Bohuskusten 1990 – Göteborgs och Bohus läns kustvattenkontroll. *Sveriges geologiska undersökning Rapporter & meddelanden 74*, 97 s.

Cato, I., 1997a: Sedimentundersökningar i Stenungsundsområdet 1995, samt förändringar under de senaste 20 åren. *I* I. Cato (red.): Sedimentundersökningar längs Bohuskusten 1995 samt nuvarande trender i

kustsedimentens miljökvalitet – en rapport från fem kontrollprogram. *Sveriges geologiska undersökning Rapporter & meddelanden 95*, 193–266.
Cato, I., 1997: Contaminants in the Skagerrak and Kattegat sediments. *I* I. Cato & F. Klingberg (red.): Marine Geology of the Baltic. Proceedings of the Fourth Marine Geological Conference. *Sveriges geologiska undersökning Ca 86*, 21–35.
Cato, I., Rindby, A. & Rudolfsson, J., 2000: Unik sedimentscanner utvecklad. *Geologiskt forum 25*, 13–15.
Clark, R.C. & Brown, D. W., 1977: Petroleum: Properties and Analyses in Biotic and Abiotic Systems. In: *Effects of Petroleum on Arctic and Subartic Marine Environments and Organisms. Vol I*. Ed: D C Malins, Academic Press, 1977.
Edgren, M., 1975: *Sedimentkemiska undersökningar i Stenungsundsområdet 1975*. Rapport Statens naturvårdsverk, 6 s.
Edgren, M., 1978: *Undersökningar av kvicksilver- och kopparhalter i sediment från vattenområdet utanför Stenungsund.* Stencil, 2 s.
Farrington, J.W., 1980: An overview of the biogeochemistry of fossil fuel hydrocarbons in the marine environment. *I* Petrakis & F.T. Weiss (red.) *Petroleum in the Marine Environment*. American Chemical Society.
Gustavsson, I., 1982: *Omgivningskontroll Vatten. Kapitel Sediment.* Statens naturvårdsverk, 4 s.
Hannerz, L., 1970: *Recipientundersökningar vid Stenungsund 1962–1968.* Yttrande till Västerbyggdens vattendomstol.
Helland, A., Naes, K. & Skei,J., 1990: Undersökelser av partikler i vannmassen, sedimentasjon og bunnsedimenter i svensk/norsk grensefarvann. *NIVA Rapport 432/90*, 117 s.
Helland, A., Brevik, E.-M., & Godal, A., 1996: Sedimentundersøgelser i Göteborg og Bohus läns kystvann 1995. *NIVA Rapport LNR 3499-96*, 63 s.
Håkanson,L., Jonsson,B., Jonsson,P. & Martinsen,K., 1988: Påverkansområden för klorerat organiskt material fråm massablekerier. *SNV Rapport 3522*, 165 s.
Jonasson, A. & Olausson, E., 1966: New devices for sedimentsampling. *Marine Geology 4*, 365–372.
Konieczny, R.M. & Juliussen, A., 1995: Sonderende undersøkelser i Norske havner og utvalgte kystområder. Fase 1. Miljøgifter i sedimenter på strekningen Narvik Kragerø. *NIVA-Rapport 587/94.* 185 s.
Mortensen, P. & Hedegaard, I. B., 1985: Hydrografiska modellberäkningar för avloppsutsläpp från petrokemisk industri till Stenungsundsrecipienten. Delprojekt Vatten. Miljöutredningen för Stenungsunds. Rapport nr 5. *Statens naturvårdsverk Rapport 3058*, 73 s.
Naturvårdsverket 1999: Bedömningsgrunder för miljökvalitet i Kust och hav. *Naturvårdsverket Rapport 4914*, 134 s.
Naturvårdsverket 2005: ://www.naturvardsverket.se/index.php3?main=/dokument/fororen/orggift/organisk.html.
Niemestö, L., 1974: A gravity corer for studies of soft sediments. Merentutkimuslait. *Julk/Havsforskningsinst. Skr. 238*, 33–38.
Olausson, E., 1975a: Man-made effect on sediments from Kattegatt and Skagerrak. *Geol. Fören. Stockh. Förh. 97*, 3–12. Stockholm.
Rudling, L., 1976: Oil Pollution in the Baltic Sea. Statens Naturvårdsverk. *SNV PM 783*, 1–80.
Rygg, B. & Thélin, I., 1993: Klassificering av miljøkvalitet i fjorder og kystfarvann. *Statens forureningstilsyn. SFT-veiledning nr. 93:02*.
Sleeter, T.D., Butler, J.N. & Barbash, J.E., 1980: Hydrocarbons in the Sediments of the Bermuda Region Lagoonal to Abyssal Depths. *I* Petrakis & F.T. Weiss (red.) *Petroleum in the Marine Environment*. American Chemical Society.

Del 5

Föroreningar och miljökvalitet i Brofjordens sediment 2000, samt förändringar under de senaste 25 åren

Contaminants and environmental quality in the Brofjorden sediment in 2000, and changes during the last 25 years

Innehållsförteckning

Abstract ... 275
5.1. Inledning ... 275
5.2 Undersökningsområde ... 276
5.3 Utsläpp ... 277
5.4 Metoder ... 277
5.5 Analyser ... 282
5.6 Resultat ... 283
5.6.1 Kornstorleksfördelning samt förändringar efter 1972 ... 283
5.6.2 Sedimentens färg och grad av bioturbering ... 289
5.6.3 Vattenhalt samt förändringar efter 1972 ... 290
5.6.4 Totalkol och oorganiskt kol samt förändringar efter 1989 ... 292
5.6.5 Organiskt kol samt förändringar efter 1972 ... 294
5.6.6 Totalkväve samt förändringar efter 1972 ... 295
5.6.7 Kol-kvävekvoten (C/N) samt förändringar efter 1972 ... 297
5.6.8 Totalfosfor samt förändringar efter 1972 ... 298
5.6.9 Tungmetaller ... 299
5.6.9.1 Arsenik ... 299
5.6.9.2 Kadmium ... 302
5.6.9.3 Koppar ... 304
5.6.9.4 Krom ... 305
5.6.9.5 Kvicksilver ... 306
5.6.9.6 Mangan ... 308
5.6.9.7 Nickel ... 308
5.6.9.8 Bly ... 309
5.6.9.9 Tenn ... 312
5.6.9.10 Vanadin ... 312
5.6.9.11 Zink ... 313
5.6.10 Metallernas areella fördelningsmönster ... 315
5.6.11 Tungmetallbelastningen och dess förändringar i Brofjorden mellan 1989 och 2000 ... 316
5.6.12 Anrikningsfaktorer och lokala bakgrundsdata för tungmetaller ... 320
5.6.13 Totalkolväten samt förändringar efter 1977 ... 321
5.6.14 Polycykliska aromatiska kolväten samt förändringar efter 1984 ... 324
5.6.15 Metylnaftalener ... 331
5.6.16 Polyklorerade bifenyler samt förändringar efter 1995 ... 331
5.6.17 Plana PCB ... 335
5.6.18 Halogenerade alifater (haloformer) samt förändringar efter 1995 ... 336
5.6.19 Monoaromater samt förändringar efter 1995 ... 336
5.6.20 Polybromerade difenyletrar ... 338
5.7 Sammanfattning ... 341
5.8 Summary ... 345
5.9 Referenser ... 348

Abstract

Surface sediment samples collected from 8 sites in the fiord Brofjorden, south-western Sweden, were analysed for total carbon, inorganic carbon, organic carbon (TOC), total nitrogen (TN), total phosphorous (tot P) heavy metals (As, Cd, Cr, Cu, Hg, Mn, Ni, Pb, Sn, V, Zn), total hydrocarbons (THC), total polycyclic aromatic hydrocarbons (∑16 PAH), polychlorinated biphenyls (PCB), aliphatic halogen compounds (haloforms), monoaromatic compounds (BTEX) and brominated diphenyl ethers (PBDEs), with simultaneously determinations of grain-size distribution and water content. The main purposes were: 1) to describe the present status of the area in 2000, 2) to identify the changes that have taken place between 1972, 1977, 1984, 1989, 1995 and 2000 respectively, and 3) try to clarify the changes which may have resulted from the building and operation of an oil refinary in the fiord in 1975. The results imply that most sites in the Brofjorden area are markedly to strongly contaminated (classes 3–4) with respect to polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH), and markedly contaminated (class 3) with respect to polychlorinated biphenyls (PCB). The latter is also valid for Cd and Pb at some stations. For all other metals (As, Pb, Cu, Cr, Hg, Ni and Zn) and total hydrocarbons (THC) with one exception, the environmetal quality can be considered as good to very good (classes 1–2).

The result from the trend analysis demonstrated a strong significant decrease of Pb, Cu, Zn, and THC in the superficial sediment (0–1 cm) since 1972/77 and Hg and V since 1989. Inversely Sn, Cd, tot-P, tot-N and PAH show a significant increase during the same period. In general there is an increased contamination of the fiord between 1977 and 1984/89 and a strong improvement between 1984/89 and 2000. The latter indicates reduced emission from the oil refinary. However, between 1995 and 2000 the concentrations of Cd and PAH have started to increase in the surface sediment. Between 1972 and 1995 the C/N ratio indicated a successively increased eutrophication of the fiord. The data from 2000 indicate that this trend has been broken.

5.1 Inledning

I maj 1975 startade Scanraff AB (numera Preemraff Lysekil AB) sin raffinaderiverksamhet i den med avseende på industrier tidigare orörda Brofjorden. Numera hanteras ca 1/3 av Sveriges oljekonsumtion via denna fjord. Till raffinaderiet hör vardera en råoljehamn och en produkthamn. Under åren 1975 till 1995 har ca 1 000 fartyg per år anlöpt raffinaderiets båda hamnar och ca 10 miljoner ton råolja omsatts per år.

Brofjorden har sedan mitten av 1970-talet regelbundet undersökts genom ett löpande kontrollprogram, som syftar till att övervaka miljön runt raffinaderietableringen. Kontrollprogrammet föregicks, i enlighet med Västerbygdens vattendomstols dom av den 13 juli 1971, av en brett upplagd basundersökning omfattande bottenfauna, fiskeribiologi, primärproduktion, fytoplankton, strandvegetation, hydrografi, sedimentologi och geokemi. Dessa undersökningar, utförda under åren 1971–1974, resulterade inte enbart i en värdefull basdatabank utan visade dessutom entydigt att Brofjorden vid den tiden utgjorde ett havsområde med god biologisk och kemisk status (bl.a. Grimås 1975, Cato 1977).

Den första recipientkontrollen efter basundersökningen med avseende på Brofjordens sedimentstatus utfördes av Naturvårdsverket (NV) under åren 1977–1979 (Göthberg & Johansson 1981). Härvid konstaterades en måttlig föroreningsgrad av tungmetaller och petrogena kolväteföreningar. Till följd av att NVs analyser av tungmetaller inte utfördes med samma metodik som i basundersökningen 1972 kunde inga direkta jämförelser ske med den senare undersökningens bakgrundsmaterial. Detta kunde däremot ske i 1984 års sedimentundersökningar som utfördes inom ramen för Göteborgs universitet (Cato m.fl. 1986). Resultaten visade att en sedimentologisk och geokemisk förändring skett i området. Sedimentens kornstorlekssammansättning hade förändrats, vilket tillskrevs den ökade fartygstrafiken. Belastningen av vissa tungmetaller, framför allt bly, kadmium och vanadin, samt petroleumkolväten hade ökat sedan 1972.

Undersökningar av 1984 års omfattning är planerad att bli genomförd vart tionde år. Däremellan skall en begränsad kontroll av sedimentstatusen ske. En sådan begränsad undersökning (omgivningskontroll) omfattande endast fem stationer genomfördes av Sveriges geologiska undersökning (SGU) på uppdrag av Preemraff Lysekil 1989 (Cato 1990). Denna begränsade studie slogs samman med en samtidig sedimentundersökning, också utförd av SGU, men på uppdrag av Vattenfall Energisystem AB. Denna del av sedimentundersökningen var speciellt inriktad på Trommekilen, dvs. området mellan "Preemraffhalvön" och Rixö samt Hanneviken i fjordens sydligaste inre del. Resultaten 1989 visade att belastningsgradienten för flera tungmetaller fortsatt att successivt öka sedan 1972 och 1984, men att belastningen vad avsåg petrogena kolväten sjunkit sedan 1984. Effekten av fartygstraffiken kvarstod liksom indikationerna på en ökad eutrofiering i området. Det senare observerades även i 1995 års undersökningar (Cato 1997).

De senare undersökningarna (1995) visade på fortsatt sjunkande halter av flertalet tungmetaller, totalkolväten (THC) och flertalet polycykliska aromatiska kolväteföreningar (PAH). Halten av den samlade mängden persistent klorerat organiskt material däremot befanns hög, men däri ingående miljörelevanta ämnen som polyklorerade bifenyler (PCB), klorbensener och klorstyrener var låga.

Föreliggande sedimentundersökning (2000) utgör den tredje i raden av de mer omfattande recipientkontrollerna i Brofjorden sedan etableringen av Preemraff Lysekil AB. Undersökningen har samordnats och upphandlats av Bohuskustens vattenvårdsförbund (Bvvf). För analys och rapportering av analysdata har Alcontrol i Linköping svarat (Alcontrol 2004). Sveriges geologiska undersökning har svarat för provtagning, sammanställning och utvärdering av resultaten. För 1995 års undersökningar svarade Norsk Institutt for Vannforskning (NIVA) i Oslo (Helland m.fl. 1996). Även denna undersökning sammanställdes och utvärderades av SGU (Cato 1997).

Basundersökningen 1972 omfattade 67 stationer i Brofjordenområdet. Vid 1977–79 års undersökningar reducerade Naturvårdsverket programmet till 23 stationer varav nio stationer sammanföll med basundersökningens. Detta minskade kraftigt jämförbarheten mellan undersökningsåren. Vid 1984 års undersökning provtogs 18 stationer varav 16 tidigare ingått i basundersökningen. Två nya stationer etablerades alldeles utanför raffenaderiets spillvattenutsläpp i Hamreviken. Vid den kombinerade sedimentundersökningen 1989 provtogs totalt 18 stationer varav 14 tidigare ingått i basundersökningen eller 1984 års undersökning. Fyra nya stationer etablerades i Trommekilen. Undersökningarna 1995 omfattade 13 av basundersökningens 67 stationer. Därutöver undersökte Bohuskustens vattenvårdsförbund en station (319) ur basundersökningens program (se Cato 1997). Vid undersökningarna 2000 undersöktes 7 av basundersökningens 67 stationer. Bohuskustens vattenvårdsförbund skiftade ut sin tidigare station (319) mot en för deras målsättning mer lämplig station (324). Totalt undersöktes 8 stationer i Brofjordenområdet 2000.

5.2 Undersökningsområde

Brofjorden är belägen i centrala Bohuslän ca 10 km norr om Lysekil (fig. 5:1). Fjorden har en sydvästlig–nordostlig sträckning med en längd av ca 7 km och minsta bredd vid Stretudden på ca 300 m (fig. 5:2). Fjordens botten sluttar långsamt ut mot havet ned till ett djup av ca 90 m. Vid Stretudden finns en 52 m djup håla. Fjordens yta innanför Stretudden är ca 8 km^2. Medeldjupet är ca 13 m. Vid ön Rixö (naturskyddsområde) har fjorden en gren åt sydost, Trommekilen, vars inre grunda del benämns Hanneviken.

Längst in i Brofjorden mynnar Broälven. Avrinningsområdet är ca 90 km^2 och den naturliga tillförseln av sötvatten utgör i medeltaal 1.5 m^3/s (Öström 1973). Sötvattentillförseln svarar inte för någon större cirkulation i fjorden utan största omblandningen sker genom vind- och vågturbulensen samt genom strömmar. Ytvattnet har en salinitet på ca 26 promille och bottenvattnet ca 31,5 promille (Svensson 1973).

Fjordens totala vattenvolym uppgår till ca 90 miljoner m^3 och dess huvudsakliga vattenutbyte sker med Malmöfjorden genom en periodisk 14 timmars oscillation. Tidvattenvariationen är liten, ca 25 cm, vilket svarar mot 1,5 % av den totala vattenvolymen. Det genomsnittliga vattenutbytet i de övre respektive undre vattenlagren varierar mellan 500 och 1200 m^3/s (studier under en 6 timmarsperiod, Svensson 1973, Brandt 1975, se även Axe m.fl. 2004).

Fjorden omges huvudsakligen av granitiskt berg i dagen. Postglacial lera på land uppträder i sänkor och framför allt i fjordens innersta del utmed Broälven. Områden med sand återfinns bl.a. på Rixön, belägen i fjordens inre del (Lindström 1902).

Brofjordens botten täcks huvudsakligen av siltiga leror. Ett större inslag av silt och sand förekommer i lerorna öster om Rixö, i Hanneviken och söder om Herrenäset. Väster om Grötö förekommer genom stormar omlagrade grövre sediment (Cato 1977). Sedimentmäktigheten, dvs. sedimentens mäktighet räknat från sedimentytan ned till underliggande berggrunds överyta har på uppdrag av Vägverket undersökts av SGU 1988 i området mellan Grötö och Rixö. Mäktigheterna varierar från 20 m till 140 m med de största mäktigheterna öster om Grötö och inne i Trommekilen (Cato m.fl. 1988).

Brofjordens vikar är delvis bevuxna med ålgräs och bentiska makroalger. Dessa utgör viktiga uppväxt- och födoplatser för flera arter.

I eller vid fjorden pågår följande för sammanhanget relevanta aktiviteter. På fastlandet omedelbart öster om Rixön bryts sedan lång tid tillbaka sten i ett öppet dagbrott. Utskeppning sker från en kaj ca 500 m norr om Lahälla (figur 5:2). Ytterligare 500 m norr därom är en småbåtshamn belägen. Längre tillbaka i tiden har sillindustriverksamhet förekommit i fjorden.

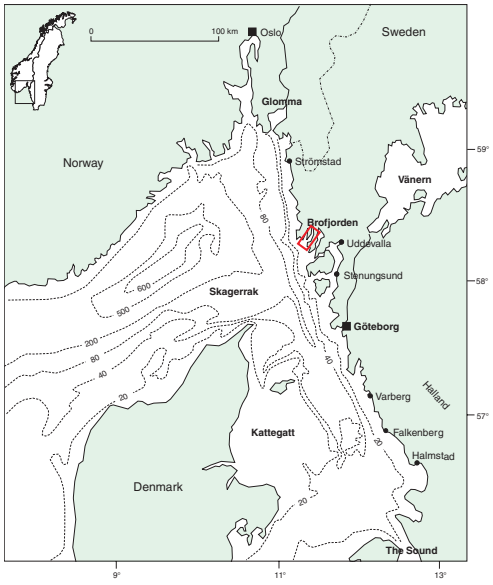


Fig. 5:1. Översiktskarta över Skagerrak och Kattegatt med undersökningsområdet markerat (Brofjorden).

Outline map of the Skagerrak and Kattegat showing the location of the investigated area (Brofjorden).

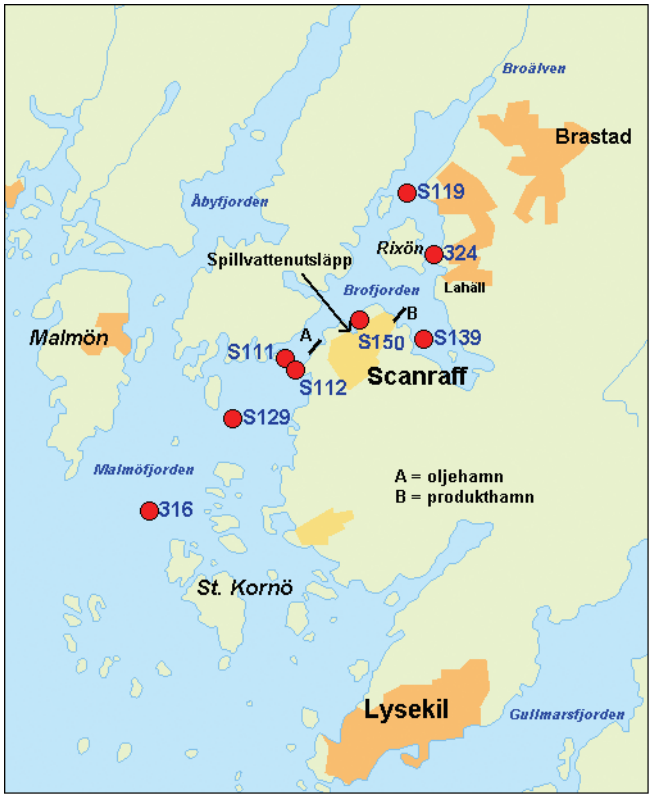


Fig. 5:2. Karta över 2000 års provtagningsstationer i Brofjorden.

Map of the Brofjorden showing the position of the sampling sites used in 2000. A = oilterminal, B = product terminal.

I maj 1975 startade Preemraff Lysekil sin raffenaderiverksamhet. Anläggningen är förlagd i området mellan Sjöbol och Stretudden på Stångenäshalvön. Till raffinaderiet hör en råoljehamn och en produkthamn (se figur 5:2). Under åren 1977 till 2003 har i medeltal ca 1 300 fartyg per år anlöpt raffinaderiets hamnar. Antalet fartyg har med åren ökat och 1999 anlöpte 1 850 fartyg Preemraff Lysekils hamnar varav ca 100 stora oljetankers anlöpte råoljehamnen. 2/3 av Sveriges oljebehov raffineras i Brofjorden.

Råoljeomsättningen vid Preemraff Lysekil har i medeltal varit ca 8,6 miljoner ton per år. Omsättningen beror på lönsamheten. År 2003 omsattes 10 miljoner ton råolja.

5.3 Utsläpp

Den kända föroreningsbelastningen till Brofjorden sker framför allt från AB Preemraff Lysekil via reningsverket i Hamreviken, från Loddebo kommunala reningsverk (3 500 personekvivalenter) och Broälven (tabell 5:1). Dessutom sker en diffus avrinning från jordbruksmark via mindre vattendrag, spill från besökande fartyg och atmosfäriskt nedfall (se Cato 1977). Utsläppen domineras av Preemraff Lysekil.

Reningen vid Preemraff Lysekils reningsverk i Hamreviken består av gravimetrisk oljeavskiljning, kemisk flockning och flotation, samt biologisk nedbrytning med aktivt slam med åtföljande sedimentering. Vattnet leds sedan till en oxidationsdamm och går efter spädning ut i Hamreviken. Omhändertaget ballastvatten renas på liknande sätt med undantag för det biologiska steget. I tabell 5:2 redovisas vid tre tillfällen de årliga utsläppen från Preemraff Lysekil. Totalt renas ca 3 miljoner m^3 avloppsvatten (barlastvatten och processvatten).

Tabell 5:1. Kända årliga utsläpp till Brofjorden (Länstyrelsen och Lysekils kommun 1989).
Yearly discharge to Brofjorden (The County Administration and the Lysekil Community 1989).

Område	Flöde milj m^3/år	Fosfor ton/år	Kväve ton/år	BOD ton/år	Olja ton/år
Hamrevik reningsverk	11	1,5	63	48	12
Loddebo reningsverk	0,4	0,1	4	4,5	-
Broälven	47	1,5	13	n.d.	-

Tabell 5:2. Årliga utsläpp från Preemraff Lysekil till Brofjorde (från Preemraff Lysekil 2005).
Yearly discharge from Preemraff Lysekil to Brofjorden (from Preemraff Lysekil 2005).

Ämne/Ämnesgrupp	Utsläpp 1990 ton/år	Utsläpp 1995 ton/år	Utsläpp 2000 ton/år
COD	384	171	192
Suspenderande ämnen	53	53	29
Aromater	<2	<2	0,8
Totalfosfor	2,8	2,4	0,66
Totalkväve	66	25	10
Kolväten (extraherbara)	10	5,1	4,1
Sulfider	<2	<2	2,8
Fenoler	0,2	0,2	0,36
Cyanider	0,1	0,032	0,028
Arsenik	-	-	0,015
Kadmium	0,04	-	0,0025
Koppar	-	<0,016	0,0066
Krom	-	0,005	0,004
Kvicksilver	0,0001	-	0,0003
Bly	0,095	<0,069	0,067
Nickel	0,205	<0,069	0,017
Vanadin	0,14	<0,35	0,043
Zink	-	0,14	0,045

5.4 Metoder

Kartan i figur 5:2 utvisar samtliga stationer som ingått i 2000 års sediment-undersökningar av Brofjorden. Stationerna har tidigare provtagits vid 1972 års basundersökning (Cato 1977), 1984, 1989 och 1995 års kontrollprogram (Cato m.fl. 1986, Cato 1990, 1997). Recipientkontrollprogrammet för Preemraff Lysekils omgivningskontroll omfattar 7 stationer 2000. Till dessa stationer har i föreliggande utvärdering också fo-

gats station 324 som numera ingår i Bohuskustens vattenvårdsförbunds kustvattenkontroll (se del 2, denna samlingsvolym).

Till skillnad från de tre tidigare sedimentundersökningarna, där stationerna lokaliserades med hjälp av enslinjer, lokaliserades stationerna vid undersökningarna år 2000 med hjälp av DGPS (Differential Global Positioning System) baserat på DGPS-data insamlade 1995. Dessa uppgifter redovisas i tabell 5:3 jämte vattendjupsuppgifter baserade på ekolodsdata från respektive undersökningsår.

En jämförelse av vattendjupen mellan provtagningsåren på respektive station ger en anvisning om hur väl man lyckats lokalisera de gamla stationerna. Med undantag för station 316 visar resultatet på en god till mycket god överensstämmelse i vattendjup. Vid undersökningarna år 2000 flyttades station S150 ca 30 meter till en lämpligare plats i Hamreviken.

Tabell 5:3. Provtagningsstationer i 2000 års sedimentundersökningsprogram inom ramen för Preemraff Lysekils recipientkontroll i Brofjorden. DGPS-positioner i WGS 84. Motsvarande stationsnummer och vattendjup redovisas från tidigare års undersökningar.

Sampling sites of the sedimentological investigations in 2000 within the framework of the Preemraff Lysekil recipient monitoring program of the Brofjorden. DGPS-positions are given in WGS 84. The corresponding site numbers and water depth of previous investigations are also presented.

Stationsnummer 1995	Latitud N	Longitud E	Vattendjup (m) 2000	Vattendjup (m) 1995	Vattendjup (m) 1989	Vattendjup (m) 1984	Vattendjup (m) 1972
S111	58°20,678'	11°23,824'	27	27	n.s.	26	-
S112	58°20,564'	11°24,065'	46	46	48	48	-
S119	58°22,585'	11°26,146'	14	14	n.s.	14	-
S129	58°19,985'	11°22,827'	29	29	29	29	-
S139	58°20,992'	11°26,703'	10	10	8	8	-
S150	58°21,123'	11°25,160'	4	2	2	2	-
316	58°18,912'	11°21,215'	37	37	n.s.	37	31
324	58°21,925'	11°26,797'	8	8	8	8	8

n.s. = Stationen studerades inte 1989. The site not studied in 1989.
- = Data saknas. Data missed.

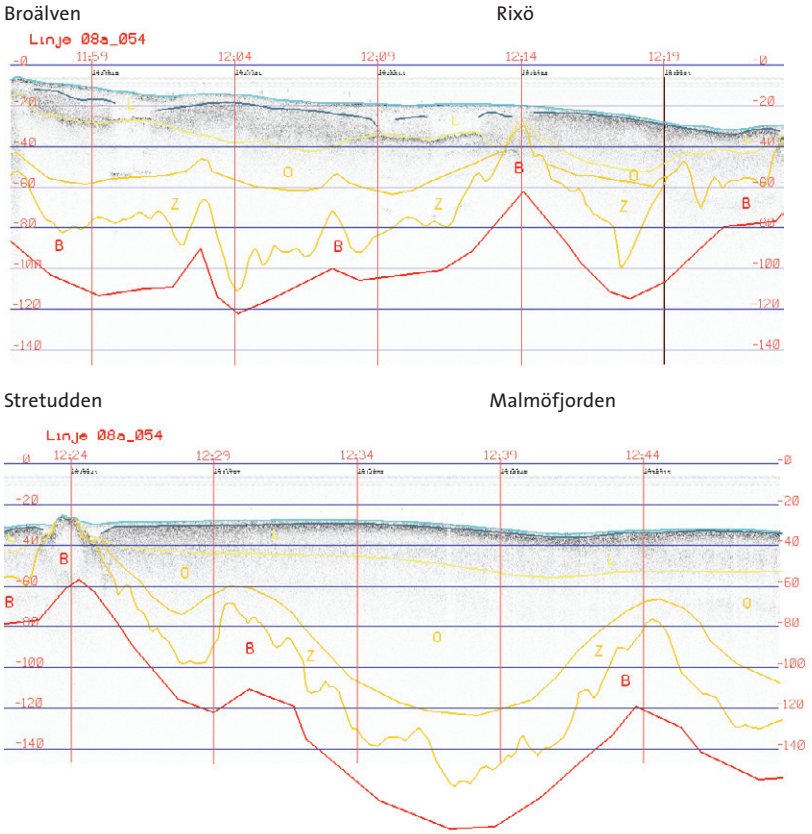
Genom att 2000 års provtagningar kunde genomföras av SGU och från SGUs specialutrustade undersökningsfartyg S/V Ocean Surveyor har således stationernas lämplighet för miljöövervakning varit möjliga att undersöka och värdera med hjälp av hydroakustiska metoder och röntgenteknik. Vid behov har, som framgått av ovan, stationernas läge justerats till en mer lämplig sedimentationsbotten. I figurerna 5:3–5:11 redovisas de side-scan sonarmätningar som utförts på samtliga stationer utom på stationerna D7 och E2 där enbart sedimentekolodsprofilen redovisas. Mätningarna har utförts i samband med den maringeologiska kartläggning som SGU bedrivit mellan Göteborg och Kungshamn 1999–2000.

Side-scan sonarmätningarna genomfördes i syfte att dokumentera utbredningen i bottenytan av olika sedimenttyper, uppstickande berggrund samt eventuell förekomst av föremål (t.ex. rörledningar och kablar). För mätningarna nyttjades en side-scan sonar av Chirp-typ, Datasonics SIS 1000 med TritonElics-ISISA lagrings/processeringssystem. Insamlade rådata har lagrats digitalt i format SEG-Y. Sonarbilderna har slantrangekorrigerats och geo-rektifierats till sonarbilder i geo-tif-format med pixelstorlek motsvarande 1 × 1 meter i verkligheten.

För information om de övre sedimentlagren användes också ett skrovfast sedimentekolod av typ Edo Western HiPac (3,5/7 kHz) och för information om de djupare ned liggande sedimentlagren användes en tryckluftsdriven ljudsändare av typ ”sleevgun” (10 kubiktum) som producerar en kraftig och förhållandevis lågfrekvent puls. Som mottagare nyttjades en 6-kanals linjehydrofon (Teledyne) kopplad till en TritonElics-Delph Seismic registrerings/processeringsenhet. Rådata lagrades digitalt i formatet SEG-Y. I figurerna 4:4, 4:6 och 4:8 visas exempel på denna metodik.

Sedimentekolodsprofilerna (se exempel fig. 5:3) visar att beggrunden överlagras av två typer av glaciallera (markerad med Z och O) som i sin tur överlagras av postglacial lera (markerad med L). Den recenta (nutida avsatta) leran återfinns inom vissa avsnitt av den postglaciala leran (t.ex. vid provtagningsplatserna) där bottenytan är jämnt grå i side scan sonarbilderna. Exempel på detta redovisas i figurerna 5:4–5:6. I figurerna, som visar en akustisk avbildning av bottenytan (liknande en flygbild), framträder uppstickande berggrund, morän, sand och glacialler som mörkare partier. Kraftiga lutningar, t.ex. utmed land ger också en kraftig reflektion som bidrar till en mörkare grå färgton.

Baserat på en preliminär genomgång av de hydroakustiska mätresultaten har sedan de mest lämpliga provtagningspunkterna lokaliserats; i detta fall sedimentationsbottnar. Provtagningen föregicks av en videokamerabesiktning av bottenytan. Detta med syfte att klarlägga att bottenytan inte var störd från fysisk påverankan (t.ex. omrörd genom ankring, fiske m.m.).



• = bottenyta
• = postglacial lera (L, ljusgul)
• = glaciallera (Z, O mörkt gul)
B = kristallint berg

• = bottom surface
• = postglacial clay (L, light yellow)
• = glacial clay (Z,O dark yellow)
B = crystalline bedrock

Fig 5:3. Sedimentekolodsprofiler utvisande mäktigheten hos olika sedimentlager från Broälvens mynning i innersta Brofjorden till området (Malmöfjorden) utanför Brofjordens mynning. För förklaring se legend samt fig 5:2.

Subbottomprofiler image showing the thickness of various sedimentlayers from the mouth of the Broälven, in the inner part of the Brofjorden, to the area (Malmöfjorden) outside the entrance tothe Brofjorden. For explanation, see legend and Fig. 5:2.

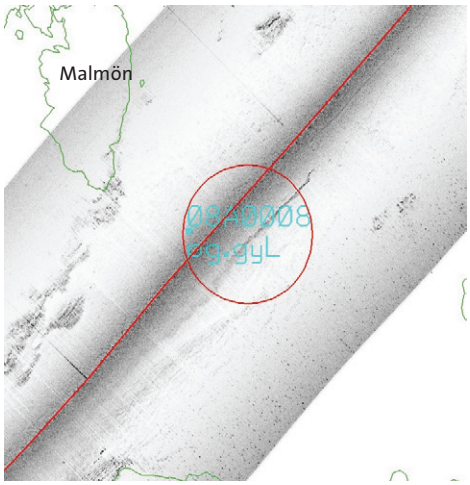


Fig. 5:4. Side scan sonarbild utvisande bottenytan vid station S129 (prov nr 08a-0008) i Malmöfjorden. Grön linje markerar strandlinje, blå fylld fyrkant inom röd ring markerar provtagningsplatsen och röd linje markerar undersökningsfartygets mätlinje.

Side scan-sonar image showing the bottom surface at site S129 in the Malmöfjord. Green line marks shoreline, blue filled square within red circle marks the sampling site and red line marks the runline of the survey vessel.

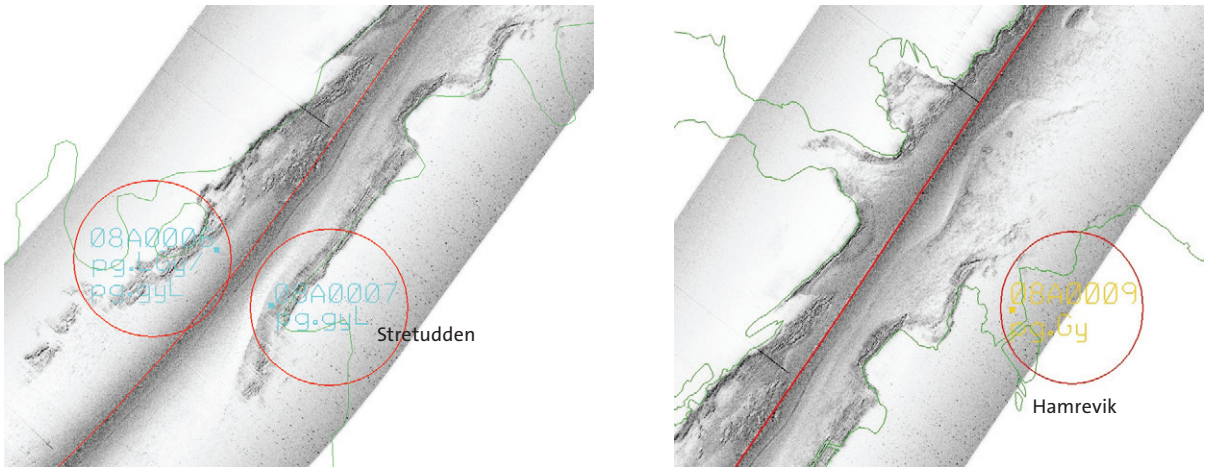


Fig. 5:5. Side scan sonarbilder utvisande (t.v.) bottenytan vid stationerna S111 (prov nr 08a-0006) och S112 (prov nr 08a-0007) vid Stretudden och t.h. station S150 (prov nr 08a-0009) i Hamrevik. Grön linje markerar strandlinje, blå alternativt gul fylld fyrkant inom röd ring markerar provtagningsplatsen och röd linje markerar undersökningsfartygets mätlinje.

Side scan-sonar images showing (left) the bottom surface at sites S111 and S112 outside Stretudden cap and site S150 in the Hamrevik (right). Green line marks shoreline, blue or yellow filled square within red circle marks the sampling site and red line marks the runline of the survey vessel.

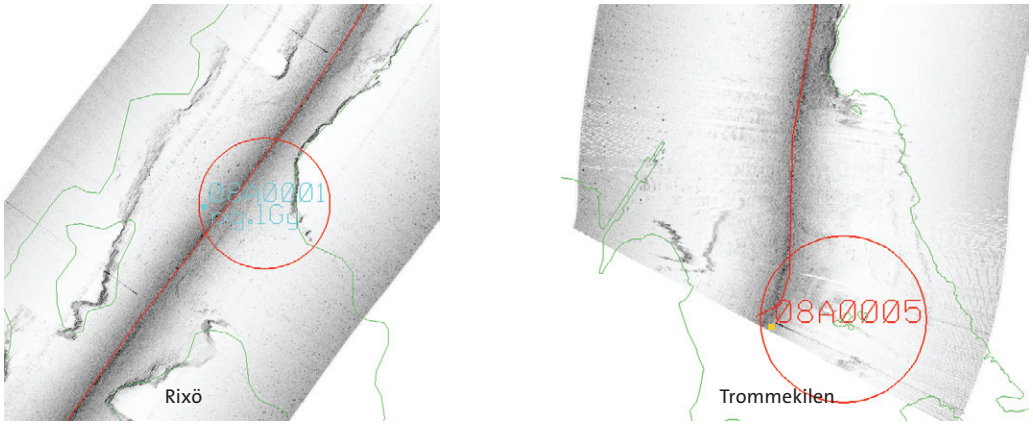


Fig. 5:6. Side scan sonarbilder utvisande (t.v.) bottenytan vid station S119 (prov nr 08a-0001) innanför Rixö och t.h. station S139 (prov nr 08a-0005) vid Trommekilen. Grön linje markerar strandlinje, blå alternativt gul fylld fyrkant inom röd ring markerar provtagningsplatsen och röd linje markerar undersökningsfartygets mätlinje.

Side scan-sonar images showing (left) the bottom surface at site S119 inside Rixö island and site S150 in the Trommekilen Bay (right). Green line marks shoreline, blue or yellow filled square within red circle marks the sampling site and red line marks the runline of the survey vessel.

PROVTAGNING OCH RÖNTGENANALYS

2000 års sedimentprover insamlades, i likhet med 1995 års undersökningar, med hjälp av en box-corer (Jonasson & Olausson 1966) och sedimentkärnor med hjälp av en Gemini-corer av typ Niemistö corer (Niemistö 1974). Ytproverna (0–1 cm) nyttjades för kemiska analyser medan sedimentkärna 324 snittade i 1-cm skivor ned till 30 cm djup för isotopanalyser och bestämning av sedimentationshastighet (se vidare del 2, denna volym). Provtagningarna genomfördes från SGUs undersökningsfaryg S/V Ocean Surveyor och samordnades med SGUs egna undersökningar utmed Bohuskusten och Skagerrak under perioden 12 augusti till 20 september 2000. Provet i Hamreviken togs med en mindre arbetsbåt.

För att klarlägga sedimentkärnornas slutliga lämplighet för vidare analys (dvs. att sedimentkärnorna inte är omrörda genom t.ex. stark bioturbation, störda vid provtagningen eller störda på annat sätt) skannades och dokumenterades dessa med digital röntgenteknik (Sedimentscanner, se Cato m.fl. 2000). Skanningen genomfördes med en steglängd om 100 µm och exponeringstid av 100 ms hos linjekameran samt vid en tubspänning och tubström av 60 kV respektive 18 mA. I figur 5:7 redovisas ett exempel på en radiografisk

bild från station 324. I undre delen av sedimentkärnan återfinns en bit fartygsskorstensslagg (stor svart graf). Av röntgenbilden framgår bl.a. att sedimentet är laminerat och fritt från bioturbation till följd av reducerade bottenförhållanden.

På samtliga stationer togs fyra sedimentkärnor och ett box-coreprov. Med hjälp av en särskild snittningsapparat, där kärnorna hålls vertikalt, togs prov ut från sedimentytan (0–1 cm). Samma skikt togs också ut från box-corern. Sedimentkärnornas ytprover från en och samma station sammanfördes, homogeniserades och överfördes till plastburkar för oorganiska analyser. Box-coreproverna överfördes till glasburkar för organiska analyser. Samtliga prover frystes i väntan på vidare analys.

5.5 Analyser

Sedimentproverna analyserades med avseende på ett flertal parametrar, grundämnen och organiska substanser (se tabell 5:4). Av tabellen framgår också vilka ämnen och substanser som analyserats tidigare. Analysprogrammet har utökats under åren, men vissa ämnesgrupper har utgått ur programmet till följd av att man inte kunnat detektera dem eller funnit dem vara av mindre värde.

En viktig komponent i analysprogrammet har varit att med hjälp av kornstorleksanalyser, sedimentens vattenhalt, innehåll av organiskt material, samt genom optisk besiktning av sedimentprovet (sedimentbeskrivning) och röntgenteknik (Cato m.fl. 2000) söka klarlägga de bottendynamiska förhållandena på platsen för varje station. En övervakningsstation för sedimentkontroll skall för att vara effektiv vara förlagd till en depositionsbotten, dvs. en botten med kontinuerlig deposition av finsediment (<63 µm). Ju högre sedimentationshastighet ju lämpligare botten för miljöövervakning. Sedimentationshastigheten studerades på station 324 (se del 2, denna volym).

De frusna proverna avsedda för fysikaliska analyser och analyser av metaller frystorkades först. Övriga prov gick direkt till analys. Alocontrol har samordnat analysarbetet. Följande laboratorier har medverkat: MikroKemi i Uppsala (kol och kväve), Alcontrol i Linköping (övriga kemiska analyser), Statens geotekniska institut (SGI) i Linköping (kornstorleksanalyser) och Jubileumsinstitutionen, avdelningen för Radiofysik, Lunds universitet (^{210}Po-analyser). Använd analysmetodik finns beskriven i Alcontrol (2004).

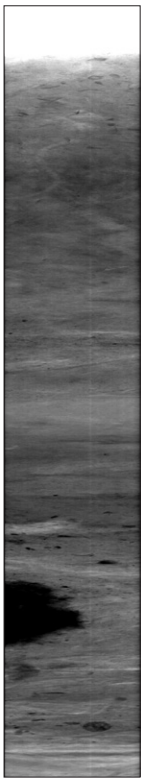


Fig. 5:7. Exempel på radiografiska bilder (skala 1:4) av sedimentkärna 324 från Brofjorden. Ovanför sedimentytan syns några centimeter bottenvatten. Kärnlängd 38 cm.

Examples of radiographic images (scale 1:4) of sediment cores from the Brofjorden. Above the sediment surface a few centimetres of bottom water are seen. Core length 38 cm.

Tabell 5:4. Analyserade miljögifter och parametrar i sedimentprov från Brofjordensområdet 1972–2000. Asterisk (*) markerar vad som analyserats respektive år.

Analysed pollutants and parameters in sediment samples from the area of Brofjorden in 1972–2000. Asterisk marks type of analyses carried out respective year.

Ämnesgrupper analyserade i sediment	1972	1977	1984	1989	1995	2000
Totalkolväten			*	*	*	*
Polycykl aromat kolväten (PAH)			*	*	*	*
Bicykl aromat. kolväten (NPD)					*	*
Metylnaftalener						*
Extraherbart organiskt bundet klor (EOCl /EPOCl)					*	
Pentaklorbensen (Pe-CB)					*	
Hexaklorbensen (HCB)					*	
Oktaklorstyren (Okt-CB)					*	
Polyklorerade bifenyler (PCB)					*	*
Total PCB						*
Plana PCB						*
Bromerade difenyletrar (PBDE)						*
Monoaromater (BTEX)						*
Alifatiska halogenföreningar (haloformer)						*
Ftalater						*
Totalkol (TC)				*	*	*
Oorganiskt kol (OOC)				*	*	*
Organiskt kol (TOC)	*	*	*	*	*	*
Totalväve (Tot-N)	*		*	*	*	*
Totalfosfor (Tot-P)	*					*
Svavel (S)					*	
Metaller	*	*	*	*	*	*
Kornstorlek	*		*	*	*	*
Vattenhalt	*	*	*	*	*	*
Röntgenanalys med sedimentskanner						*
Sedimentationshastighet						*

5.6 Resultat

I tabell 4 redovisas stationsvis analysresultaten för 2000 års undersökningar vad avser ytsedimentens kornstorleksfördelning (fraktionen <63 µm), vattenhalt, innehåll av totalkol, oorganiskt kol, totalt organiskt kol, totalkväve och kol-kvävekvoten (C/N) i Brofjorden. Motsvarande data för år 1972 (Cato 1977), 1977 (Göthberg & Johansson 1981), 1984 (Cato m.fl. 1986), 1989 (Cato 1990) och 1995 (Cato 1997) års undersökningar redovisas också i den mån de analyserats tidigare. Från tidigare undersökningar har i tabell 4 enbart data från de stationer som undersökts 2000 medtagits. De statistiska beräkningarna för respektive år (1972, 1984, 1989 och 1995) baseras således på 7 stationer inom Preemraff Lysekils kontrollprogram plus en station från Bohuskustens vattenvårdsföbunds övervakningsprogram. Denna begränsning har gjorts i syfte att skapa bästa möjliga jämförbarhet mellan åren. Detta innebär att statistiska uppgifter beräknade och presenterade i rapporten över 1995 års undersökningar (Cato 1997) inte nödvändigtvis överensstämmer med motsvarande siffror denna rapport till följd av skillnader i antalet stationer som ingått i beräkningarna.

5.6.1 KORNSTORLEK SAMT FÖRÄNDRINGAR EFTER 1972

Analysresultaten från 2000 års sedimentundersökningar avseende sedimentens kornstorleksfördelning (fraktionerna <63 µm och <2 µm) i ytsedimenten redovisas i tabell 5:5 tillsammans med motsvarande data från 1972–1995 års undersökningar. Vid 1995 års undersökningar bestämdes enbart fraktionen <63 µm, dvs. viktsandelen ler och silt. Den areella fördelning av 2000 års data illustreras i figur 5:8.

Fraktionen <63 µm i ytsedimenten varierar mellan 74 och 85 vikts-% med ett medelvärde och medianvärde av 80 respektive 82 vikts-% (tabell 5:6). Med undantag för station S111 och S112, utgör andelen ler och silt mer än 80 vikts-% av ytsedimentprovens vikt (fig. 5:9). Detta indikerar att stationerna representerar utpräglade depositionsmiljöer. Stationerna S111 och S112 däremot representerar en bottenmiljö med något mindre utpräglade depositionsförhållanden. I det följande kommer vi att se att detta förhållande påverkar koncentrationerna för olika ämnen och substanser i sedimentet på dessa två stationer.

Fraktionen <2 µm (lerfraktionen) varierar mellan 10 och 25 vikts-%, vilket är betydligt lägre än tidigare mätning 1972 (tabell 5:6).

I medeltal är, med avseende på fraktionen <63µm, förändringarna måttliga mellan de fem undersökningsåren (fig. 5:10 och tabell 5:6). Medelvärdet och medianvärdet varierar mellan åren inom ett intervall av 15 respektive 21 vikts-%. Om man bortser från 1984 års värden blir variationen endast 6 respektive 9 vikts-%.

Tabell 5:5. Kornstorleksfraktionen <63 µm, vattenhalt, totalkol (TC), oorganiskt kol (OOC), totalt organiskt kol (TOC), totalkväve (TN) och kol-kvävekvoten (C/N) i ytsedimenten i Brofjorden 1972–2000. Data finns inte (-) från alla år.

The grain-size fraction <63 µm, water content, total carbon (TC), inorganic carbon (OOC), total organic carbon (TOC), total nitrogen (TN) and carbon-nitrogen ratio (C/N) in the surficial sediments of the Brofjorden in 1972–2000. Data are lacking (-) for some years.

Station	År	Silt +ler vikts-%	Ler vikts-%	Vattenhalt %	TC g/kg	OOC g/kg	TOC g/kg	TN g/kg	C/N	TP g/kg
S111	1972	92,5	48	70,5	-	-	33,1	3,3	10	0,95
	1977	-	-	67,7	-	-	-	3,2		-
	1984	47	-	69,5	-	-	30,2	3,3	9,1	-
	1989	-	-	-	-	-	-		-	-
	1995	87,8	-	71,9	38,5	12,3	26,2	3,8	6,9	-
	2000	75	22	71,7	38	8	30	3,8	8,3	1,6
S112	1972	89	47	71,6	-	-	31,6	3,1	10,2	0,99
	1977	-	-	71,3	-	-	-	3,0		-
	1984	65	42	67,2	-	-	25,3	2,7	9,4	-
	1989	86	41	70,3	36,3	6,8	29,5	3,2	9,3	-
	1995	54,9	-	64,4	28,7	10,1	18,6	2,6	7,2	-
	2000	74	25	79,1	42	9	33	2,6	7,3	1,5
S119	1972	91	49	71,1	-	-	39,6	3,5	11,3	0,94
	1977	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	1984	88	-	68,3	-	-	40,5	3,6	11,0	-
	1989	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	1995	92,3	-	69,7	37,8	5,6	32,2	4	8,1	-
	2000	82	23	78,7	38	2	36	4	8,6	1,3
S129	1972	93	52	70,0	-	-	31,5	3,9	8,1	1,0
	1977	-	-	69,0	-	-	-	3,3	-	-
	1984	84	47	68,3	-	-	31,3	3,5	8,9	-
	1989	100	59	69,0	37,3	9,1	28,2	3,4	8,3	-
	1995	98,3	-	73,9	39,6	12,8	26,8	3,8	7,1	-
	2000	80	24	73,9	39	10	29	3,8	8,3	1,4
S139	1972	83	59	80,0	-	-	67,6	5,7	11,8	-
	1977	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	1984	73	47	77,9	-	-	42,2	4,7	8,9	-
	1989	96	58	79,2	55,5	1,7	53,8	6,2	8,7	-
	1995	95,1	-	83,9	59	6,3	52,7	7,5	7,0	-
	2000	85	17	80,1	49	1	48	5,5	8,7	1,7
S150	1972	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	1977	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	1984	69	43	84,7	-	-	61,0	8,4	7,2	-
	1989	70	20	66,8	41,4	0	41,4	4,2	9,9	-
	1995	71,1	-	72,6	35,1	1,8	33,3	3,6	9,3	-
	2000	83	10	76,8	57	5	52	5,7	9,1	1,5
316	1972	62	34	70,6	-	-	25,6	2,3	11,1	0,73
	1977	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	1984	83	-	69,4	-	-	27,1	3,0	8,9	-
	1989	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	1995	98,1	-	63,1	36,8	13,6	23,2	3,3	7,0	-
	2000	81	21	70,3	36	11	25	3,1	8,1	1,5
324	1972	79	55	81,0	-	-	65,2	5,6	11,6	1,0
	1977	-	-	83,5	-	-	65,6	5,9	-	-
	1984	63	39	79,3	-	-	45,7	4,6	10,2	-
	1989	80	19	76,8	51,8	1,2	50,6	5,5	9,2	-
	1995	93,2	-	84,9	59,6	5,6	54	7,7	7,0	-
	2000	82	13	82	50	1	49	5,2	9,4	1,4

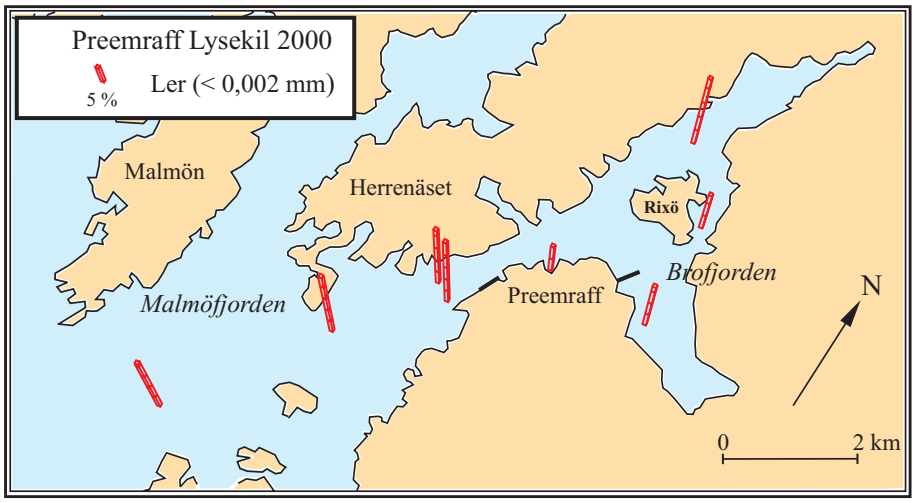


Fig. 5:8. Fördelningen av kornstorleksfraktionen <63 µm (vikts-%) i Brofjordens ytsediment (0–1 cm) 2000.
The distribution of the grain-size fraction <63 µm (weight-%) in 2000 in the surficial sediments (0–1 cm) of the Brofjorden.

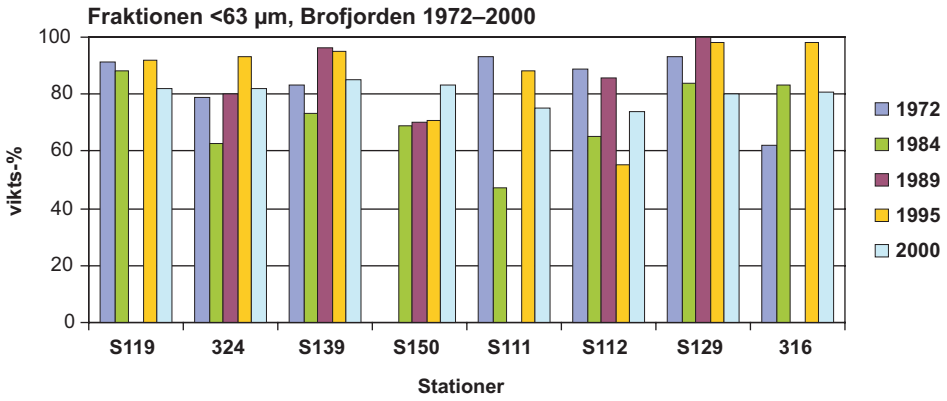


Fig. 5:9. Kornstorleksfraktionen <63 µm (vikts-%) i Brofjordens ytsediment (0–1 cm) 1972–2000.
The grain-size fraction <63 µm (weight-%) in the surficial sediments (0–1 cm) of the Brofjorden in 1972–2000.

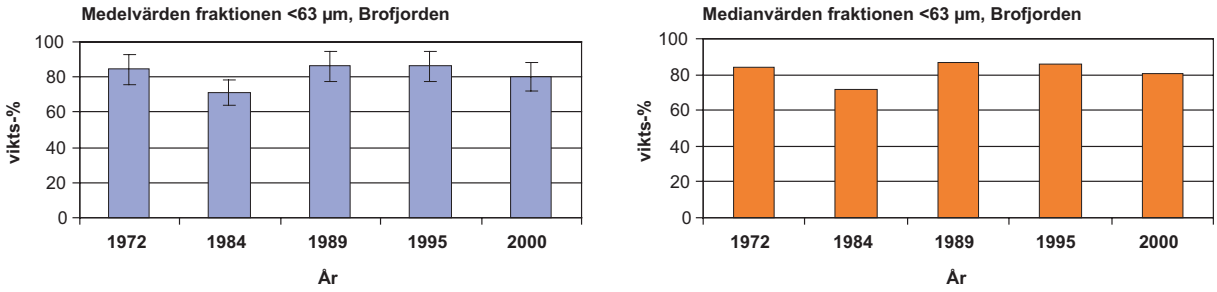


Fig. 5:10. Medelvärden (t.v.) och medianvärden (t.h.) för kornstorleksfraktionen <63 µm (vikts-%) i Brofjordens ytsediment 1972–2000.
Mean (left) and median (right) values of the grain-size fraction <63 µm (weight-%) between 1972 and 2000 in the surficial sediments of the Brofjorden.

Tabell 5:6. Spridning, medelvärden och medianvärden för några parametrar och ämnen i Brofjordens ytsediment 1972–2000. - = Ej analyserat.

Range, means and medians of some parameters and substances in the surficial sediments of the Brofjorden in 1972–2000. - =Not analysed.

Parameter/Ämne	Enhet	År	n	Intervall	Medelvärde MV	Medianvärde MD	Standardavvikelse s
Ler	vikts-%	1972	7	34–59	49	49	7,9
		1984	5	39–47	44	43	3,4
		1989	5	19–59	39	41	20
		1995	8	–	–	–	–
		2000	8	10–25	19	22	5,5
Ler + silt	vikts-%	1972	7	62–93	84	89	11
		1984	8	47–88	72	71	13
		1989	5	70–100	86	86	12
		1995	8	55–98	86	93	15
		2000	8	74–85	80	82	3,8
Vattenhalt	%	1972	6	70–80	72	71	3,8
		1984	7	67,2–84,7	72,2	69,4	6,6
		1989	4	66,8–80,3	73,8	74,1	6,9
		1995	7	63,1–83,9	71,4	71,9	6,9
		2000	8	70,3–82,0	76,6	77,8	4,2
Totalkol	g/kg	1972	7	–	–	–	–
		1984	8	–	–	–	–
		1989	5	33,4–55,5	44,5	41,4	8,7
		1995	8	28,7–59,6	41,9	38,2	11
		2000	8	36–57	43,6	40,5	7,5
Oorganiskt kol	g/kg	1972	7	–	–	–	–
		1984	8	–	–	–	–
		1989	5	0–9,1	3,8	1,7	3,9
		1995	8	1,8–13,6	8,5	8,2	4,3
		2000	8	1–11	5,9	6,5	4,2
Organiskt kol	g/kg	1972	7	25,6–67,6	42	33,1	17,1
		1984	8	25,3–61,0	37,9	35,9	11,9
		1989	5	28,2–53,8	40,7	41,4	11,7
		1995	8	18,6–54,0	33,4	29,5	13,2
		2000	8	25–52	37,8	34,5	10,4
Totalkväve	g/kg	1972	7	2,3–5,7	3,9	3,5	1,3
		1984	8	2,7–8,4	4,2	3,6	1,8
		1989	5	3,2–6,2	4,5	4,2	1,3
		1995	8	2,6–7,7	4,5	3,8	1,9
		2000	8	3,1–5,7	4,4	4,4	0,98
C/N	-	1972	7	8,1–11,8	10,6	11,1	1,3
		1984	8	7,2–11	9,2	9	1,1
		1989	5	8,3–9,9	9,1	9,2	0,61
		1995	8	6,9–9,3	7,5	7,1	0,84
		2000	8	7,3–9,4	8,5	8,5	0,64
Tot-P	g/kg	1972	5	0,73–1,0	0,94	0,99	0,12
		2000	8	1,3–1,7	1,5	1,5	0,12

Undersökningarna 1989 visade att andelen ler (partiklar <2 µm) i sedimenten inom inseglingsområdena till råolje- och produkthamnen var 13 % respektive 14 % lägre än 1972, samtidigt som andelen ler var 7 % högre i regionen utanför dessa inseglingsområden, dvs. i fjordens mot vind och vågor skyddade delar. Andelen ler hade också minskat kraftigt i sedimenten utanför utskeppningskajen vid Rixö stenbrott och utanför Preemraff Lysekils spillvattenutsläpp i Hamrevik (Cato 1990).

Vid 1984 års undersökningar konstaterades motsvarande förändringar i nämnda områden (Cato m.fl. 1986). Förändringarna mellan 1984 och 1989 var dock mindre än mellan 1972 och 1984. Vid båda undersök-

ningarna konstaterades att andelen silt ökade samtidigt som andelen ler minskade i sedimenten i inseglingsområdena medan förhållandena var de omvända utanför dessa områden, dvs. förskjutningarna i kornstorlek ägde i huvudsak rum inom fraktionen <63 µm. Denna förskjutning har fortsatt mellan 1989 och 2000 (fig. 5:11). Andelen ler har i ytsedimenten i genomsnitt minskat med 60 % mellan 1972 och 2000 (fig. 5:12).

I rapportrarna från 1984 respektive 1989 års undersökningar (Cato m.fl. 1986, Cato 1990) konstaterades att någon i miljön naturlig förklaring till kornstorleksförändringen mellan 1972, 1984 och 1989 i området inte stod att finna, eftersom vind-, våg- och strömförhållandena i fjorden 1984 och 1989 knappast hade förändrats sedan 1972. Orsakerna hänfördes till fartygstrafiken i området. 2000 års undersökning pekar tydligt i samma riktning (fig. 5:13). Korrelationskoefficienten (r^2) för det starkt negativa sambandet mellan antalet anlöpta fartyg till Brofjorden och minskningen av andelen ler (<0,002 mm) i ytsedimenten mellan 1972 och 2003 är 0,73.

Vid basundersökningen 1972 och tiden före etableringen av raffinaderiet 1975 förekom praktiskt taget ingen fartygstrafik i området. Endast enstaka små fiskebåtar och lastskutor torde ha gått in i Brofjorden. Men för tiden därefter har en radikal förändring ägt rum, vilket kunde konstateras vid 1984 och 1989 års undersökningar (Cato m.fl. 1986, Cato 1990). Från 1975 och fram till 2003 har antalet anlöpta fartyg stigit från i stort set inga fartyg alls per år till ca 1 720 fartyg per år (summan av antalet anlöp till råoljehamnen och produkthamnen enligt fartygsstatistiska uppgifter från Preemraff Lysekil). Räknar man antalet fartygspassager förbi Stretudden blir siffran den dubbla eftersom varje fartyg också lämnar fjorden efter att ha lastat respektive lossat olja eller oljeprodukter. Totala antalet passager blir för perioden 1976 till 2003 drygt 71 000.

Några statistiska uppgifter om fartygens bruttotonage (brt) har inte gått att ta fram. Däremot finns sådan statistik för fartyg anlöpta till hela Lysekilsregionen. Huvuddelen av fartygen över 20 000 brt torde gälla fartyg anlöpta Brofjorden. För dessa är medelstorleken under perioden 1977 till 1984 90 000 brt. Motsvarande medelstorlek för fartyg över 10 000 brt vilka anlöpt området är 35 000 brt.

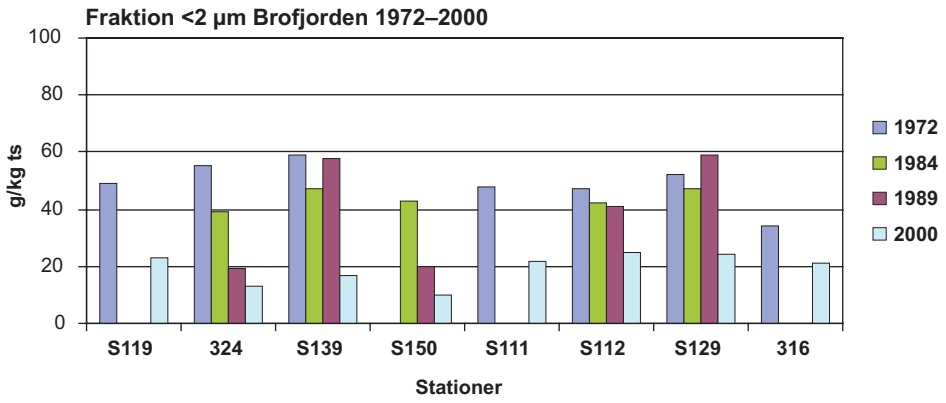


Fig. 5:11. Kornstorleksfraktionen <2 µm (vikts-%) i Brofjordens ytsediment (0–1 cm) 1972–2000.
The grain-size fraction <2 µm (vikts-%) in the surficial sediments (0–1 cm) of the Brofjord in 1972–2000.

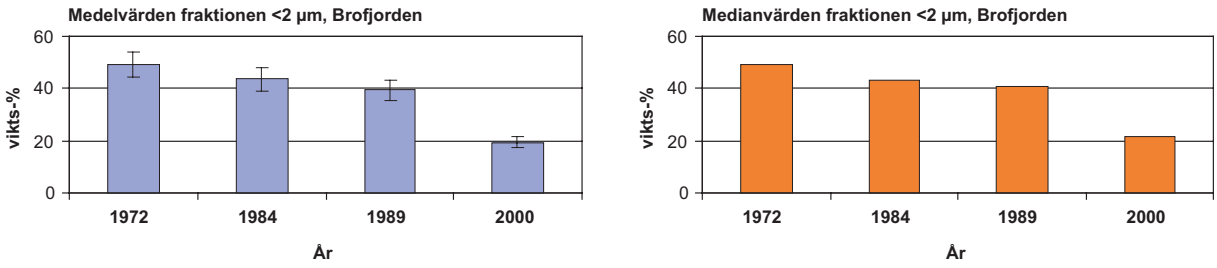


Fig. 5:12. Medelvärden (t.v.) och medianvärden (t.h.) för kornstorleksfraktionen <2 µm (vikts-%) i Brofjordens ytsediment 1972–2000.
Mean (left) and median (right) values of the grain-size fraction 2 µm (weight-%) between 1972 and 2000 in the surficial sediments of the Brofjorden.

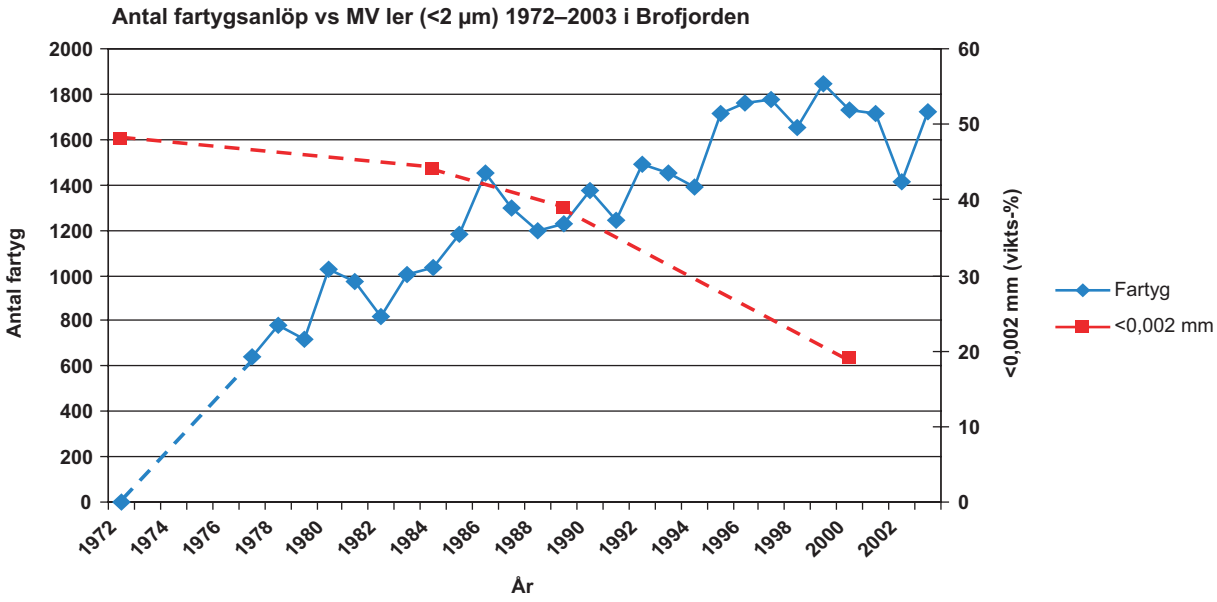


Fig. 5:13. Antalet anlöpta fartyg till Brofjorden och medelvärdet för kornstorleksfraktionen <2 µm (vikts-%) i Brofjordens ytsediment 1972–2000.

Number of ships called to Brofjorden and the mean values of the grain-size fraction 2 µm (weight-% x 10) between 1972 and 2000 in the surficial sediments of the Brofjorden.

Fartyg av denna storlek med motsvarande stora motorer, stora propellrar och stort djupgående, orsakar en kraftig omröring av vattenmassan. Detta tillsammans med den stora tryckvåg som dessa fartyg åstadkommer vid gång torde leda till en kraftig resuspendering av bottensedimenten i inseglingsområdet till raffinaderiets råoljehamn respektive produkthamn i Brofjorden. Effekten blir störst i den grundare delen av inseglingsområdena och vid råoljehamnen där de s.k. supertankerna lägger till, vilket klart framgick av förändringarna i sedimentens kornstorlekssammansättning mellan 1972 och 1989 (Cato 1990). I oljehamnens inseglingsområde skedde de största förändringarna med sjunkande lerhalt och stigande sandinnehåll i sedimenten mellan 1972 och 1984. Mellan 1984 och 1989 var förändringarna mindre och i motsatt riktning sannolikt till följd av att antalet fartyg som anlöpt oljehamnen minskat med närmare 30 % efter 1983. I produkthamnen däremot har antalet anlöpta fartyg ökat per år sedan 1984, vilket anses ha bidragit till att lerhalten i medeltal sjönk ytterligare fram till 1989 inom produkthamnsområdet.

De större och tyngre partiklarna av de genom fartygen resuspenderade sedimenten; dvs. silt och sand, återsedimenterar relativt snabbt medan de finkorniga och lätta materialen, som ler och finsilt, har en längre uppehållstid i vattenmassan. Detta innebär att strömmar och vågor får möjlighet att transportera bort det finaste materialet, vilket därmed kommer att sedimentera i mot vind och vågor skyddade områden, men en stor del förs troligen också ut i Malmöfjorden, dvs. utanför den egentliga Brofjorden. I Hamreviken hänger förmodligen förändringen samman med spillvattenutsläppet från reningsverket (ca 11 milj. m^3/ år) och den ökade strömsättning som detta medför i viken med minskade möjligheter för lerpartiklar att sedimentera.

Sedimentens klassificering bygger på en kombination av kornstorleksfördelning och organisk halt. Resultaten redovisas i tabell 5:7. Vid klassificeringarna före 1989 baserade sig resultaten på lerhalten i sedimenten (svensk standard), medan 1995 års undersökningar baseras på ler- och silthalten sammantaget, dvs. fraktionen <63 µm. För att skapa bästa möjliga jämförbarhet mellan åren har tidigare års sedimentdata klassats om och då på samma sätt som 1995 och 2000 års sediment klassats.

Sedimenttypen på respektive station varierar i vissa fall mellan de olika undersökningsåren. Detta beror på ovan omtalade förändringar i kornstorleksfördelning.

Tabell 5:7. Sedimentklassificering med avseende på kornstorleksfördelning och organisk halt.
Classification of the sediments based on grain size distribution and organic matter content.

Station	År	Sedimenttyp
S111	1972	gyttjig siltig lera
	1984	gyttjig lerig sand
	1989	-
	1995	siltig lera
	2000	sandig siltig lera
S112	1972	gyttjig siltig lera
	1984	gyttjig sandig siltig lera
	1989	gyttjig lerig silt
	1995	siltig lera
	2000	sandig siltig lera
S119	1972	siltig lera
	1984	siltig lera
	1989	-
	1995	siltig lera
	2000	Siltig lera
S129	1972	gyttjig siltig lera
	1984	gyttjig siltig lera
	1989	gyttjig siltig lera
	1995	lera
	2000	siltig lera
S139	1972	siltig lergyttja
	1984	sandig siltig lergyttja
	1989	siltig lergyttja
	1995	siltig lera
	2000	siltig lera
S150	1972	-
	1984	sandig siltig lergyttja
	1989	sandig siltig lergyttja
	1995	sandig silt
	2000	gyttjig silt
316	1972	sandig siltig lera
	1984	siltig lera
	1989	-
	1995	siltig lera
	2000	siltig lera
324	1972	sandig siltig lergyttja
	1984	sandig siltig lergyttja
	1989	sandig siltig lergyttja
	1995	sandig siltig lera
	2000	gyttjig siltig lera

- = ej undersökt 1989

5.6.2 SEDIMENTENS FÄRG OCH GRAD AV BIOTURBERING

Sedimenten från 2000 års provtagningar finns översiktligt beskrivna i tabell 5:8 och 5:9. Motsvarande data för 1972, 1984 och 1995 års undersökningar återfinns närmare beskrivet i Cato (1977), Cato m.fl. (1986) respektive Helland m.fl. (1996). Sedimentbeskrivningarna bygger på en optisk analys av de översta ca 40 cm av bottensedimenten.

De klastiska sedimenten är på samtliga stationer utom på en station ljusgrå till mörkgrå med olivinslag i färgen och med en lätt anstrykning av olivbrunt i ytskiktet. Det senare indikerar oxiska förhållanden i bottenvattnet. Anoxiska förhållanden råder endast på stationerna 324, S119 och S150. Såväl färg som oxidationsförhållanden på stationerna överenstämmer relativt väl mellan de olika undersökningsåren. Kornstorleken har dock förändrats i ytsedimenten, se ovan.

Tabell 5:8. Sedimentbeskrivande parametrar. x = observerat, - = ej observerat.

Descriptive sediment parameters. x = observed, - = not observed.

Station	År	Oxiderat ytskikt	Reducerat ytskikt	Tydligt bio-turberad	Svavel-vätelukt	Skalfragment	Levande fauna
S111	1972						
	1984	x	-	-	-	-	-
	1989						
	1995	x	-	-	-	x	x
	2000	x	-	-	-	x	x
S112	1972						
	1984	x	-	-	-	x	-
	1989						
	1995	x	-	x	-	x	-
	2000		x	x	-	x	x
S119	1972						
	1984	x	-	-	-	-	-
	1989						
	1995	x	-	-	-	x	x
	2000		x	-	-	x	x
S129	1972						
	1984	x	-	-	-	x	-
	1989						
	1995	x	-	x	-	-	-
	2000	x	-	x	-	-	x
S139	1972						
	1984	-	x	-	x	-	-
	1989						
	1995	x	-	x	x	x	-
	2000	x	-	x	x	x	-
S150	1972						
	1984	x	-	-	-	-	-
	1989						
	1995	x	-	-	x	-	x
	2000	-	x	-	x	x	x
316	1972	x	-	-	x	-	-
	1984	x	-	-	-	-	-
	1989						
	1995	x	-	-	-	x	-
	2000	x	-	-	-	x	x
324	1972	x	-	-	x	-	-
	1984	-	x	-	x	-	-
	1989						
	1995	-	x	-	x	x	-
	2000	-	x	-	x	-	-

5.6.3 VATTENHALT SAMT FÖRÄNDRINGAR EFTER 1972

Mätresultaten vad avser ytsedimentens vattenhalt för undersökningsåret 2000 redovisas i tabell 5:5 och figur 5:14 tillsammans med motsvarande data från 1972–1995 års undersökningar. Medelvärden och medianvärden för respektive år återges i tabell 5:6. Vattenhaltens areella fördelning i ytsedimentet (0–1 cm) för år 2000 illustreras i figur 5:15.

Vattenhalten varierar år 2000 mellan 70 och 82 % i ytsedimentet. Sammantaget visar resultaten att sex av recipientkontrollprogrammets 8 stationer utgörs av ackumulationsbottnar, medan episodisk bottentransport inte kan uteslutas på station 316 i Brofjorden. Förhållandena på station S112 kan tillskrivas fartygstraffiken (se ovan).

Den maximala differensen i vattenhalt på varje station mellan undersökningsåren är mindre än 10 % på de 8 stationerna (tabell 5:5, figur 5:14). Medel- och medianvärdena varierar obetydligt mellan undersökningsåren (fig. 5:16). De högsta värdena hänför sig till 2000 års undersökningar, vilket sannolikt hänger samman med en förbättrad metod vid uttag av prover.

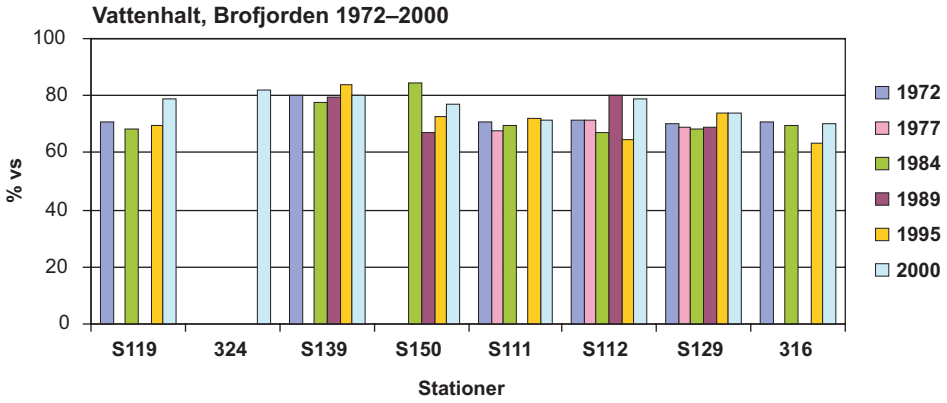


Fig. 5:14. Vattenhalten (%) i Brofjordens ytsediment (0–1 cm) 1972–2000.
The water content (%) in the surficial sediments (0–1 cm) of the Brofjord in 1972–2000.

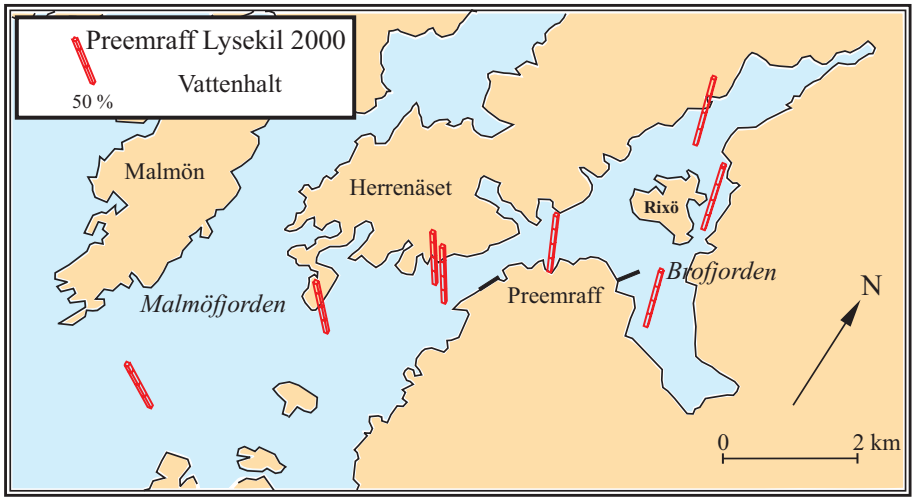


Fig. 5:15. Fördelningen av vattenhalten (%) i Brofjordens ytsediment (0–1 cm) 2000.
The distribution of the water content (%) in 2000 in the surficial sediments of the Brofjorden.

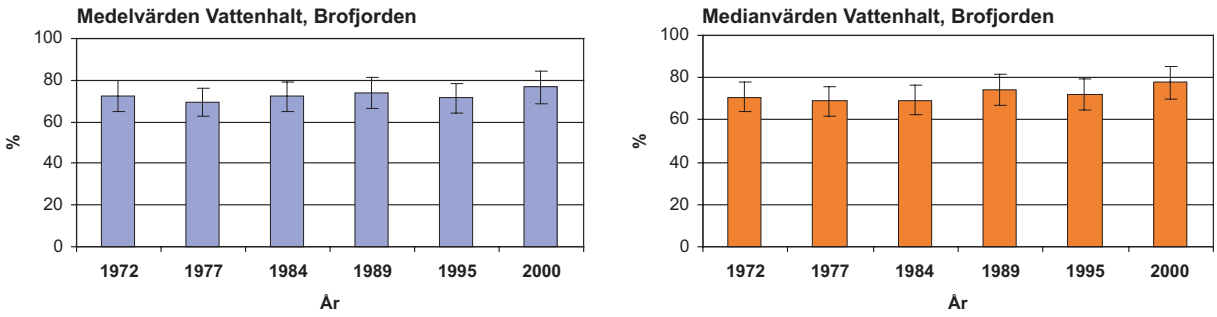


Fig. 5:16. Medelvärden (t.v.) och medianvärden (t.h.) för vattenhalten (%) i Brofjordens ytsediment (0–1 cm) 1972–2000.
Mean (left) and median (right) values of the water content (%) 1972–2000 in the surficial sediments (0–1 cm) of the Brofjorden.

5.6.4 TOTALKOL OCH OORGANISKT KOL SAMT FÖRÄNDRINGAR EFTER 1972

Analysresultaten vad avser totalkol (TC) och oorganiskt kol (OOC) i sedimenten för 2000 redovisas i tabell 5:5, figurerna 5:17 och 5:18 tillsammans med motsvarande data från 1989–1995 års undersökningar.

De areella variationerna i ytsedimenten (0–1 cm) för år 2000 illustreras i figurerna 5:19 och 5:20. Halten av oorganiskt kol är märkbart lägre inne i Brofjorden än utanför och omvänt för halten av totalkol.

Totalkolhalten i ytsedimenten (0–1 cm) 1995 varierar mellan 36 och 57 g/kg ts med ett medelvärde och medianvärde på ca 44 respektive 41 g/kg ts (tabell 5:5 och 5:6). Halten oorganiskt kol varierar mellan ca 1 och 11 g/kg ts med ett medelvärde och medianvärde på ungefär 6 g/kg ts (tabell 4 och 5).

Som jämförelse kan nämnas att medelvärdet för oorganiskt kol på 18 stationer i Brofjorden 1989 var 2,5 g/kg ts (Cato 1990) och för 25 stationer vid Stenungsund 1985 1,7 g/kg ts (Cato 1986b) respektive 5,5 g/kg ts 1995 (del 4 denna samlingsvolym). Bortser man ifrån extremvärdet så ligger halten oorganiskt kol i sedimenten 2000 lägre, men i samma storleksordning som resultaten ifrån tidigare undersökningar i Brofjorden och Stenungsund.

Skillnaderna i medel- och medianvärden mellan undersökningsåren 1995 och 2000 visar på en ökning med ca 4–6 % respektive minskning med drygt 20-30 % för respektive totalkol och oorganiskt kol (figurerna 5:21 och 5:22).

Skillnaderna är dock <5 g/kg ts för oorganiskt kol på samtliga stationer. Oorganiskt kol i västkussedimenten utgörs till största delen av karbonatkol och till en mycket liten del av grafitkol. Förekomsten av skalfragment blir därför ofta avgörande för resultatet.

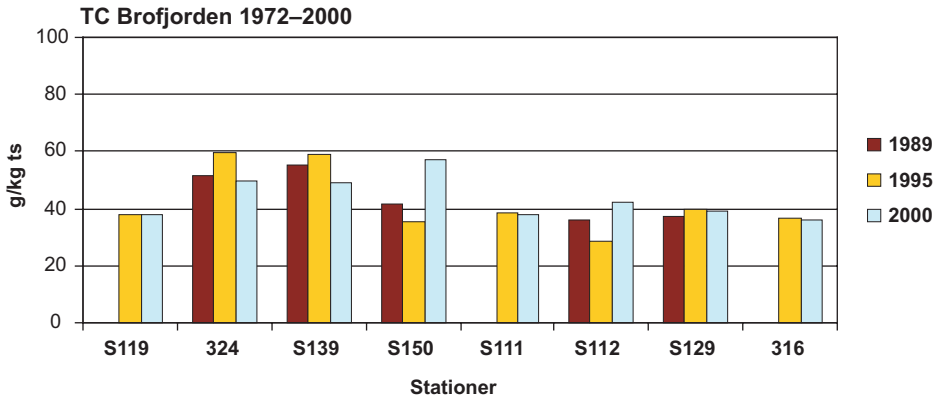


Fig. 5:17. Koncentrationen av totalkol (g/kg ts) i Brofjordens ytsediment (0–1 cm) 1989–2000.
The concentration of total carbon (g/kg dw) in 1989–2000 in the surficial sediments of the Brofjorden.

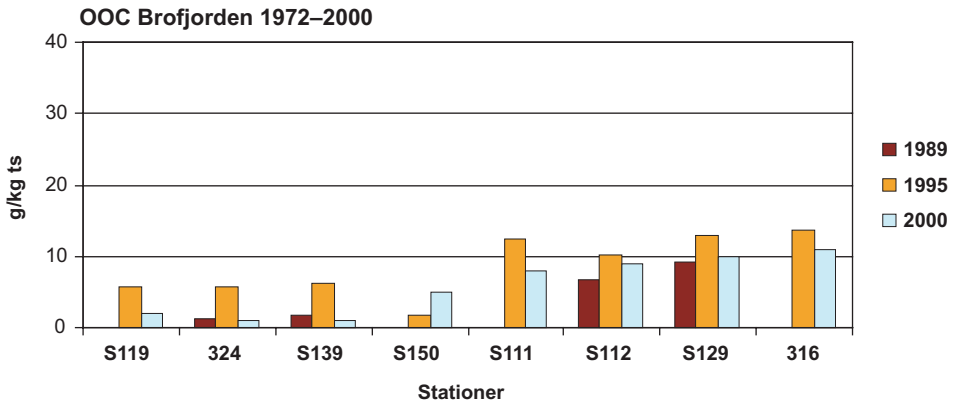


Fig. 5:18. Koncentrationen av oorganiskt kol (g/kg ts) i Brofjordens ytsediment (0–1 cm) 1989–2000.
The concentration of inorganic carbon (g/kg dw) in 1989–2000 in the surficial sediments (0–1 cm) of the Brofjorden.

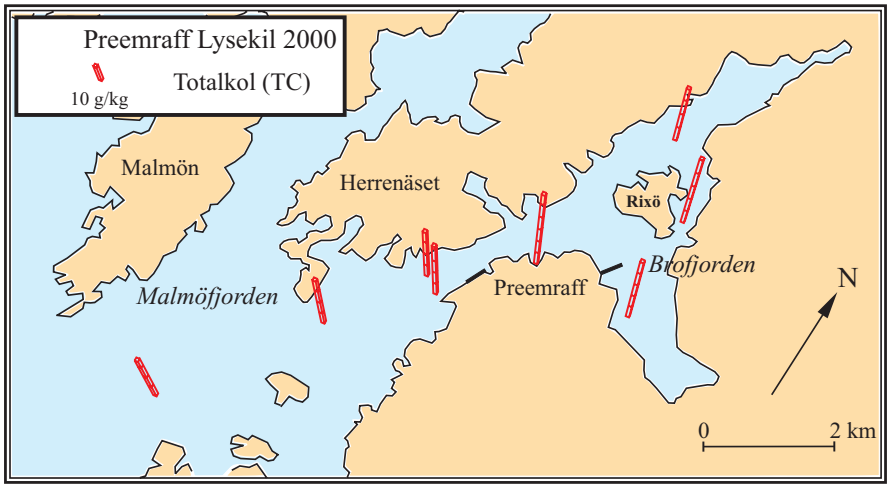


Fig. 5:19. Fördelningen av totalkol (g/kg ts) i Brofjordens ytsediment (0–1 cm) 2000.

The distribution of total carbon (g/kg dw) in 2000 in the surficial sediments of the Brofjorden.

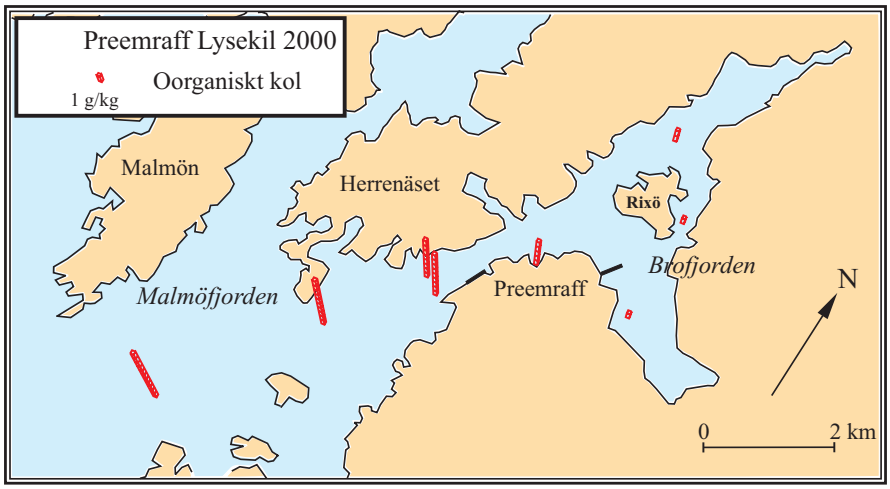


Fig. 5:20. Fördelningen av oorganiskt kol (g/kg ts) i Brofjordens ytsediment (0–1 cm) 2000.

The distribution of inorganic carbon (g/kg dw) in 2000 in the surficial sediments (0–1 cm) of the Brofjorden.

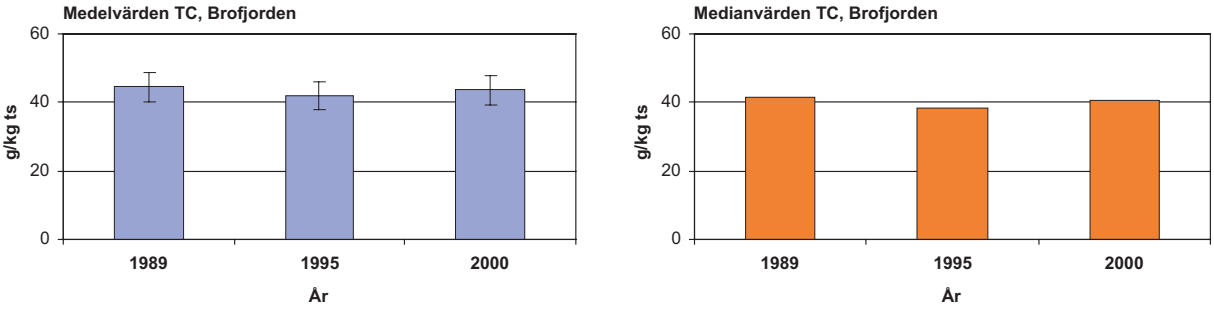


Fig. 5:21. Medelvärden (t.v.) och medianvärden (t.h.) för totalkol (TC) i Brofjordens ytsediment (0–1 cm) 1989 och 2000.

Mean (left) and median (right) values of total carbon (TC) in 1989 and 2000 in the surficial sediments (0–1 cm) of the Brofjorden.

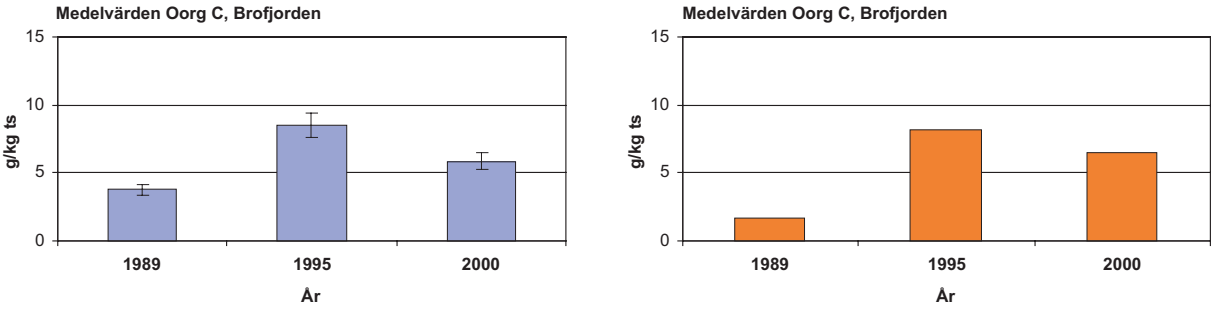


Fig. 5:22. Medelvärden (t.v.) och medianvärden (t.h.) för oorganiskt kol (OOC) i Brofjordens ytsediment (0–1 cm) 1989 och 2000.

Mean (left) and median (right) values of inorganic carbon (OOC) in 1989 and 2000 in the surficial sediments (0–1 cm) of the Brofjorden.

2.6.5 ORGANISKT KOL SAMT FÖRÄNDRINGAR EFTER 1972

Analysresultaten för 2000 avseende totalt organiskt kol (TOC) i ytsedimenten (0–1 cm) redovisas i tabell 5:5 och figur 5:23 tillsammans med motsvarande data från 1972–1995 års undersökningar. Halten TOC i ytsedimentet 2000 varierade mellan ca 25 och 52 g/kg ts med ett medelvärde och medianvärde på ca 38 respektive 35 g/kg ts (tabell 5:6). Den areella fördelningen av organiskt kol i Brofjordens ytsediment (0–1 cm) för 2000 illustreras i figur 5:24. Halterna inne i Brofjorden är högre än utanför.

Koncentrationerna av totalt organiskt kol ligger inom ett för västkusten normalt intervall om de på organiskt material belastade recipienterna undantas (se tabell 8 i del 2, denna samlingsvolym). Enligt Norsk klassificering av miljökvalitet i fjordar och kustvatten (Rygg & Thélinn 1993) faller fyra av stationerna (S111, S112, S119, S139) i tillståndsklass II (”mindre god”), dvs. moderat förorenat och två av stationer (S150, 324) i tillståndsklass III (”nokså dårlig”), dvs. tydligt förorenat. Övriga stationer faller inom tillståndsklass I (”god”). Utgår man från förhållandena från basundersökningen 1972, då fjorden var opåverkad, kan konstateras att de Norska tillståndsklasserna vad avser organiskt kol inte helt är tillämpliga i Brofjorden.

I tabell 5:6 redovisas medelvärden och medianvärden för ytsedimentens innehåll av organiska kol vid de fem undersökningstillfällena mellan 1972 och 2000. I figur 5:25 åskådliggörs dessa data. Trenden vad avser medelvärdet och medianvärdet visar på en minskning mellan 1972 och 1995 med 20 respektive 18 %. I förhållande till 1995 har en viss ökning skett 2000, men medelkoncentrationen är fortfarande (ca 10 %) lägre än 1972. Förändringarna är statistiskt signifikanta eftersom variationskoefficienten för organiskt kol till följd av ytsediments (0–2 cm) inhomogenitet vid Bohuskusten har analyserats och beräknats till 3,8±2,8 % (Cato 1977). Minskningen är dock mindre än de minst 35 %, som baserat på blandningsfaktorn (se av snitt

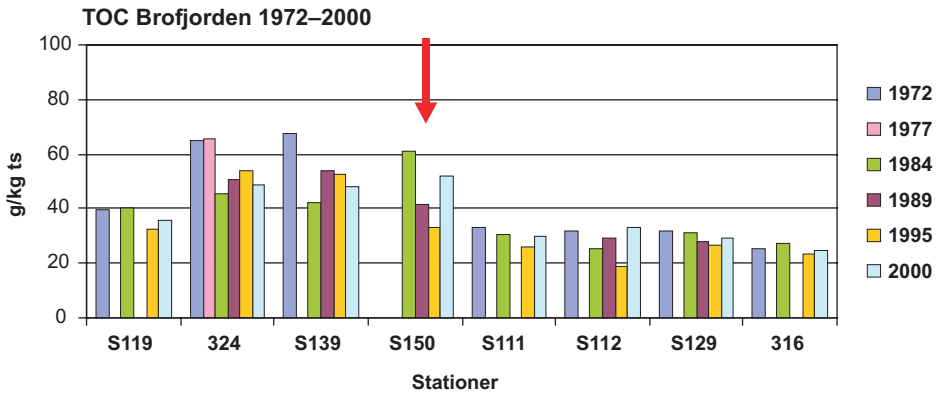


Fig. 5:23. Koncentrationen av totalt organiskt kol (TOC, g/kg ts) i Brofjordens ytsediment (0–1 cm) 1972–2000.
The concentration of total organic carbon (TOC, g/kg ds) in the surficial sediments (0–1 cm) of the Brofjord in 1972–2000.

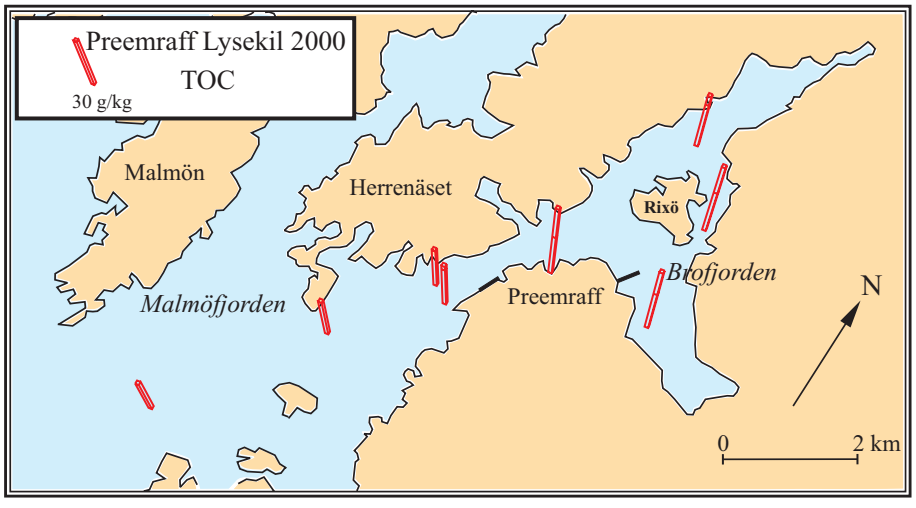


Fig. 5:24. Fördelningen av totalt organiskt kol (TOC, g/kg ts) i Brofjordens ytsediment (0–1 cm) 2000.
The distribution of total organic carbont (TOC, g/kg dw) in 2000 in the surficial sediments (0–1 cm) of the Brofjorden.

2.5, del 2 i denna samlingsvolym), krävs för att en förändring skall kunna detekteras vid ett femårigt provtagningsintervall. Studerar man de enskilda stationerna finner man att den organiska kolhalten i sedimenten på samtliga stationer utom station S112 är lägre 2000 än vid 1972 års undersökningar. Detta tyder på att omblandningsfaktorn sannolikt är lägre och att minskningen är reell.

Orsakerna till minskningen av den organiska kolhalten i sedimentytan fram till 1995 antogs av Cato (1997) vara flera. Den sedan 1975 ökade fartygstrafiken i fjorden stör sedimentationsmiljön med upprepad resuspendering av det nysedimenterade organiska materialet som därmed förs bort genom vågverkan och strömmar. Samma fartygstrafik kan genom vattenomröring öka syresättningen utmed botten och därmed öka mineraliseringen av det organiska materialet som därmed minskar i koncentration. En tredje orsak kan vara minskad tillförsel på organiskt material. Den ökning i halt som skett sedan 1995 kan vara en effekt av en ökad produktion av organiskt material eftersom övriga berörda förhållanden inte ändrats mellan 1995 och 2000.

2.6.6 TOTALKVÄVE SAMT FÖRÄNDRINGAR EFTER 1972

Analysresultaten från 1995 års sedimentundersökningar avseende totalkväve (TN) redovisas i tabell 5:5 och figur 5:26 tillsammans med motsvarande data från de tidigare undersökningarna 1972–1995. Halten av totalkväve varierar 2000 mellan 3,1 och 5,7 g/kg ts med ett medelvärde och medianvärde på 4,4 g/kg ts (tabell 5:6). Koncentrationsintervallet ligger högt jämfört med andra på organiskt material icke belastade recipienter längs västkusten (tabell 9 i del 2, denna samlingsvolym).

Enligt Norsk klassificering av miljökvalitet i fjordar och kustvatten (Rygg & Thélin 1993) faller endast en station (S112) i tillståndsklassas I (”god”). Av övriga 7 stationer faller 4 i tillståndsklass II (”mindre god”) och

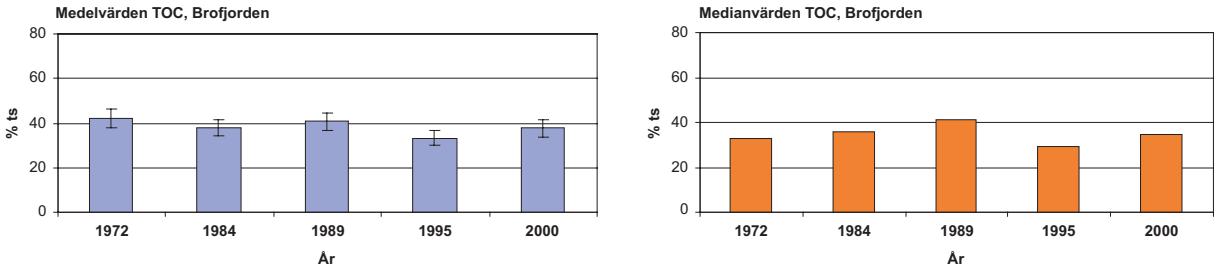


Fig. 5:25. Medelvärden (t.v.) och medianvärden (t.h.) för totalt organiskt kol (TOC) i Brofjordens ytsediment (0–1 cm) 1972–2000.

Mean (left) and median (right) values of total organic carbon (TOC) between 1972 and 2000 in the surficial sediments (0–1 cm) of the Brofjorden.

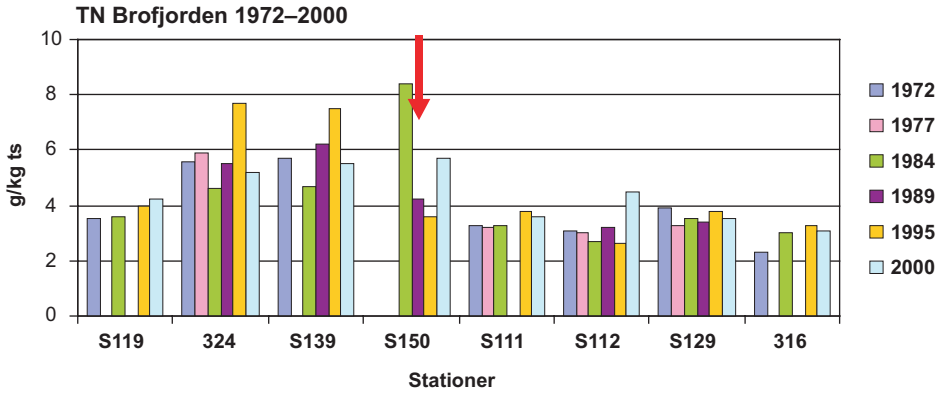


Fig. 5:26. Koncentrationen av totalkväve (TN, g/kg ts) i Brofjordens ytsediment (0–1 cm) 1972–2000. Röd pil markerar spillvatenutsläppen från reningsverket i Hamrevik.

The concentration of total nitrogen (TOC, g/kg ds) in the surficial sediments of the Brofjord in 1972–2000. Red arrow marks the waste-water discharge from the treatment plant in the Hamrevik Bay.

tre stationer (S139, S150, 324) i tillståndsklass III ”(nokså dårlig”), dvs. mycket måttligt förorenat. I jämförelse med 1995, då två stationer föll i tillståndsklass V (”meget dålig”), är detta en föbättring av förhållandena.

Den areella variationen av kväve i ytsedimentet (0–1 cm) illustreras i figur 5:27. Fördelningsmönstret uppvisar stora likheter med motsvarande fördelning av organiskt kol (se fig. 5:24). Detta beror på att kvävet i sedimenten till största delen är organiskt bundet (se t.ex. Cato 1977, Cato m.fl. 1986 b), vilket också framgår av det starka positiva sambandet som råder mellan totalkväve och totalt organiskt kol i området (fig.5:28). Korrelationskoefficienten (r) för sambandet är 0,94.

Vid en jämförelse mellan 1972–2000 års undersökningar (tabell 5:5) kan konstateras att halterna av totalkväve mer eller mindre successivt har ökat på fem av åtta stationer fram till 1995. Därefter har förhållandena varit konstanta på fyra stationer och minskat något på tre stationer samt ökat på en station (S150). I genomsnitt har halterna ökat sedan 1972 med ca 13 % (26 % enligt medianvärdet) (fig. 5:29) trots att kolhalten under samma tid sjönk på samtliga stationer utom en station. Mellan 1995 och 2000 har halterna minskat med i genomsnitt 2 %.

Variationskoefficienten för totalkväve till följd av ytsediments (0–2 cm) inhomogenitet vid Bohuskusten har analyserats och beräknats till 3,2±2,9 % (Cato 1977). Eftersom den genomsnittliga ökningen av total-

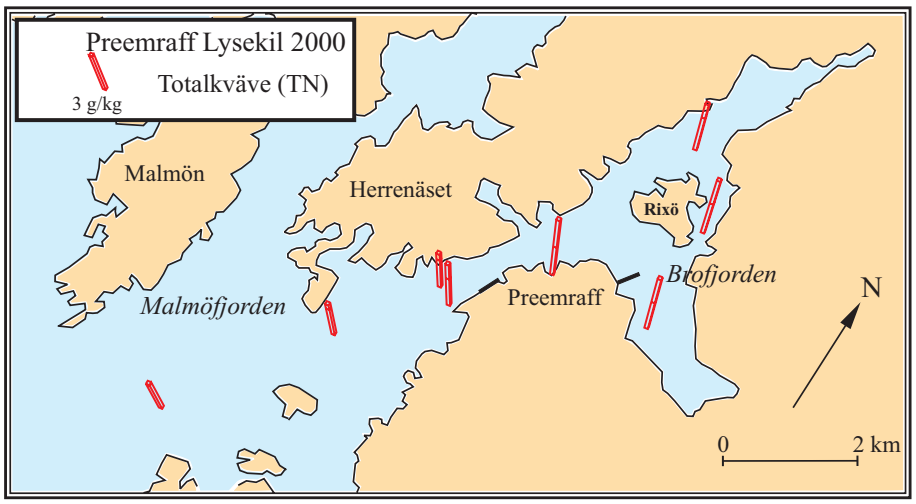


Fig. 5:27. Fördelningen av totalkväve (TN, g/kg ts) i Brofjordens ytsediment (0–1 cm) 2000.

The distribution of total nitrogent (TN, g/kg dw) in 2000 in the surficial sediments (0–1 cm) of the Brofjorden.

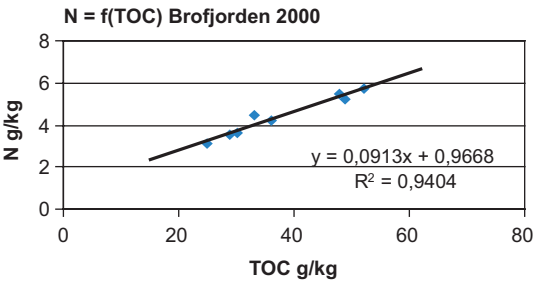


Fig. 5:28. Sambandet mellan totalkväve (TN) och totalt organiskt kol (TOC) i Brofjordens ytsediment (0–1 cm) 2000.

The relationship between total nitrogen and total organic carbon (TOC) in 2000 in the surficial sediments (0–1 cm) of the Brofjorden.

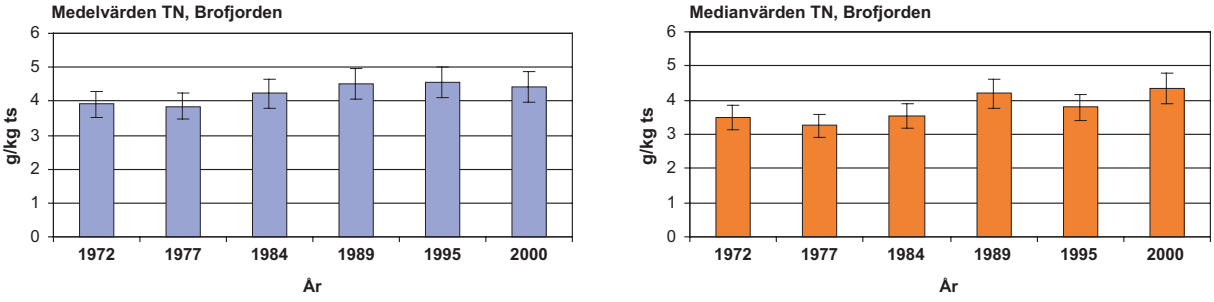


Fig. 5:29. Medelvärden (t.v.) och medianvärden (t.h.) för totalkväve (TN) i Brofjordens ytsediment (0–1 cm) 1972–2000.

Mean (left) and median (right) values of total nitrogen (TN) in 1972–2000 in the surficial sediments (0–1 cm) of the Brofjorden.

kvävehalten är drygt fyra gånger större än berörda variationskoefficient kan 2000 års ökade totalkvävehalter anses vara reella i förhållande till 1972 års värden. Detta styrker resultaten från 1995. Däremot är förändringen mellan 1995 och 2000 inte statistiskt säkerställd. Förändringarna på stationerna är dock betydligt mindre än de minst 35 %, som baserat på blandningsfaktorn (se avsnitt 2.5, del 2 i denna samlingsvolym), krävs för att en förändring skall kunna detekteras vid ett femårigt provtagningsintervall.

Både halten av kväve och organiskt kol är ett mått på sedimentens humusinnehåll. Dock förekommer avvikelser, se nedan.

5.6.7 KOL-KVÄVEKVOTEN (C/N) SAMT FÖRÄNDRINGAR EFTER 1972

De beräknade C/N-kvoterna i ytsedimenten för 2000 (0–1 cm) och för de tidigare undersökningsåren mellan 1972 och 1995 redovisas i tabell 5:5 och illustreras i figur 5:30. Medelvärden och medianvärden för respektive år återges i tabell 5:6. C/N-kvotens areella fördelning i ytsedimentet (0–1 cm) för år 1995 illustreras i figur 5:31.

Medelvärden och medianvärden för de studerade 8 stationerna varierar 2000 mellan 7,3 och 9,4 med ett medelvärde och medianvärde på respektive 8,5 (tabell 5:6). Kvoterna ligger inom, men i undre delen av det intervall, som är känt från västkustens på organiskt material från land icke belastade recipienter (se tabell 2.8 i avsnitt 2). Anmärkningsvärt är dock att samtliga stationer uppvisar en C/N-kvot under 10. Utvecklingstrenden mellan 1972 och 1995 åskådliggörs i figur 5:32.

C/N-kvoten har i medeltal sjunkit med 20 % och medianvärdet med 23 % mellan 1972 och 2000. En statistiskt signifikant siffra. Mellan 1995 och 2000 har kvoten ökat något (2 %). Förändringen sedan 1972

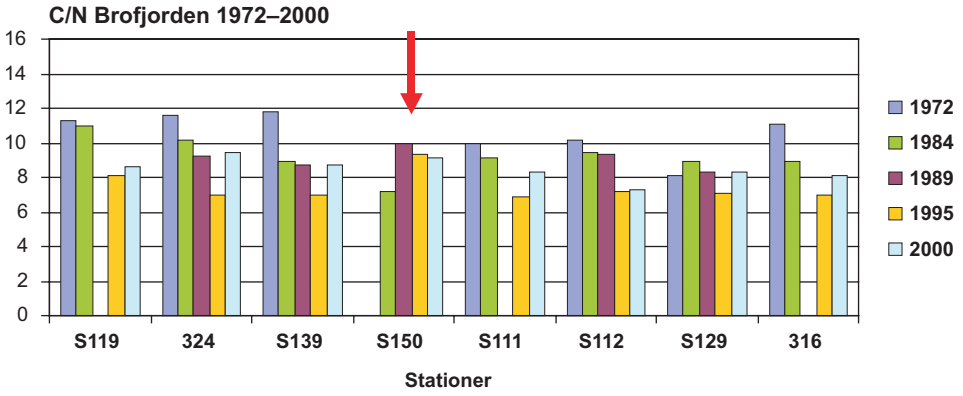


Fig. 5:30. Kol/kväve kvoten (C/N) i Brofjordens ytsediment (0–1 cm) 1972–2000. Röd pil markerar spillvatenutsläppen från reningsverket i Hamrevik.

The carbon/nitrogen ratio (C/N) in the surficial sediments (0–1 cm) of the Brofjord in 1972–2000. Red arrow marks the waste-water discharge from the treatment plant in the Hamrevik Bay.

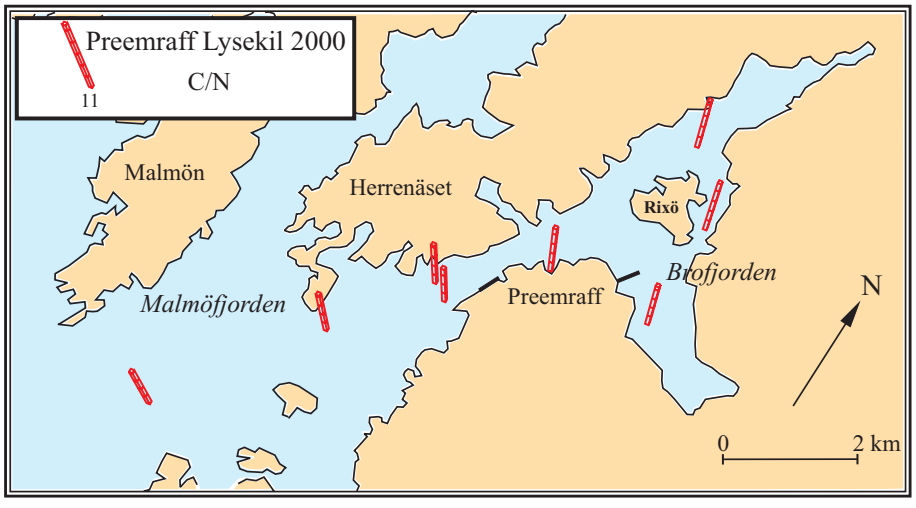


Fig. 5:31. Fördelningen av C/N-kvoten i Brofjordens ytsediment (0–1 cm) 2000.

The distribution of the C/N-ratio in 2000 in the surficial sediments (0–1 cm) of the Brofjorden.

tyder på en ökning inom området av andelen sedimenterat marint (kväverikt) detritus. Ett förhållande som framgår av lutningskoefficienten för relationen mellan kväve och organiskt kol som ökat från 0,07 till 0,14 mellan 1972 och 1995 (Cato 1977). Lutningskoefficienten har minskat något mellan 1995 och 2000 (fig. 5:28). Att förändringen i huvudsak beror på ett ökat tillskott av kväverik marin detritus framgår av det svaga samband som råder mellan C/N-kvoten och halten kväve i sedimentet (r = 0,3). Motsvarande samband med totalt organiskt kol var också mycket svagt (r = 0,2). Orsaken till förändringarna av C/N-kvoten står närmast att finna i en allmän eutrofiering av kustområdet som gynnar/gynnat produktionen av marint organiskt material. Motsvarande förändringar konstaterades i Göteborgs skärgård mellan 1966 och 1982 (Cato 1986 b), i Brofjorden mellan 1972 och 1989 (Cato 1990), samt i Stenungsundsområdet mellan 1975 och 1995 (del 4, denna samlingsvolym). Den ökade C/N-kvoten mellan 1995 och 2000 kan tyda på en långsamt minskad eutrofiering alternativt ett större tillskott av terrestriskt organiskt material. Det starka samband (r^2 = 0,9) som råder mellan C/N-kvoten och totalt organiskt kol (TOC) antyder det senare.

5.6.8 TOTALFOSFOR SAMT FÖRÄNDRINGAR EFTER 1972

Analysresultaten från 2000 års sedimentundersökningar avseende totalfosfor (P) redovisas jämte motsvarande data från 1972 i tabell 5:5 och figur 5:33. Ytsedimentens innehåll av totalfosfor 2000 varierar mellan 1,3 och 1,7 g/kg ts med ett medelvärde och medianvärde av 1,5 g/kg ts (tabell 5:6). Den areella variationen av totalfosfor i ytsedimentet (0–1 cm) illustreras i figur 5:34. Den lägsta halterna påträffas inne i fjorden vid Rixön samt vid spillvattenutsläppet i Hamrevik.

Svenska bedömningsgrunder för totalfosfor i sediment saknas.

Förändringarna av sedimentens totalfosforhalter mellan 1972 och 2000 års undersökningar illustreras i figur 5:35. På samtliga stationer har fosforhalterna ökat mellan 1972 och 2000. Ökningen är i medeltal 50 %. En siffra som är statistiskt signifikant eftersom variationskoefficienten för totalfosfor, till följd av ytsedimentens (0–2 cm) inhomogenitet, har analyserats och beräknats till 1,8±0,6 % (Cato, opubl.). Ökningen

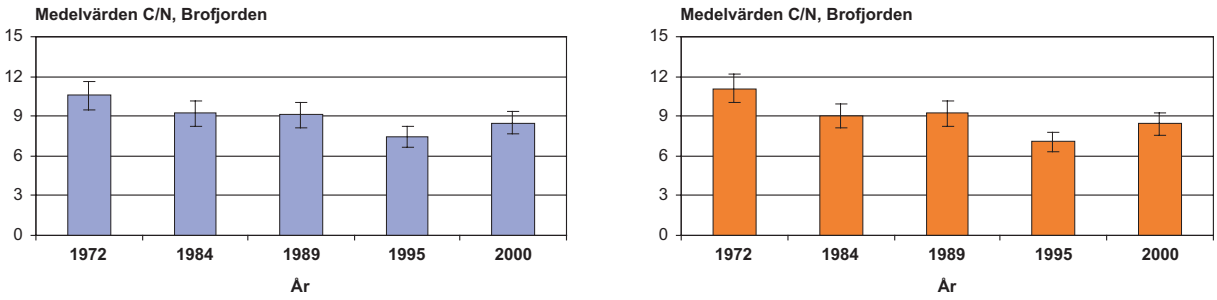


Fig. 5:32. Medelvärden (t.v.) och medianvärden (t.h.) för C/N-kvoten i Brofjordens ytsediment (0–1 cm) 1972–2000.
Mean (left) and median (right) values of the C/N-ratio in 1972–2000 in the surficial sediments (0–1 cm) of the Brofjorden.

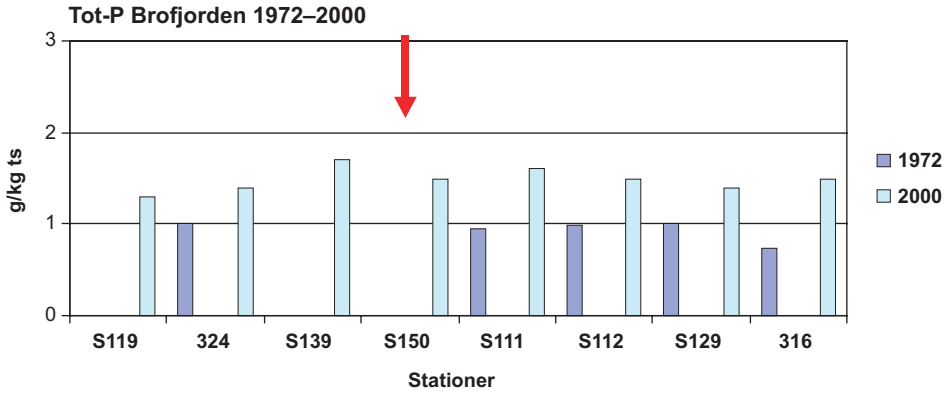


Fig. 5:33. Koncentrationen av totalfosfor (P, g/kg ts) i Brofjordens ytsediment (0–1 cm) 1972–2000. Röd pil markerar spillvattenutsläppet i Hamrevik.
The concentration of total phosphorous (P, g/kg dw) in 1972–2000 in the surficial sediments (0–1 cm) of the Brofjorden. Red arrow marks the waste-water discharge at Hamrevik.

är också betydligt större än de minst 35 %, som baserat på blandningsfaktorn (se avsnitt 2.5, del 2 i denna samlingsvolym), krävs för att en förändring skall kunna detekteras vid ett femårigt provtagningsintervall.

5.6.9 TUNGMETALLER

Den geografiska variationen i ytsedimenten av metallerna kadmium (Cd), koppar (Cu), kvicksilver (Hg), nickel (Ni), bly (Pb), vanadin (V) och zink (Zn) illustreras i figurerna 5:36–5:46. Analysresultaten redovisas i tabell 5:9. Tungmetallerna uppvisar sinsemellan både likheter och olikheter i fördelningsmönstret, varför de nedan i korthet behandlas var för sig.

I de tabeller som presenteras nedan har endast data framtagna med analysteknik enligt svensk standard (SIS) eller motsvarande använts. Detta i syfte att möjliggöra en korrekt jämförelse mellan de olika åren. Metalldata finns också från åren 1972 och 1984. Dessa år analyserades proverna med en annan laboratoriemetodik omfattande lågtemperaturstorraskning och lakning av proverna vid pH 2,4 (Cato 1977, Cato m.fl. 1986). Eftersom metoden inte ger resultat som är helt jämförbara med resultaten från SIS-metoden, som använts vid övriga år, redovisas inte 1972 och 1984 års data i föreliggande rapport.

5.6.9.1 Arsenik

Analysresultaten från 2000 års sedimentundersökningar avseende arsenik (As) redovisas i tabell 5:9 och figur 5:36. Arsenik har inte tidigare undersökts i Brofjordens sediment. Ytsedimentens innehåll av arsenik 2000 varierar mellan 7 och 15 mg/kg ts med ett medelvärde och medianvärde av 12 respektive 13 mg/kg ts (tabell 5:10). Den areella variationen av arsenik i ytsedimentet (0–1 cm) illustreras i figur 5:37. De lägsta halterna påträffas inne i fjorden, innanför spillvattenutsläppet i Hamrevik.

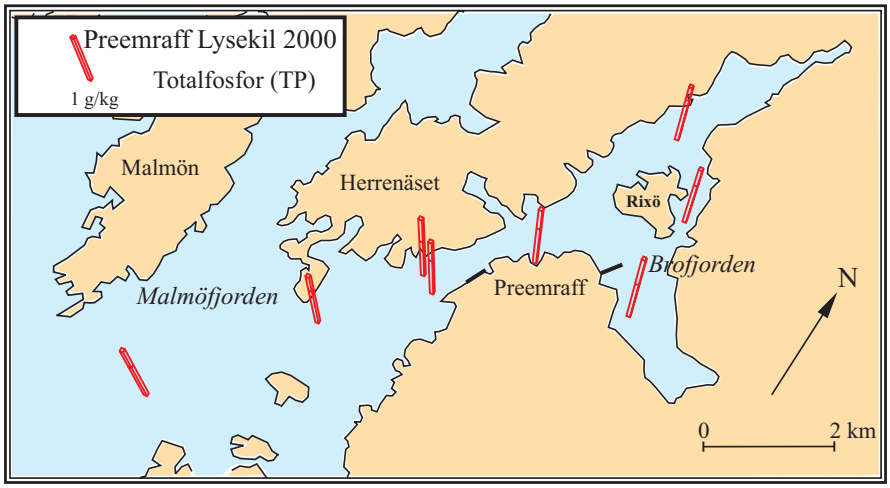


Fig. 5:34. Fördelningen av totalfosfor (P, g/kg ts) i Brofjordens ytsediment (0–1 cm) 2000.
The distribution of total phosphorous (P, g/kg dw) in 2000 in the surficial sediments (0–1 cm) of the Brofjorden.

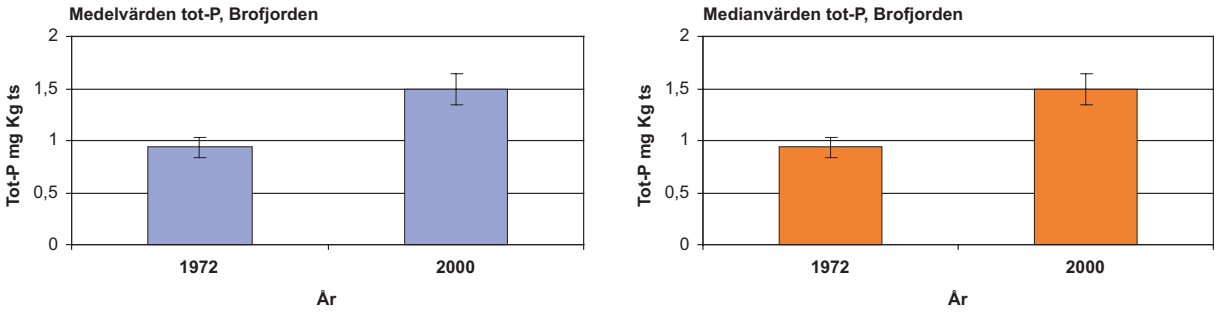


Fig. 5:35. Medelvärden (t.v.) och medianvärden (t.h.) för totalfosfor (P) i Brofjordens ytsediment (0–1 cm) 1972–2000.
Mean (left) and median (right) values of total phosphorous in 1972–2000 in the surficial sediments (0–1 cm) of the Brofjorden.

Enligt svenska bedömningsgrunder för kust- och havssediment (SNV 1999) uppvisar Brofjordens ytsediment vad avser arsenik ingen/obetydlig (klass 1) till liten avvikelse (klass 2) från Naturvårdsverkets jämförvärde på 10 mg/kg ts (tabell 5:11).

Tabell 5:9. Kadmium (Cd), koppar (Cu), kvicksilver (Hg), nickel (Ni), bly (Pb), vanadin (V) and zink (Zn) i Brofjordens ytsediment (0–1 cm) 1977–2000. Data finns inte (-) från alla år.

Cadmium (Cd), copper (Cu), mercury (Hg), nickel (Ni), lead (Pb), vanadium (V) and zinc (Zn) in the surficial sediments of the Brofjorden in 1977–2000. Data are lacking (-) for some years.

Station	År	As mg/kg	Cd mg/kg	Cu mg/kg	Cr mg/kg	Hg mg/kg	Mn mg/kg	Ni mg/kg	Pb mg/kg	Sn mg/kg	V mg/kg	Zn mg/kg
S111	1977	-	0,21	21	-	0,10	-	18	40	-	-	120
	1989	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	1995	-	0,16	20,1	-	0,11	-	21	33,6	-	63	117
	2000	12	0,22	21	32	0,064	290	22	40	3,5	58	78
S112	1977	-	0,14	24	-	0,11	-	18	37	-	-	130
	1989	-	0,36	22	-	0,36	-	27	25	1,5	100	110
	1995	-	0,11	11,4	-	0,06	-	14,3	19	-	41,8	76,1
	2000	13	0,17	19	33	0,077	330	21	36	3,6	56	71
S119	1977	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	1989	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	1995	-	0,54	25,7	-	0,11	-	18,8	26,9	-	61,2	141
	2000	7	0,47	23	28	0,072	230	18	26	3	49	81
S129	1977	-	0,17	30	-	0,13	-	22	47	-	-	170
	1989	-	0,40	20	-	<0,1	-	<10	31	1,6	120	100
	1995	-	0,15	19,9	-	0,12	-	22,9	37,6	-	66,6	122
	2000	13	0,14	20	34	0,073	370	23	44	3,7	57	73
S139	1977	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	1989	-	1,5	33	-	0,55	-	13	30	<0,4	91	210
	1995	-	0,82	29	-	0,1	-	21	27,6	-	61,9	152
	2000	10	0,74	26	28	0,094	200	18	30	4	46	88
S150	1977	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	1989	-	0,95	20	-	0,13	-	22	5,9	<0,4	100	99
	1995	-	0,65	15,3	-	0,07	-	11,5	9,16	-	35,3	88,7
	2000	14	1,1	28	23	0,1	130	18	17	2,2	46	110
316	1977	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	1989	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	1995	-	0,02	17,8	-	0,13	-	21,4	35,7	-	64,2	112
	2000	15	0,62	21	39	0,08	480	25	36	3	65	89
324	1977	-	1,1	40	-	0,18	-	16	88	-	-	220
	1989	-	7,4	33	-	0,17	-	29	63	<0,4	77	170
	1995	-	0,37	24,7	-	0,08	-	16,8	28,4	-	51,4	138
	2000	8,5	0,67	32	27	0,56	220	17	32	5	45	110

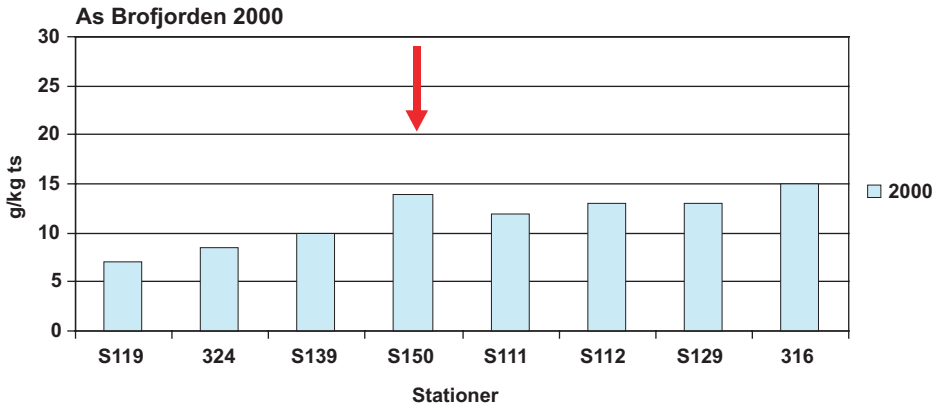


Fig. 5:36. Koncentrationen av arsenik (As, mg/kg ts) i Brofjordens ytsediment (0–1 cm) år 2000. Röd pil markerar spillvattenutsläppet i Hamrevik. Klassning enligt svenska bedömningsgrunder för miljökvalitet (SNV 1999).

The concentration of arsenic (As, mg/kg dw) in 2000 in the surficial sediments (0–1 cm) of the Brofjorden. Red arrow marks the waste-water discharge at Hamrevik. Klssification according to Swedish Environmental Quality Criteria (SNV 1999).

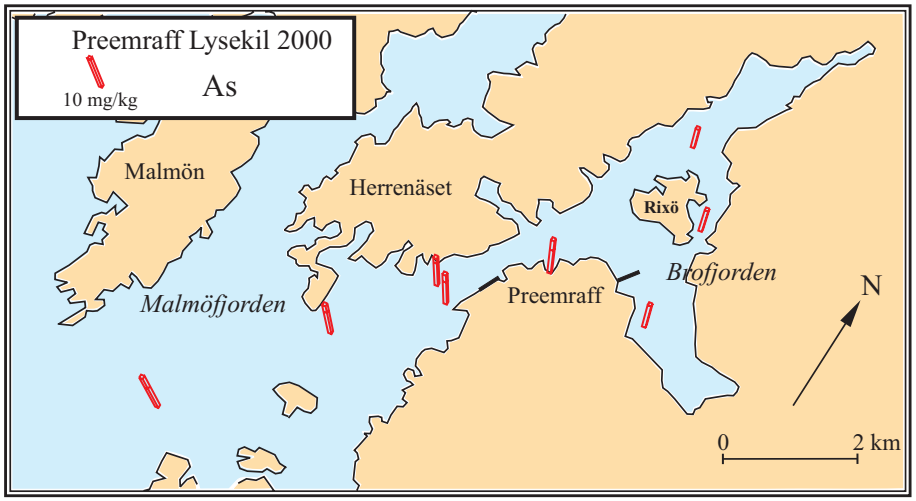


Fig. 5:37. Fördelningen av arsenik (As, mg/kg ts) i Brofjordens ytsediment (0–1 cm) 2000.

The distribution of arsenic (As, mg/kg dw) in 2000 in the surficial sediments (0–1 cm) of the Brofjorden.

Tabell 5:10. Spridning, medelvärden och medianvärden för några grundämnen i Brofjordens ytsediment (0–1 cm) 1977–1995.
Range, means and medians of some elements in the surficial sediments (0–1 cm) of the Brofjorden in 1977–1995.

Ämne	Enhet	År	n	Intervall	Medelvärde MV	Medianvärde MD	Standardavvikelse s
Arsenik (As)	mg/kg	1977		–	–	–	–
		1989		–	–	–	–
		1995		–	–	–	–
		2000	8	7–15	12	13	2,8
Kadmium (Cd)	mg/kg	1977	4	0,14–1,1	0,41	0,19	0,46
		1989	5	0,36–1,5(7,4)*	0,8	0,7	0,54
		1995	8	0,02–0,82	0,35	0,27	0,29
		2000	8	0,14–1,1	0,52	0,55	0,33
Koppar (Cu)	mg/kg	1977	4	21–40	29	27	8,4
		1989	5	20–33	26	22	6,8
		1995	8	11–29	20	20	6
		2000	8	19–32	24	21	4,9
Krom (Cr)	mg/kg	1977		–	–	–	–
		1989		–	–	–	–
		1995		–	–	–	–
		2000	8	23–39	31	30	5
Kvicksilver (Hg)	mg/kg	1977	4	0,10–0,18	0,13	0,12	0,036
		1989	5	0,10–0,55	0,26	0,17	0,19
		1995	8	0,06–0,13	0,1	0,11	0,025
		2000	8	0,064–0,56	0,14	0,079	0,17
Mangan (Mn)	mg/kg	1977		–	–	–	–
		1989		–	–	–	–
		1995		–	–	–	–
		2000	8	130–480	280	260	110
Nickel (Ni)	mg/kg	1977	4	16–22	19	18	2,5
		1989	5	10–29	20	22	8,4
		1995	8	12–23	18	21	4,2
		2000	8	17–25	21	21	3
Bly (Pb)	mg/kg	1977	4	37–88	53	44	24
		1989	5	5,9–63	31	30	21
		1995	8	9,2–38	27	28	9,5
		2000	8	17–44	33	34	8,5
Tenn (Sn)	mg/kg	1977		–	–	–	–
		1989		<0,4–1,8	1,2	1,5	0,66
		1995		–	–	–	–
		2000	8	2,2–5	3,5	3,6	0,82
Vanadin (V)	mg/kg	1977		–	–	–	–
		1989	5	77–120	98	100	16
		1995	8	35–67	56	62	12
		2000	8	45–65	53	53	7,3
Zink (Zn)	mg/kg	1977	4	120–220	160	150	45
		1989	5	99–210	138	110	50
		1995	8	76–150	118	120	26
		2000	8	71–110	88	85	15

• = Extremvärdet ej medtaget i medel- och medianvärdena. The extreme value excluded in the mean and medium values.

Tabell 5:11 Ytsedimentens (0–1 cm) miljökvalitet i Brofjorden 1977–2000 med avseende på arsenikhalten. Klassning enligt svenska bedömningsgrunder (Naturvårdsverket 1999).

The environmental quality of the surface sediments (0–1 cm) in the Brofjorden with respect to the arsenic content 1977–2000. Classification according to Swedish Environmental Quality Criteria (Naturvårdsverket 1999).

mg/kg År	As 1977	As 1989	As 1995	As 2000
S119	-	-	-	7
324	-	-	-	8,5
S139	-	-	-	10
S150	-	-	-	14
S111	-	-	-	12
S112	-	-	-	13
S129	-	-	-	13
316	-	-	-	15

Metaller Avvikelse från jämförvärde	
Klass 1	Ingen obetydlig avvikelse
Klass 2	Liten avvikelse
Klass 3	Tydlig avvikelse
Klass 4	Stor avvikelse
Klass 5	Mycket stor avvikelse

5.6.9.2 Kadmium

Analysresultaten från 2000 års sedimentundersökningar avseende kadmium (Cd) redovisas i tabell 5:9 och figur 5:38 tillsammans med motsvarande data från 1977, 1989 och 1995 års undersökningar. Ytsedimentens innehåll av kadmium år 2000 varierar mellan 0.14 och 1.1 mg/kg ts med ett medelvärde och medianvärde av 0,52 respektive 0,55 mg/kg ts (tabell 5:10). Den areella variationen av kadmium i ytsedimentet (0–1 cm) illustreras i figur 5:39.

Enligt svenska bedömningsgrunder för kust- och havssediment (SNV 1999) uppvisar Brofjordens ytsediment vad avser kadmium ingen/obetydlig (klass 1) till tydlig avvikelse (klass 3) från Naturvårdsverkets jämförvärde på 0,2 mg/kg ts (tabell 5:12). Koncentrationer över 0.5 mg/kg (klass 3) påträffades på fyra stationer; inne vid produkthamnen (S139), utanför spillvattenutsläppen i Hamrevik (S150), innanför Rixö (324) och ute i Malmöfjorden. Den högsta halten (1,1 mg/kg ts) påträffades i Hamreviken. Miljökvaliteten med avseende på kadmium har förbättrats på flera stationer sedan 1989.

Förändringarna av sedimentens kadmiumhalter mellan 1977 och 2000 års undersökningar illustreras i figur 5:40. I medelvärdes- och medianvärdesberäkningen har extremvärdet (7.4 mg/kg ts) från 1989 på station 324 uteslutits. På samtliga stationer har kadmiumhalterna minskat mellan 1989 och 1995 och i samtliga fall till koncentrationer något under 1977 års nivåer. Minskningen är i medeltal 60 %. Mellan 1995 och 2000 har kadmiumhalterna ökat med närmare 50 % dock ej över 1989 års nivå. En siffra som är statistiskt signifikant eftersom variationskoefficienten för kadmium, till följd av ytsedimentens (0–2 cm) inhomogenitet, har analyserats och beräknats till 4,3±2,7 % (Cato, opubl.). Minskningen är också betydligt större än de minst 35 %, som baserat på blandningsfaktorn (se avsnitt 2.5, del 2 i denna samlingsvolym), krävs för att en förändring skall kunna detekteras vid ett femårigt provtagningsintervall.

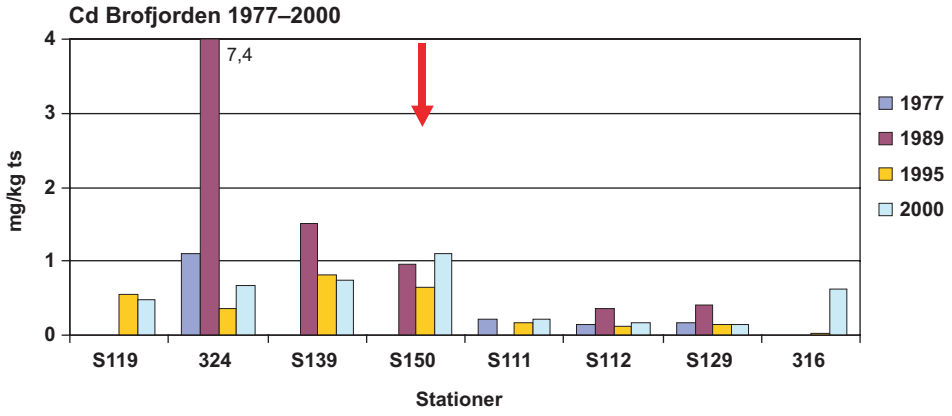


Fig. 5:38. Koncentrationen av kadmium (Cd, mg/kg ts) i Brofjordens ytsediment (0–1 cm) 1977–2000. Röd pil markerar spillvattenutsläppet i Hamrevik.

The concentration of cadmium (Cd, mg/kg dw) in 1977–2000 in the surficial sediments (0–1 cm) of the Brofjorden. Red arrow marks the waste-water discharge at Hamrevik.

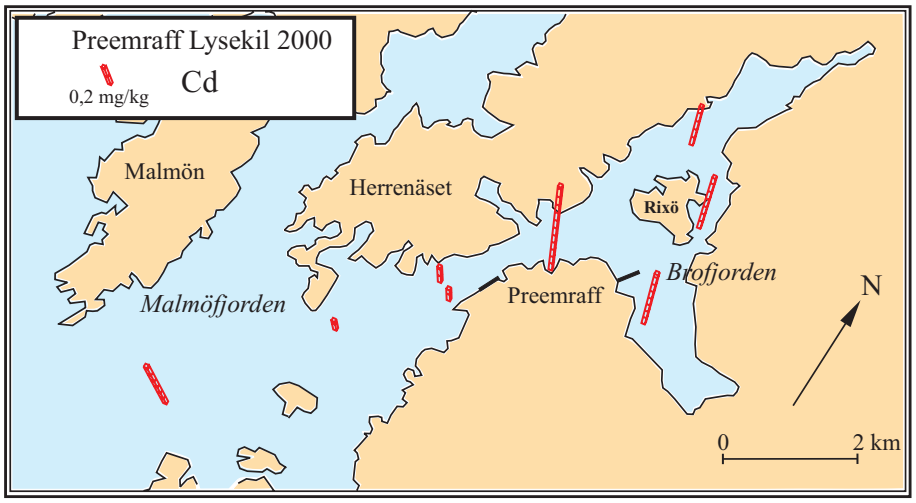


Fig. 5:39. Fördelningen av kadmium (Cd, mg/kg ts) i Brofjordens ytsediment (0–1 cm) 2000.

The distribution of cadmium (Cd, mg/kg dw) in 2000 in the surficial sediments (0–1 cm) of the Brofjorden.

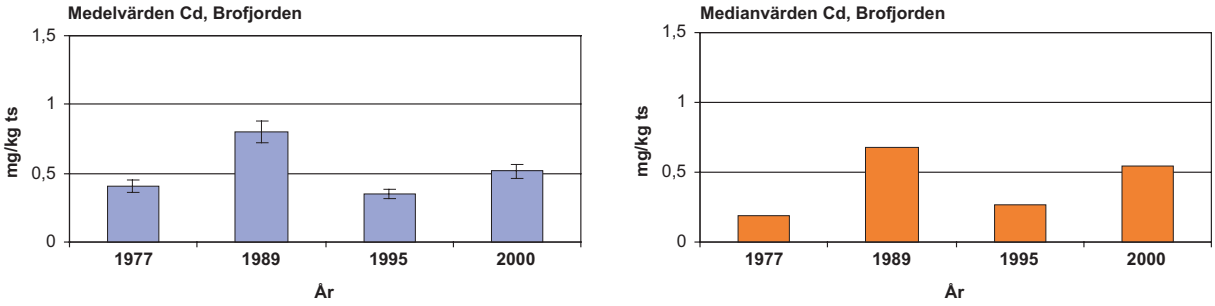


Fig. 5:40. Medelvärden (t.v.) och medianvärden (t.h.) för koncentrationen av kadmium (Cd, mg/kg ts) i Brofjordens ytsediment (0–1 cm) 1977–2000.

Mean (left) and median (right) values of the cadmium (Cd, mg/kg dw) concentrations in 1977–2000 in the surficial sediments (0–1 cm) of the Brofjorden.

Tabell 5:12 Ytsedimentens (0–1 cm) miljökvalitet i Brofjorden 1977–2000 med avseende på kadmiumhalten. Klassning enligt svenska bedömningsgrunder (Naturvårdsverket 1999).

The environmental quality of the surface sediments (0–1 cm) in the Brofjorden with respect to the cadmium content 1977–2000. Classification according to Swedish Environmental Quality Criteria (Naturvårdsverket 1999).

mg/kg År	Cd 1977	Cd 1989	Cd 1995	Cd 2000
S119	-	-	0,54	0,47
324	1,1	7,4	0,37	0,67
S139	-	1,5	0,82	0,74
S150	-	0,95	0,65	1,1
S111	0,21	-	0,16	0,22
S112	0,14	0,36	0,11	0,17
S129	0,17	0,4	0,15	0,14
316	-	-	0,02	0,62

Metaller Avvikelse från jämförvärde	
Klass 1	Ingen obetydlig avvikelse
Klass 2	Liten avvikelse
Klass 3	Tydlig avvikelse
Klass 4	Stor avvikelse
Klass 5	Mycket stor avvikelse

5.6.9.3 Koppar

Analysresultaten från 2000 års sedimentundersökningar avseende koppar (Cu) redovisas i tabell 5:9 och figur 5:41 tillsammans med motsvarande data från 1977, 1989 och 1995 års undersökningar. Ytsedimentens innehåll av Cu år 2000 varierar mellan 19 och 32 mg/kg ts med ett medelvärde och medianvärde av 24 respektive 21 mg/kg ts (tabell 5:10). Den areella variationen av koppar i ytsedimentet (0–1 cm) illustreras i figur 5:42.

Enligt svenska bedömningsgrunder för kust- och havssediment (SNV 1999) uppvisar Brofjordens ytsediment vad avser koppar år 2000 liten (klass 2) till tydlig avvikelse (klass 3) från Naturvårdsverkets jämförvärde på 15 mg/kg ts (tabell 5:13). Koncentrationer över 30 mg/kg (klass 3) påträffades endast på station 324 mellan Rixö och Lahälla. Generellt sett har miljökvaliteten vad avser koppar förbättrats något sedan 1989.

Förändringarna av sedimentens kopparhalter mellan 1977 och 1995 års undersökningar illustreras i figur 33. På samtliga stationer har kopparhalterna successivt minskat mellan 1977 och 1995. Minskningen är i medeltal 25 %. Mellan 1995 och 2000 har kopparhalterna ökat med närmare 20 % om man betraktar medelvärdena och 5 % om man betraktar medianvärdet. Endast på en station (S139) har halten minskat.

Ökningen är statistiskt signifikant eftersom variationskoefficienten för Cu, till följd av ytsedimentens (0–2 cm) inhomogenitet har analyserats och beräknats till 6,6±4,8 % (Cato 1977). Ökningen är dock mindre än de minst 35 %, som baserat på blandningsfaktorn (se avsnitt 2.5, del 2 i denna samlingsvolym), krävs för att en förändring skall kunna detekteras vid ett femårigt provtagningsintervall.

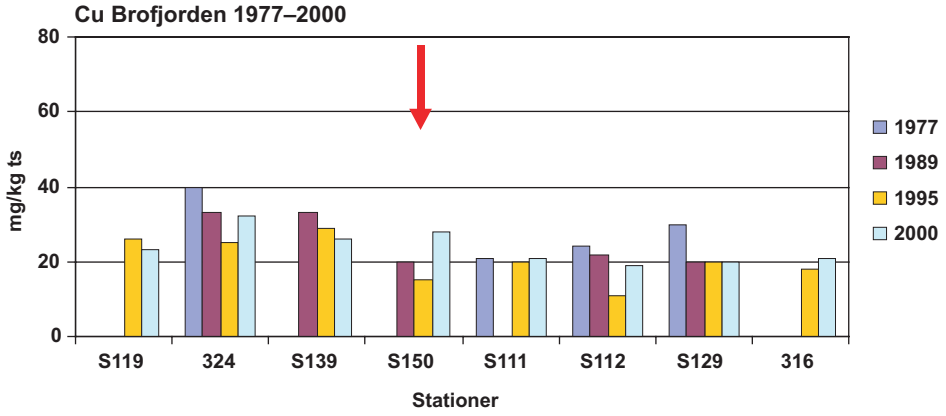


Fig. 5:41. Koncentrationen av koppar (Cu, mg/kg ts) i Brofjordens ytsediment (0–1 cm) 2000. Röd pil markerar spillvattenutsläppet i Hamrevik.

The concentration of copper (Cu, mg/kg dw) in 2000 in the surficial sediments (0–1 cm) of the Brofjorden. Red arrow marks the waste-water discharge at Hamrevik.

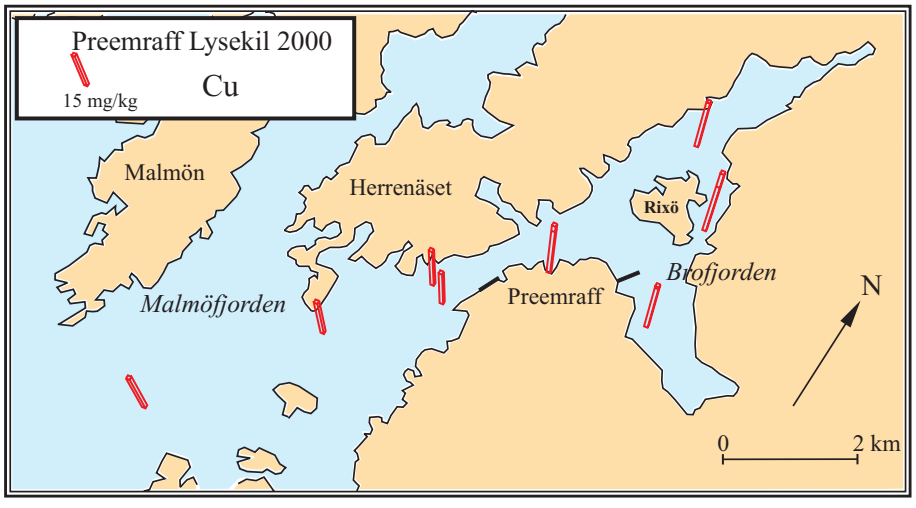


Fig. 5:42. Fördelningen av koppar (Cu, mg/kg ts) i Brofjordens ytsediment (0–1 cm) 2000.

The distribution of copper (Cu, mg/kg dw) in 2000 in the surficial sediments of the Brofjorden.

5.6.9.4 Krom

Analysresultaten från 2000 års sedimentundersökningar avseende krom (Cr) redovisas i tabell 5:9 och figur 5:44. Krom har inte tidigare undersökts i Brofjordens sediment. Ytsedimentens innehåll av krom år 2000 varierar mellan 23 och 39 mg/kg ts med ett medelvärde och medianvärde av 31 respektive 32 mg/kg ts (tabell 5:10). Den areella variationen av arsenik i ytsedimentet (0–1 cm) illustreras i figur 5:45.

Enligt svenska bedömningsgrunder för kust- och havssediment (SNV 1999) uppvisar Brofjordens ytsediment vad avser krom ingen/obetydlig (klass 1) avvikelse från Naturvårdsverkets jämförvärde på 40 mg/kg ts

Tabell 5:13 Ytsedimentens (0–1 cm) miljökvalitet i Brofjorden 1977–2000 med avseende på kopparhalten. Klassning enligt svenska bedömningsgrunder (Naturvårdsverket 1999).

The environmental quality of the surface sediments (0–1 cm) in the Brofjorden with respect to the copper content 1977–2000. Classification according to Swedish Environmental Quality Criteria (Naturvårdsverket 1999).

mg/kg År	Cu 1977	Cu 1989	Cu 1995	Cu 2000
S119	-	-	26	23
324	40	33	25	32
S139	-	33	29	26
S150	-	20	15	28
S111	21	-	20	21
S112	24	22	11	19
S129	30	20	20	20
316	-	-	18	21

Metaller Avvikelse från jämförvärde	
Klass 1	Ingen obetydlig avvikelse
Klass 2	Liten avvikelse
Klass 3	Tydlig avvikelse
Klass 4	Stor avvikelse
Klass 5	Mycket stor avvikelse

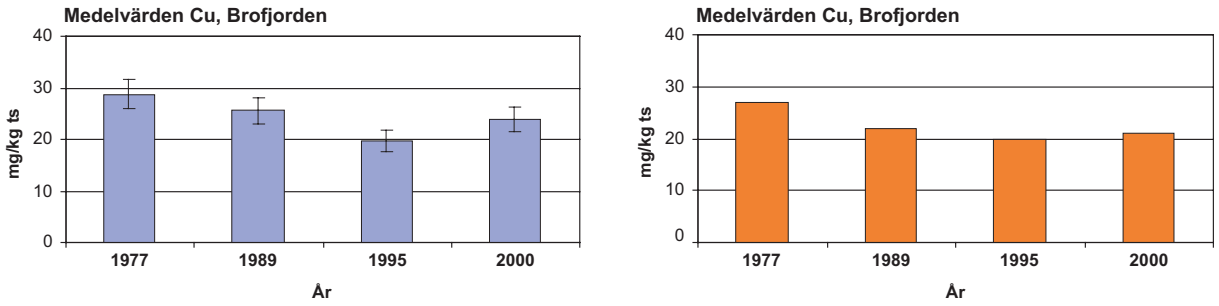


Fig. 5:43. Medelvärden (t.v.) och medianvärden (t.h.) för koncentrationen av koppar (Cu, mg/kg ts) i Brofjordens ytsediment (0–1 cm) 1977–2000.

Mean (left) and median (right) values of the copper (Cu, mg/kg dw) concentrations in 1977–2000 in the surficial sediments (0–1 cm) of the Brofjorden.

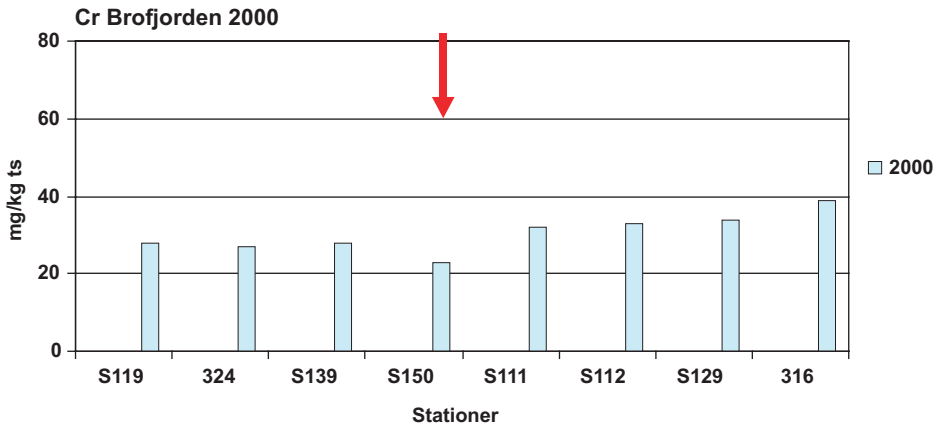


Fig. 5:44. Koncentrationen av krom (Cr, mg/kg ts) i Brofjordens ytsediment (0–1 cm) 2000. Röd pil markerar spillvattenutsläppet i Hamrevik.

The concentration of chromium (Cr, mg/kg dw) in 2000 in the surficial sediments (0–1 cm) of the Brofjorden. Red arrow marks the wastewater discharge at Hamrevik.

(tabell 5:14). De högsta halterna påträffades i Malmöfjorden och den lägsta utanför spillvattenutsläppet i Hamrevik. Inget tyder på att krom skulle emitteras från Preem Lysekils raffinaderiverksamhet.

5.6.9.5 Kvicksilver

Analysresultaten från 2000 års sedimentundersökningar i Brofjorden avseende kvicksilver (Hg) redovisas i tabell 5:9 och figur 5:46 tillsammans med motsvarande data från 1977, 1989 och 1995 års undersökningar. Ytsedimentens innehåll av kvicksilver 2000 varierar mellan 0,06 mg/kg ts och 0,56 mg/kg ts med ett medel-

Tabell 5:14. Ytsedimentens (0–1 cm) miljökvalitet i Brofjorden 2000 med avseende på kromhalten. Klassning enligt svenska bedömningsgrunder (Naturvårdsverket 1999).

The environmental quality of the surface sediments (0–1 cm) in the Brofjorden with respect to the copper content 2000. Classification according to Swedish Environmental Quality Criteria (Naturvårdsverket 1999).

mg/kg År	Cr 1977	Cr 1989	Cr 1995	Cr 2000
S119	-	-	-	28
324	-	-	-	27
S139	-	-	-	28
S150	-	-	-	23
S111	-	-	-	32
S112	-	-	-	33
S129	-	-	-	34
316	-	-	-	39

Metaller Avvikelse från jämförvärde	
Klass 1	Ingen obetydlig avvikelse
Klass 2	Liten avvikelse
Klass 3	Tydlig avvikelse
Klass 4	Stor avvikelse
Klass 5	Mycket stor avvikelse

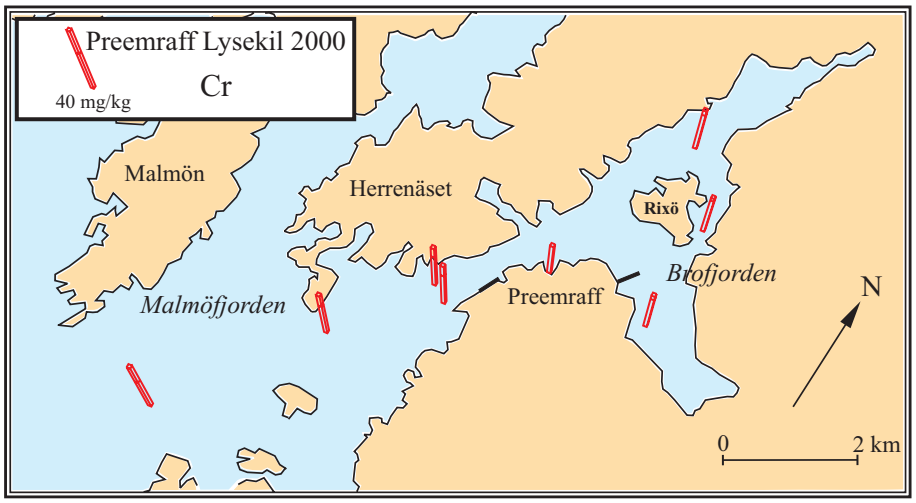


Fig. 5:45. Fördelningen av krom (Cr, mg/kg ts) i Brofjordens ytsediment (0–1 cm) 2000.

The distribution of chromium (Cr, mg/kg dw) in 2000 in the surficial sediments (0–1 cm) of the Brofjorden.

Fig. 5:46. Koncentrationen av kvicksilver (Hg, mg/kg ts) i Brofjordens ytsediment (0–1 cm) 1977–2000. Röd pil markerar spillvattenutsläppet i Hamrevik.

The concentration of mercury (Hg, mg/kg dw) 1977- 2000 in the surficial sediments (0–1 cm) of the Brofjorden. Red arrow marks the wastewater discharge at Hamrevik.

värde och ett medianvärde av 0,08 mg/kg ts (tabell 5:10) om station 324 utesluts. Den areella variationen av kvicksilver i ytsedimentet (0–1 cm) illustreras i figur 5:47.

Koncentrationer över 0,4 mg/kg (klass 4) påträffades endast på station 324 mellan Rixö och Lahälla. Inget tyder på att kvicksilver skulle emitteras från Preem Lysekils raffinaderiverksamhet.

Enligt svenska bedömningsgrunder för kust- och havssediment (SNV 1999) uppvisar Brofjordens ytsediment vad avser kvicksilver år 2000 liten avvikelse (klass 2) från Naturvårdsverkets jämförvärde på 0,04 mg/kg ts (tabell 5:15). Generellt sett har miljökvaliteten vad avser kvicksilver successivt förbättrats sedan 1989.

Förändringarna av sedimentens kvicksilverhalter mellan 1977 och 1995 års undersökningar illustreras i figur 5:48. Efter en kraftig ökning mellan 1977 och 1989 har kvicksilverhalten i ytsedimenten konstant minskat fram till år 2000 till en nivå som ligger långt under 1989 års men också under 1977 års halter. Minskningen sedan 1977 är i medeltal 38 % och sedan 1989 hela 69 %.

Tabell 5:15. Ytsedimentens (0–1 cm) miljökvalitet i Brofjorden 1977–2000 med avseende på kvicksilverhalten. Klassning enligt svenska bedömningsgrunder (Naturvårdsverket 1999).

The environmental quality of the surface sediments (0–1 cm) in the Brofjorden with respect to the mercury content 1977–2000. Classification according to Swedish Environmental Quality Criteria (Naturvårdsverket 1999).

mg/kg År	Hg 1977	Hg 1989	Hg 1995	Hg 2000
S119	-	-	0,11	0,072
324	0,18	0,17	0,08	0,56
S139	-	0,55	0,1	0,094
S150	-	0,13	0,07	0,1
S111	0,1	-	0,11	0,064
S112	0,11	0,36	0,06	0,077
S129	0,13	0,1	0,12	0,073
316	-	-	0,13	0,08

Metaller Avvikelse från jämförvärde	
Klass 1	Ingen obetydlig avvikelse
Klass 2	Liten avvikelse
Klass 3	Tydlig avvikelse
Klass 4	Stor avvikelse
Klass 5	Mycket stor avvikelse

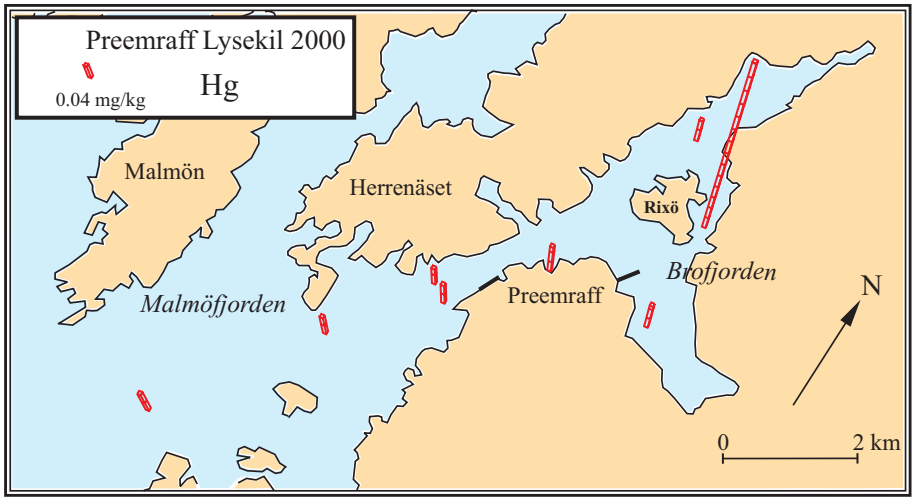


Fig. 5:47. Fördelningen av kvicksilver (Hg, mg/kg ts) i Brofjordens ytsediment (0–1 cm) 2000.

The distribution of mercury (Hg, mg/kg dw) in 2000 in the surficial sediments (0–1 cm) of the Brofjorden.

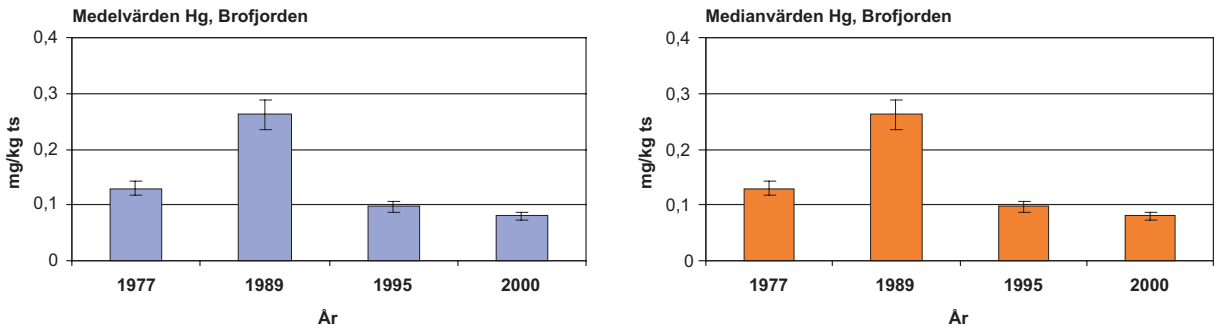


Fig. 5:48. Medelvärden (t.v.) och medianvärden (t.h.) för koncentrationen av kvicksilver (Hg, mg/kg ts) i Brofjordens ytsediment (0–1 cm) 1977–2000.

Mean (left) and median (right) values of the mercury (Hg, mg/kg dw) concentrations in 1977–2000 in the surficial sediments (0–1 cm) of the Brofjorden.

En siffra som kan anses statistiskt signifikant eftersom variationskoefficienten för Hg, till följd av ytsedimentens (0–2 cm) inhomogenitet har analyserats och beräknats till 5,8±3,1 % (Cato 1977). Minskningen är dock mindre än de minst 35 %, som baserat på blandningsfaktorn (se avsnitt 2.5, del 2 i denna samlingsvolym), krävs för att en förändring skall kunna detekteras vid ett femårigt provtagningsintervall.

5.6.9.6 Mangan

Analysresultaten från 2000 års sedimentundersökningar avseende mangan (Mn) redovisas i tabell 5:9 och figur 5:49. Mangan har inte tidigare undersökts i Brofjordens sediment. Ytsedimentens innehåll av mangan år 2000 varierar mellan 130 och 480 mg/kg ts med ett medelvärde och medianvärde av 280 respektive 260 mg/kg ts (tabell 5:10). Den areella variationen av mangan i ytsedimentet (0–1 cm) illustreras i figur 5:50.

Svenska bedömningsgrunder för kust- och havssediment saknas (SNV 1999). De högsta halterna påträffades i Malmöfjorden och den lägsta utanför spillvattenutsläppet i Hamrevik (fig. 5:49). Inget tyder på att mangan skulle emitteras från Preem Lysekils raffinaderiverksamhet. De högre halterna i Malmöfjorden är sannolikt relaterade till den lägre sedimentationshastighet som råder i detta yttre område.

5.6.9.7 Nickel

Analysresultaten från 2000 års sedimentundersökningar avseende nickel (Ni) redovisas i tabell 5:9 och figur 5:51 tillsammans med motsvarande data från 1977, 1989 och 1995 års undersökningar. Ytsedimentens innehåll av Ni år 2000 varierar mellan 17 och 25 mg/kg ts med ett medelvärde och medianvärde av 21 mg/kg ts (tabell 5:10). Den areella variationen av nickel i ytsedimentet (0–1 cm) illustreras i figur 5:52.

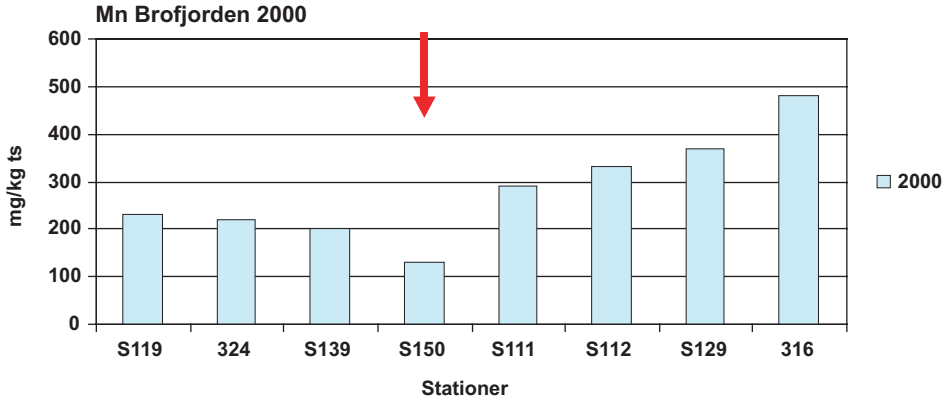


Fig. 5:49. Koncentrationen av mangan (Mn, mg/kg ts) i Brofjordens ytsediment (0–1 cm) 2000.
The concentration of manganese (Mn, mg/kg dw) in 2000 in the surficial sediments (0–1 cm) of the Brofjorden.

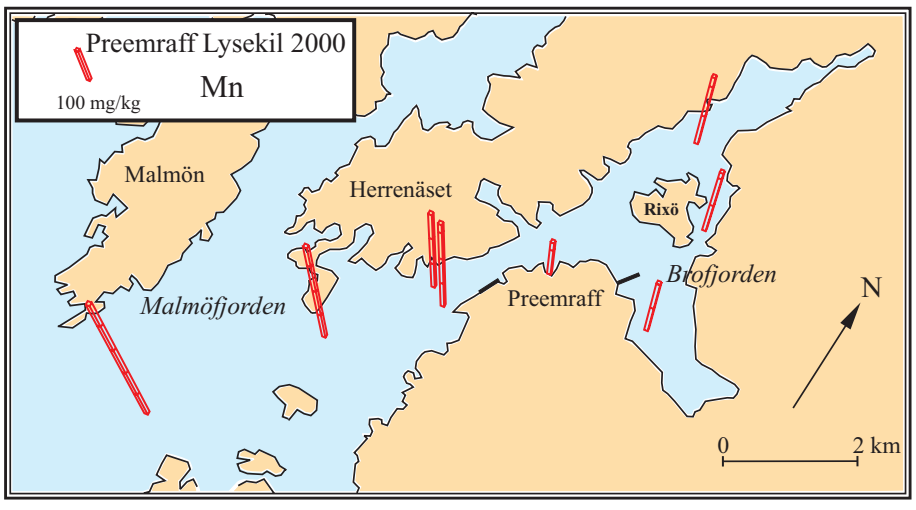


Fig. 5:50. Fördelningen av mangan (Mn, mg/kg ts) i Brofjordens ytsediment (0–1 cm) 2000.
The distribution of manganese (Mn, mg/kg dw) in 2000 in the surficial sediments of the Brofjorden.

Enligt svenska bedömningsgrunder för kust- och havssediment (SNV 1999) uppvisar Brofjordens ytsediment vad avser nickel år 2000 ingen/obetydlig avvikelse (klass 1) från Naturvårdsverkets jämförvärde på 30 mg/kg ts (tabell 5:16). Koncentrationer över 20 mg/kg påträffades utanför Brofjorden medan halterna inne i fjorden låg lägre. Ingenting tyder på att nickel emitteras från Preem Lysekils raffinaderiverksamhet.

Förändringarna av sedimentens nickelhalter mellan 1977 och 2000 års undersökningar illustreras i figur 5:53. På alla utom en av stationerna har nickelhalterna ökat något mellan 1995 och 2000. Ökningen är i medeltal 10 %. En siffra som inte kan anses statistiskt signifikant eftersom variationskoefficienten för Ni, till följd av ytsedimentens (0–2 cm) inhomogenitet har analyserats och beräknats till 8,4±4,8 % (Cato 1977). Minskningen är också betydligt mindre än de minst 35 %, som baserat på blandningsfaktorn (se avsnitt 2.5, del 2 i denna samlingsvolym), krävs för att en förändring skall kunna detekteras vid ett femårigt provtagningsintervall.

5.6.9.8 Bly

Analysresultaten från 2000 års sedimentundersökningar avseende bly (Pb) redovisas i tabell 5:9 och figur 5:54 tillsammans med motsvarande data från 1977, 1989 och 1995 års undersökningar. Ytsedimentens innehåll av bly år 2000 varierar mellan 17 och 44 mg/kg ts med ett medelvärde och medianvärde av 33 respektive 34 mg/kg ts (tabell 5:10). Den areella variationen av bly i ytsedimentet (0–1 cm) illustreras i figur 5:55.

Enligt svenska bedömningsgrunder för kust- och havssediment (SNV 1999) uppvisar Brofjordens ytsediment vad avser bly år 2000 ingen/obetydlig avvikelse (klass 1) till tydlig avvikelse (klass 3) från Naturvårdsverkets jämförvärde på 25 mg/kg ts (tabell 5:17). Den högsta halten (klass 3) påträffades ute i Malmöfjorden (S129) och den lägsta halten (klass 1) utanför spillvattenutsläppet i Hamreviken (S150). Ingenting tyder på att bly emitteras från Preem Lysekils raffinaderianläggning.

Tabell 5:16. Ytsedimentens (0–1 cm) miljökvalitet i Brofjorden 1977–2000 med avseende på nickelhalten. Klassning enligt svenska bedömningsgrunder (Naturvårdsverket 1999).

The environmental quality of the surface sediments (0–1 cm) in the Brofjorden with respect to the nickel content 1977–2000. Classification according to Swedish Environmental Quality Criteria (Naturvårdsverket 1999).

mg/kg År	Ni 1977	Ni 1989	Ni 1995	Ni 2000
S119	-	-	19	18
324	16	29	17	17
S139	-	13	21	18
S150	-	22	12	18
S111	18	-	21	22
S112	18	27	14	21
S129	22	10	23	23
316	-	-	21	25

Metaller Avvikelse från jämförvärde	
Klass 1	Ingen obetydlig avvikelse
Klass 2	Liten avvikelse
Klass 3	Tydlig avvikelse
Klass 4	Stor avvikelse
Klass 5	Mycket stor avvikelse

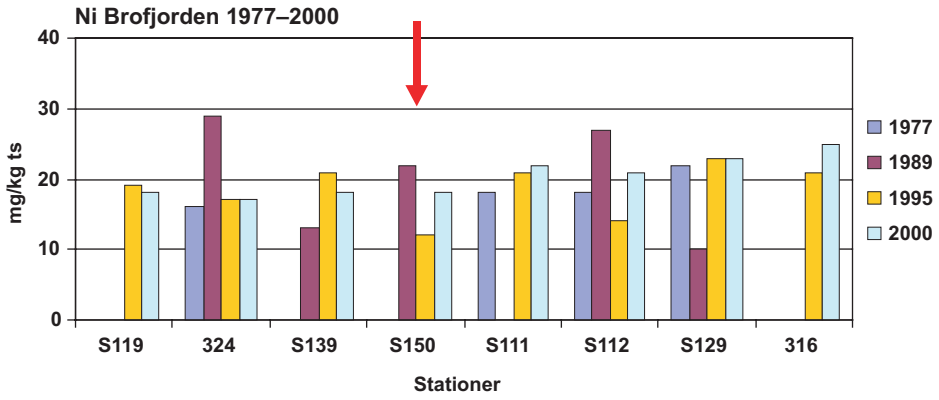


Fig. 5:51. Koncentrationen av nickel (Ni, mg/kg ts) i Brofjordens ytsediment (0–1 cm) 1977–2000. Röd pil markerar spillvattenutsläppet i Hamrevik.

The concentration of nickel (Ni, mg/kg dw) 1977–2000 in the surficial sediments (0–1 cm) of the Brofjorden. Red arrow marks the waste-water discharge at Hamrevik.

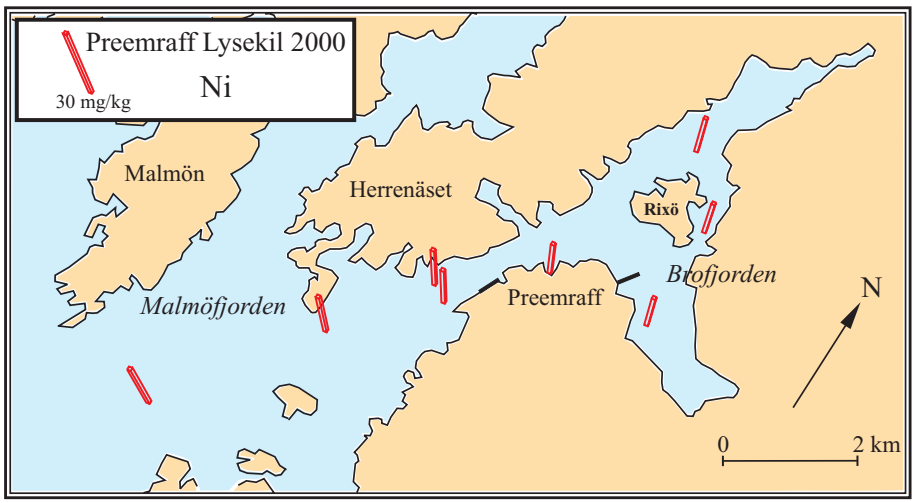


Fig. 5:52. Fördelningen av nickel (Ni, mg/kg ts) i Brofjordens ytsediment (0–1 cm) 2000.

The distribution of nickel (Ni, mg/kg dw) in 2000 in the surficial sediments of the Brofjorden.

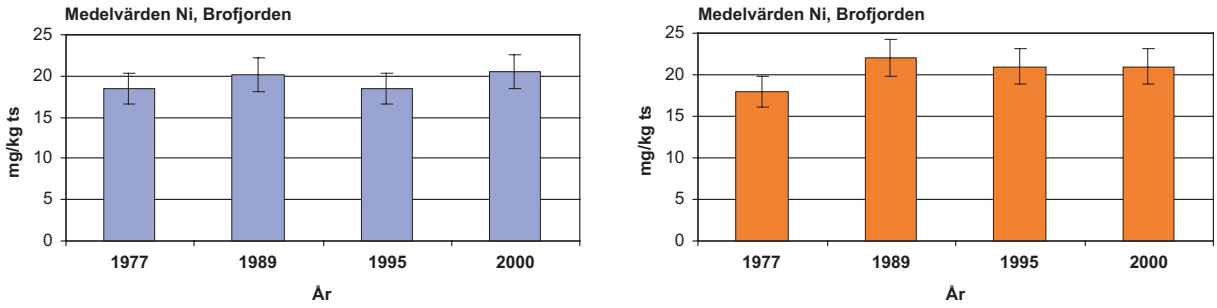


Fig. 5:53. Medelvärden (t.v.) och medianvärden (t.h.) för koncentrationen av nickel (Ni, mg/kg ts) i Brofjordens ytsediment (0–1 cm) 1977–2000.

Mean (left) and median (right) values of the nickel (Ni, mg/kg dw) concentrations in 1977–2000 in the surficial sediments (0–1 cm) of the Brofjorden.

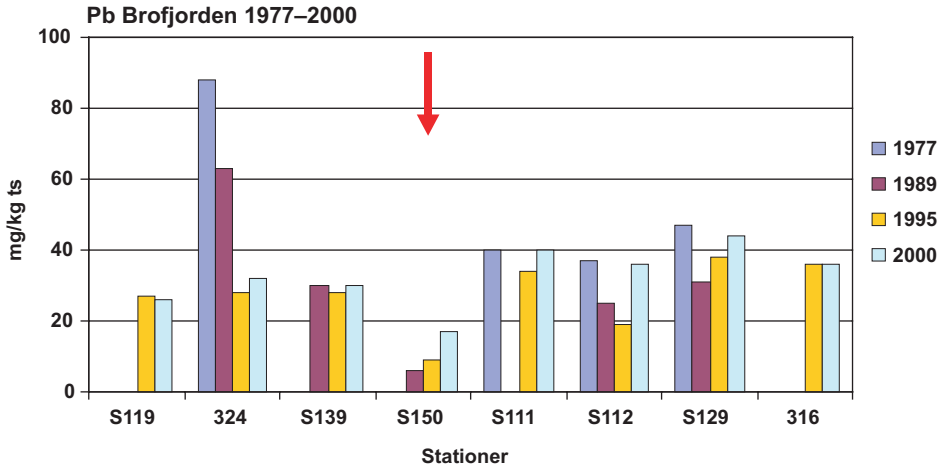


Fig. 5:54. Koncentrationen av bly (Pb, mg/kg ts) i Brofjordens ytsediment (0–1 cm) 1977–2000. Röd pil markerar spillvattenutsläppet i Hamrevik.

The concentration of lead (Pb, mg/kg dw) 1977–2000 in the surficial sediments (0–1 cm) of the Brofjorden. Red arrow marks the waste-water discharge at Hamrevik.

Förändringarna av sedimentens blyhalter mellan 1977 och 1995 års undersökningar illustreras i figur 5:56. På samtliga stationer utom på en har blyhalterna minskat mellan 1977 och 1995. Minskningen är i medeltal 45 %. Mellan 1995 och 2000 har koncentrationen stigit med i medeltal 15–20 %.

En siffra som kan anses statistiskt signifikant eftersom variationskoefficienten för Pb, till följd av ytsedimentens (0–2 cm) inhomogenitet har analyserats och beräknats till 6,1±5,9 % (Cato 1977). Minskningen är också betydligt mindre än de minst 35 %, som baserat på blandningsfaktorn (se avsnitt 2.5, del 2 i denna samlingsvolym), krävs för att en förändring skall kunna detekteras vid ett femårigt provtagningsintervall. På tre stationer har halterna ökat med ca 15 % mellan 1989 och 1995. Extremvärdet (720 mg/kg) på station S141 från 1989 har inte kunnat verifieras i 1995 och 2000 års undersökningar. Det mest sannolika är att värdet berodde på ett analysfel, vilket också antogs av Cato (1990). Värdet har därför uteslutits ur de statistiska beräkningarna.

Tabell 5:17. Ytsedimentens (0–1 cm) miljökvalitet i Brofjorden 1977–2000 med avseende på blyhalten. Klassning enligt svenska bedömningsgrunder (Naturvårdsverket 1999).

The environmental quality of the surface sediments (0–1 cm) in the Brofjorden with respect to the lead content 1977–2000. Classification according to Swedish Environmental Quality Criteria (Naturvårdsverket 1999).

mg/kg År	Pb 1977	Pb 1989	Pb 1995	Pb 2000
S119	-	-	27	26
324	88	63	28	32
S139	-	30	28	30
S150	-	5,9	9,2	17
S111	40	-	34	40
S112	37	25	19	36
S129	47	31	38	44
316	-	-	36	36

Metaller Avvikelse från jämförvärde	
Klass 1	Ingen obetydlig avvikelse
Klass 2	Liten avvikelse
Klass 3	Tydlig avvikelse
Klass 4	Stor avvikelse
Klass 5	Mycket stor avvikelse

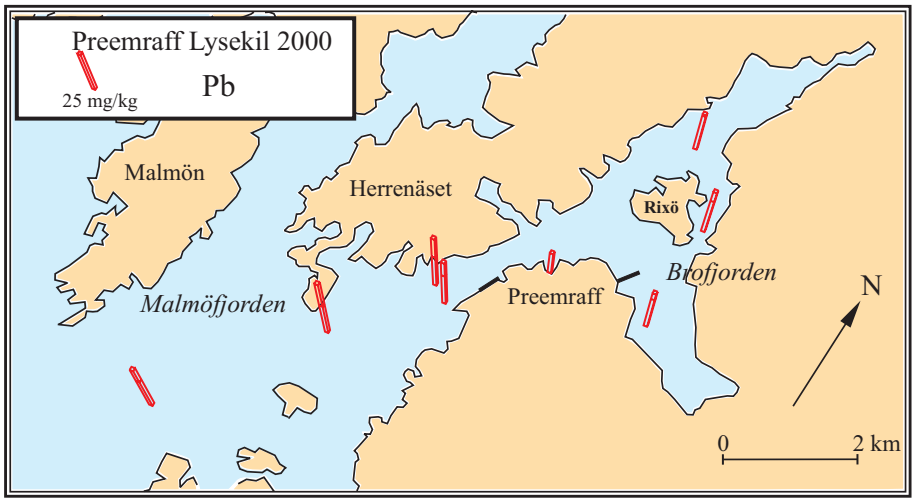


Fig. 5:55. Fördelningen av bly (Pb, mg/kg ts) i Brofjordens ytsediment (0–1 cm) 2000.

The distribution of lead (Pb, mg/kg dw) in 2000 in the surficial sediments (0–1 cm) of the Brofjorden.

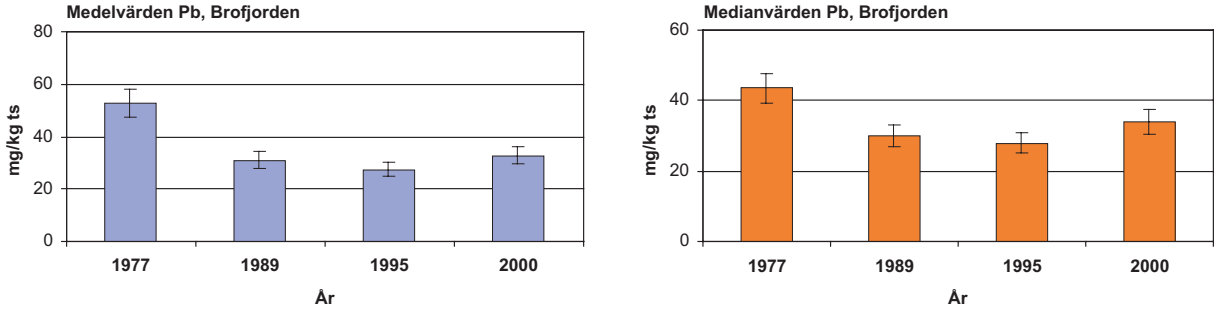


Fig. 5:56. Medelvärden (t.v.) och medianvärden (t.h.) för koncentrationen av bly (Pb, mg/kg ts) i Brofjordens ytsediment (0–1 cm) 1977–2000.

Mean (left) and median (right) values of the leadl (Pb, mg/kg dw) concentrations in 1977–2000 in the surficial sediments of the Brofjorden.

5.6.9.9 Tenn

Analysresultaten från 2000 års sedimentundersökningar avseende tenn (Sn) redovisas i tabell 5:9 och figur 5:57. Tenn har inte tidigare undersökts i Brofjordens sediment. Ytsedimentens (0–1 cm) innehåll av tenn år 2000 varierar mellan 2,2 och 5 mg/kg ts med ett medelvärde och medianvärde av 3,5 respektive 3,6 mg/kg ts (tabell 5:10). Den areella variationen av tenn i ytsedimentet (0–1 cm) illustreras i figur 5:58.

Svenska bedömningsgrunder för tenn i kust- och havssediment saknas (SNV 1999). De högsta halterna påträffades inne i Brofjorden och den lägsta utanför spillvattenutsläppet i Hamrevik (fig. 5:57). Inget tyder på att tenn skulle emitteras från Preem Lysekils raffinaderiverksamhet. Observera att detta inte är frågan om organiskt tenn.

5.6.9.10 Vanadin

Analysresultaten från 2000 års sedimentundersökningar avseende vanadin (V) redovisas i tabell 5:9 och figur 5:59 tillsammans med motsvarande data från 1989 och 1995 års undersökningar. Vanadin undersöktes inte inom ramen för 1977 års undersökningar. Ytsedimentens innehåll av vanadin 2000 varierar mellan 45 och 65 mg/kg ts med ett medelvärde och medianvärde av 53 mg/kg ts (tabell 5:10). Den areella variationen av vanadin i ytsedimentet (0–1 cm) illustreras i figur 5:60.

Svenska bedömningsgrunder för vanadin i kust- och havssediment saknas (SNV 1999). De högsta halterna påträffades utanför Brofjorden och den lägsta halterna innanför tröskeln vid Stretudden (fig. 5:60). Inget tyder på att vanadin skulle emitteras från Preem Lysekils raffinaderiverksamhet.

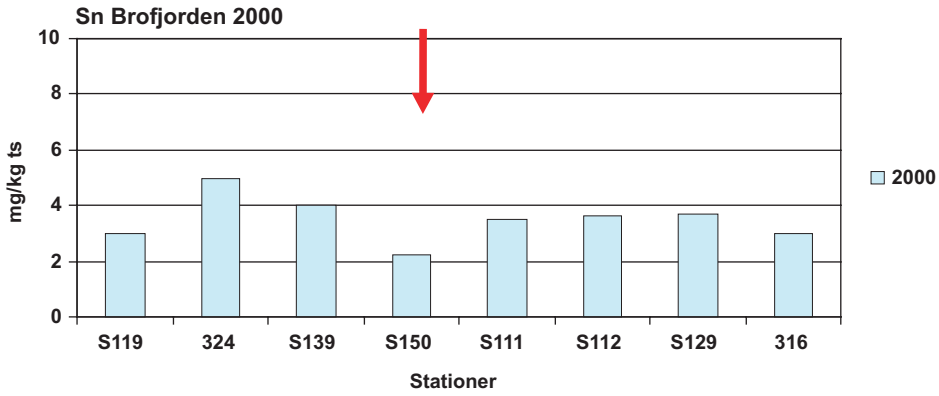


Fig. 5:57. Koncentrationen av tenn (Sn, mg/kg ts) i Brofjordens ytsediment (0–1 cm) 2000. Röd pil markerar spillvattenutsläppet i Hamrevik.
The concentration of tin (Sn, mg/kg dw) in 2000 in the surficial sediments (0–1 cm) of the Brofjorden. Red arrow marks the waste-water discharge at Hamrevik.

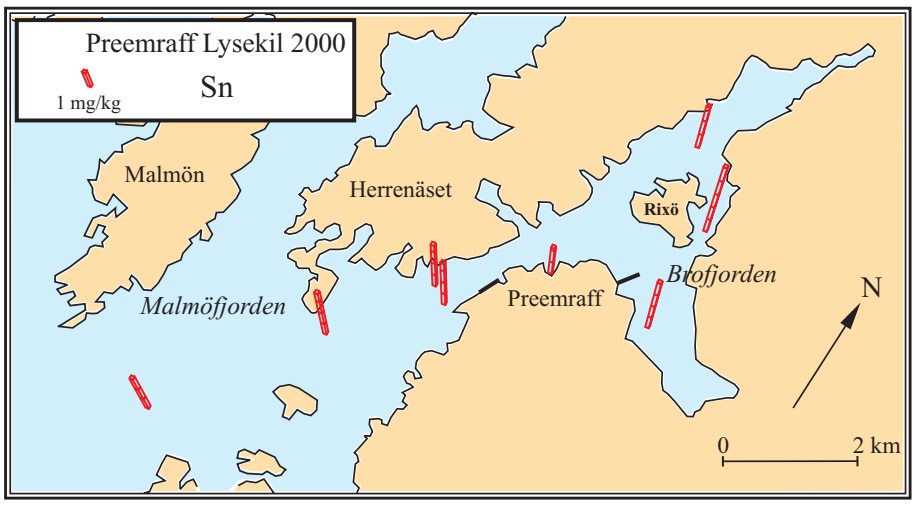


Fig. 5:58. Fördelningen av tenn (Sn, mg/kg ts) i Brofjordens ytsediment (0–1 cm) 2000.
The distribution of tin (Sn, mg/kg dw) in 2000 in the surficial sediments (0–1 cm) of the Brofjorden.

Förändringarna av sedimentens vanadinhalter mellan 1989 och 1995 års undersökningar illustreras i figur 5:61. På samtliga stationer har vanadinhalterna sjunkit kraftigt mellan 1989 och 1995. Minskningen är i medeltal 40 %. Halterna har fortsatt att sjunka mellan 1995 och 2000 med i medeltal 5 %.

En siffra som är betydligt mindre än de minst 35 %, som baserat på blandningsfaktorn (se avsnitt 2.5, del 2 i denna samlingsvolym), krävs för att en förändring skall kunna detekteras vid ett femårigt provtagningsintervall.

5.6.9.11 Zink

Analysresultaten från 2000 års sedimentundersökningar avseende zink (Zn) redovisas i tabell 5:9 och figur 5:62 tillsammans med motsvarande data från 1977, 1989 och 1995 års undersökningar. Ytsedimentens innehåll av zink 2000 varierar mellan 71 och 110 mg/kg ts med ett medelvärde och medianvärde av 88 respektive 85 mg/kg ts (tabell 5:10). Den areella variationen av zink i ytsedimentet (0–1 cm) illustreras i figur 5:63.

Enligt svenska bedömningsgrunder för kust- och havssediment (SNV 1999) uppvisar Brofjordens ytsediment vad avser zink år 2000 ingen/obetydlig avvikelse (klass 1) till liten avvikelse (klass 2) från Naturvårdsverkets jämförvärde på 85 mg/kg ts (tabell 5:18). Koncentrationer över 128 mg/kg (klass 2) påträffades mellan Lahälla och Rixö (324) och utanför spillvattenutsläppet i Hamrevik (S150) medan halterna i övrigt låg lägre. Ingenting tyder på att zink emitteras från Preem Lysekils raffinaderiverksamhet.

Av tabell 5:18 framgår att miljökvaliteten i Brofjorden successivt förbättrats sedan 1989.

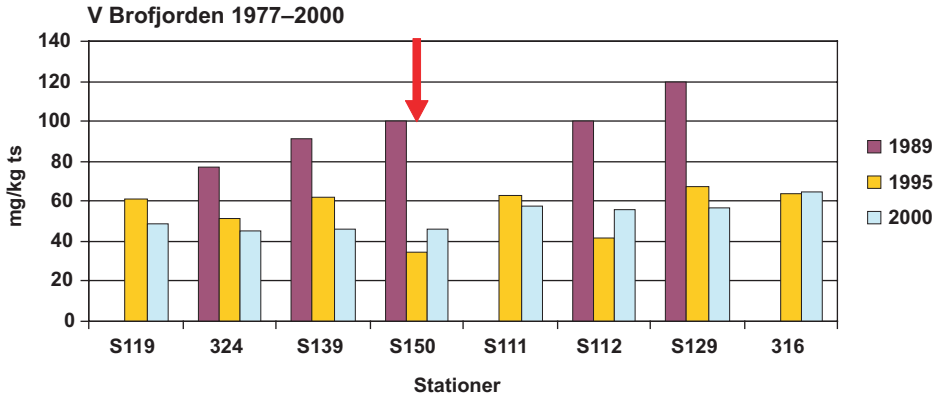


Fig. 5:59. Koncentrationen av vanadin (V, mg/kg ts) i Brofjordens ytsediment (0–1 cm) 1989–2000. Röd pil markerar spillvattenutsläppet i Hamrevik.

The concentration of vanadium (V, mg/kg dw) 1989–2000 in the surficial sediments (0–1 cm) of the Brofjorden. Red arrow marks the wastewater discharge at Hamrevik.

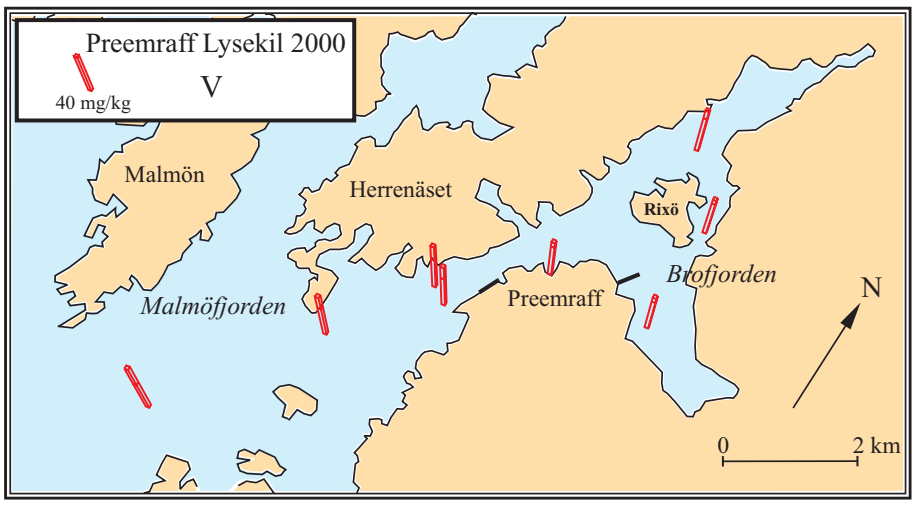


Fig. 5:60. Fördelningen av vanadin (V, mg/kg ts) i Brofjordens ytsediment (0–1 cm) 2000.

The distribution of vanadium (V, mg/kg dw) in 2000 in the surficial sediments of the Brofjorden.

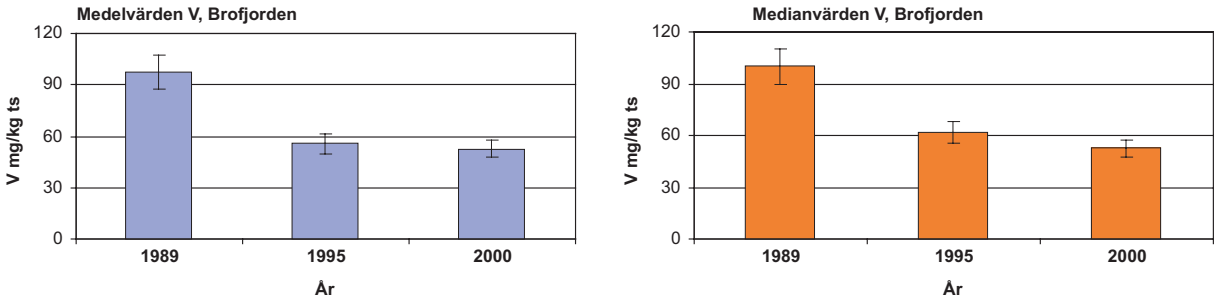


Fig. 5:61. Medelvärden (t.v.) och medianvärden (t.h.) för koncentrationen av vanadin (V, mg/kg ts) i Brofjordens ytsediment (0–1 cm) 1989–2000.

Mean (left) and median (right) values of the vanadium (V, mg/kg dw) concentrations in 1989–2000 in the surficial sediments (0–1 cm) of the Brofjorden.

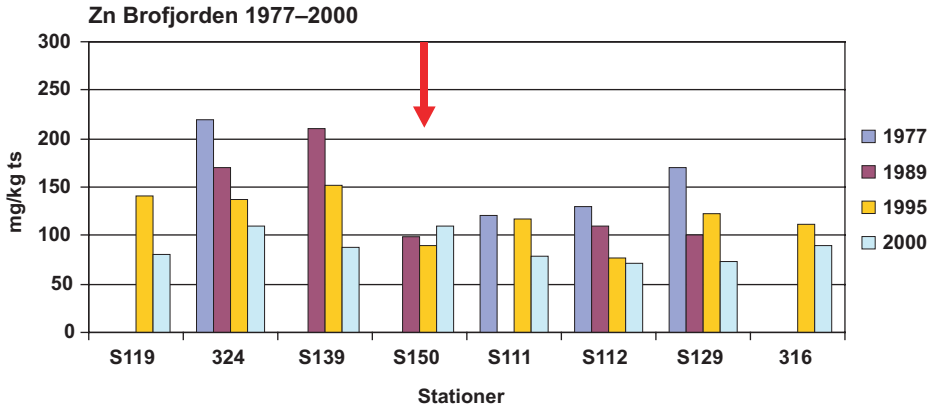


Fig. 5:62. Koncentrationen av zink (Zn, mg/kg ts) i Brofjordens ytsediment (0–1 cm) 1977–2000. Röd pil markerar spillvattenutsläppet i Hamrevik.

The concentration of zinc (Zn, mg/kg dw) 1977–2000 in the surficial sediments (0–1 cm) of the Brofjorden. Red arrow marks the waste-water discharge at Hamrevik.

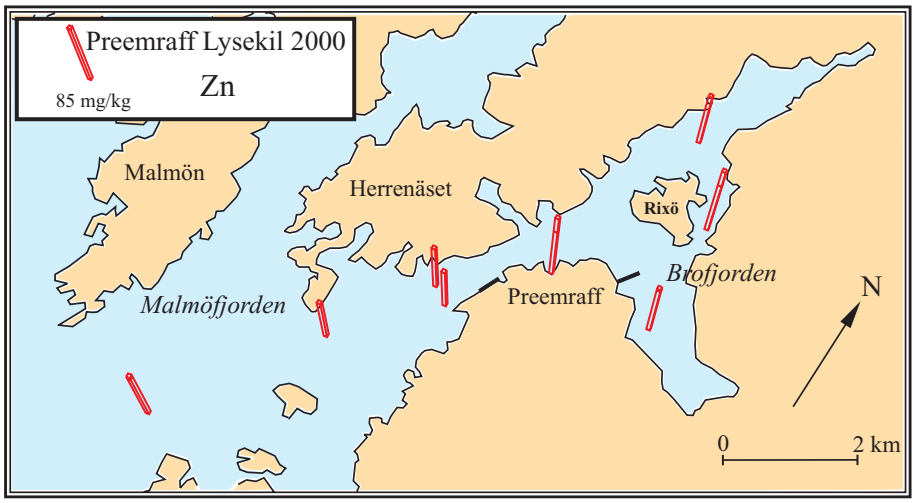


Fig. 5:63. Fördelningen av zink (Zn, mg/kg ts) i Brofjordens ytsediment (0–1 cm) 2000.

The distribution of zinc (Zn, mg/kg dw) in 2000 in the surficial sediments of the Brofjorden.

Tabell 5:18. Ytsedimentens (0–1 cm) miljökvalitet i Brofjorden 1977–2000 med avseende på zinkhalten. Klassning enligt svenska bedömningsgrunder (Naturvårdsverket 1999).

The environmental quality of the surface sediments (0–1 cm) in the Brofjorden with respect to the zinc content 1977–2000. Classification according to Swedish Environmental Quality Criteria (Naturvårdsverket 1999).

mg/kg År	Zn 1977	Zn 1989	Zn 1995	Zn 2000
S119	-	-	141	81
324	220	170	138	110
S139	-	210	152	88
S150	-	99	89	110
S111	120	-	117	78
S112	130	110	76	71
S129	170	100	122	73
316	-	-	112	89

Metaller Avvikelse från jämförvärde	
Klass 1	Ingen obetydlig avvikelse
Klass 2	Liten avvikelse
Klass 3	Tydlig avvikelse
Klass 4	Stor avvikelse
Klass 5	Mycket stor avvikelse

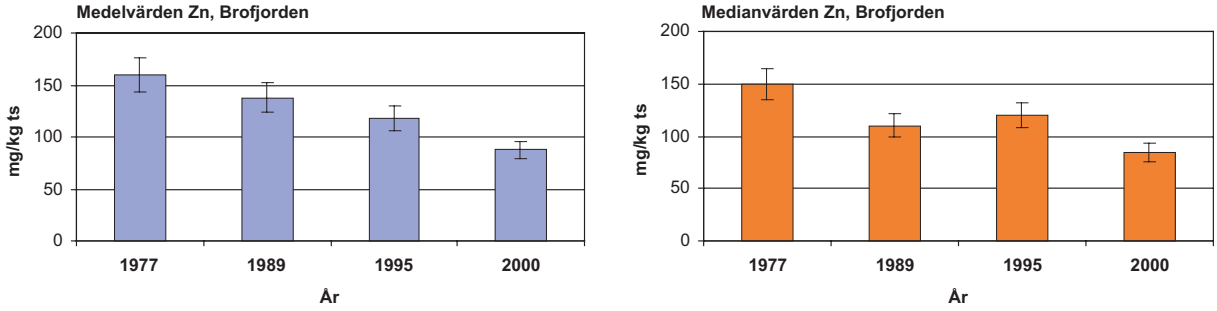


Fig. 5:64. Medelvärden (t.v.) och medianvärden (t.h.) för koncentrationen av zink (Zn, mg/kg ts) i Brofjordens ytsediment (0–1 cm) 1977–1995.

Mean (left) and median (right) values of the zinc (Zn, mg/kg dw) concentrations in 1977–1995 in the surficial sediments (0–1 cm) of the Brofjorden.

Förändringarna av sedimentens zinkhalter mellan 1977 och 2000 års undersökningar illustreras i figur 5:64. På samtliga stationer har zinkhalterna mer eller mindre successivt minskat mellan 1977 och 2000. Minskningen är i medeltal 45 %.

En siffra som är statistiskt signifikant eftersom variationskoefficienten för Zn, till följd av ytsedimentens (0–2 cm) inhomogenitet har analyserats och beräknats till 5,3±3,4 % (Cato 1977). En siffra som också är större än de minst 35 %, som baserat på blandningsfaktorn (se avsnitt 2.5, del 2 i denna samlingsvolym), krävs för att en förändring skall kunna detekteras vid ett femårigt provtagningsintervall.

5.6.10 METALLERNAS AREELLA FÖRDELNINGSMÖNSTER

Metallernas geografiska (areella) variation i ytsedimenten (0–1 cm) visar på en reltivt jämn geografisk fördelning inom undersökningsområdet (se figurerna 5:37–5:63). De lägsta halterna av As, Cr, Mn, Ni, Pb och V påträffas innanför Stretudden, medan halterna ute i Malmöfjorden ligger något högre. Den areella fördelningen är inte en effekt av kornstorleksvariationer och endast marginellt påverkad av sedimentens organiska halt. Från detta generella mönster skiljer sig Cd, Sn och i viss mån Cu och Zn, som tvärtemot övriga metaller uppvisar de högsta halterna inne i Brofjorden. Undantag utgör dock kadmium på station 316 i yttre Malmöfjorden.

Halterna utanför raffinaderiets spillvattenutsläpp i Hamreviken ligger lägre eller skiljer sig inte från övriga halter i Brofjorden. Undantag är kadmium, som uppvisar den högsta halten i Hamrevik. Nästan lika höga kadmiumhalter förekommer dock runt Rixö och i Trommekilens yttre del, vilket indikerar att flera källor till kadmium kan förekomma i området.

Det areella och generella fördelningsmönstret år 2000 liknar 1995 års fördelningsmönster, dock med undantag för Hg som på station 324 år 2000 uppvisar ca sju gånger högre halt i ytsedimentet jämfört med 1995 (tabell 5:9).

Det areella fördelningsmönstret år 2000 tyder inte på att några metallutsläpp sker via Preem Lysekils spillvattenutsläpp i Hamreviken. Undantag från detta utgör möjligen kadmium. I övrigt förefaller en källa för kvicksilver ligga i området väster om Rixö alternativt att ett engångsutsläpp skett i detta område efter 1995.

5.6.11 TUNGMETALLBELASTNINGEN OCH DESS FÖRÄNDRING I BROFJORDEN MELLAN 1989–2000

För att eliminera de i ovan beskrivna naturliga variationerna i syfte att på ett objektivt sätt utröna tungmetallbelastningen i Brofjordens bottensediment år 2000 och om denna belastning har förändrats sedan de tre tidigare undersökningarna 1977, 1989 och 1995 har den s.k. Gradientmetoden utnyttjats (Cato 1977, 1989, se även avsnitt 1.3, del 1 i denna samlingsvolym). Observera att nya beräkningar gjorts på 1989 års material till följd av förändringarna i stationsnätet, dvs. de data som presenterades i föregående sedimentrapport från Brofjorden (Cato 1997) är inte aktuella i denna jämförande studie.

Resultaten från de tre undersökningsperioderna 1989, 1995 och 2000 visar att metallerna kadmium, koppar och zink är väl associerade med det organiska materialet (uttryckt som totalt organiskt kol, TOC). Kvicksilver uppvisar, till skillnad från tidigare år, en starkt positiv korrelation med TOC för år 2000. Övriga metaller, arsenik, bly, mangan, nickel, krom, tenn och vanadin uppvisar ingen eller en dålig alternativt en starkt negativ korrelation till organiskt kol. I figurerna 5:65–5:73 illustreras berörda samband. Korrelationskoefficienterna och signifikansen för sambanden finns redovisade i tabellerna 5:19–5:20.

I samma figurer samt i tabellerna 5:19 och 5:21 redovisas motsvarande samband till kornstorleksfraktionen <2 µm vad avser undersökningarna 1989 och 2000. Noterbart är att kadmium, koppar, kvicksilver och zink uppvisar en starkt negativ korrelation till mineralfraktionen (<2 µm), dvs. resultaten styrker den ovan nämnda starka kopplingen mellan dessa metaller och organiskt material. Omvänt visar de starkt positiva sambanden mellan krom, mangan, bly, vanadin (och i viss mån nickel och tenn) och mineralfraktionen (<2 µm), att dessa metaller är associerade med de finaste mineralpartiklarna i sedimentet. Motsvarande korrelationer har inte varit möjliga att göra för 1995 års undersökningar, enär dessa saknar analys av kornstorleksfraktionen <2 µm.

Resultaten visar att metallerna antingen är associerade med det organiska materialet alternativt med det oorganiska materialet, främst lermineralen (kornstorleksfraktionen <2 µm), i sedimentet. Detta innebär att belastningsgradienterna för respektive metall beräknas utifrån den dominerande bärarsubstansen (organiskt respektive oorganiskt material).

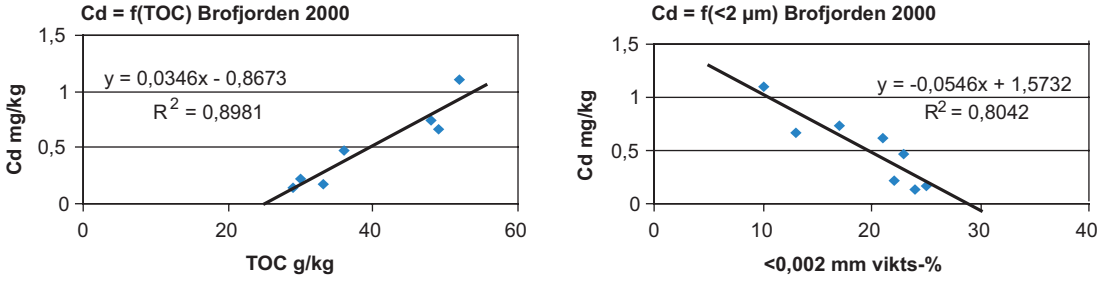


Fig. 5:65. Sambandet mellan kadmium (Cd) och totalt organiskt kol (TOC) respektive kadmium (Cd) och kornstorleksfraktionen (<2 µm) i Brofjordens ytsediment (0–1 cm) 2000.

The relationship between cadmium (Cd) and total organic carbon (TOC), and cadmium (Cd) and the grain-size fraction (<2 µm) respectively in the surficial sediments (0–1 cm) of the Brofjorden in 2000.

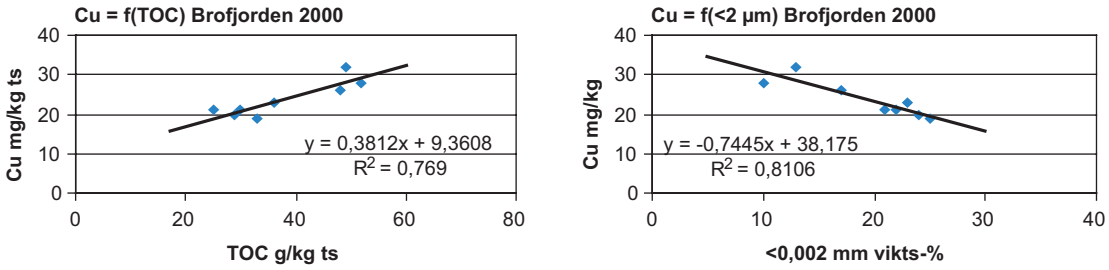


Fig. 5:66. Sambandet mellan koppar (Cu) och totalt organiskt kol (TOC) respektive koppar (Cu) och kornstorleksfraktionen (<2 µm) i Brofjordens ytsediment (0–1 cm) 2000.

The relationship between copper (Cu) and total organic carbon (TOC), and copper (Cu) and the grain-size fraction (<2 µm) respectively in the surficial sediments (0–1 cm) of the Brofjorden in 2000.

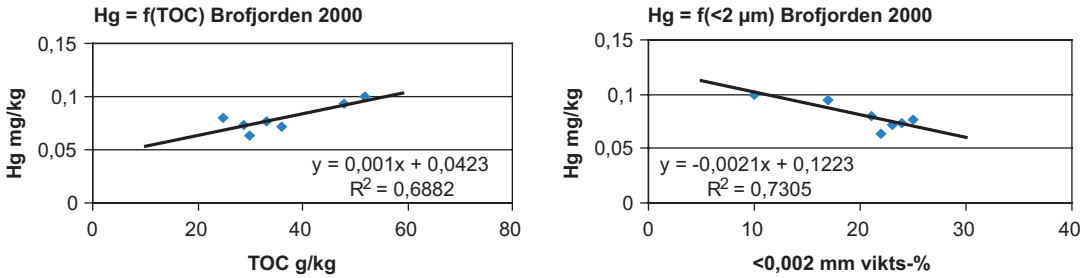


Fig. 5:67. Sambandet mellan kvicksilver (Hg) och totalt organiskt kol (TOC) respektive kvicksilver (Hg) och kornstorleksfraktionen (<2 µm) i Brofjordens ytsediment (0–1 cm) 2000.

The relationship between mercury (Hg) and total organic carbon (TOC), and mercury (Hg) and the grain-size fraction (<2 µm) respectively in the surficial sediments (0–1 cm) of the Brofjorden in 2000.

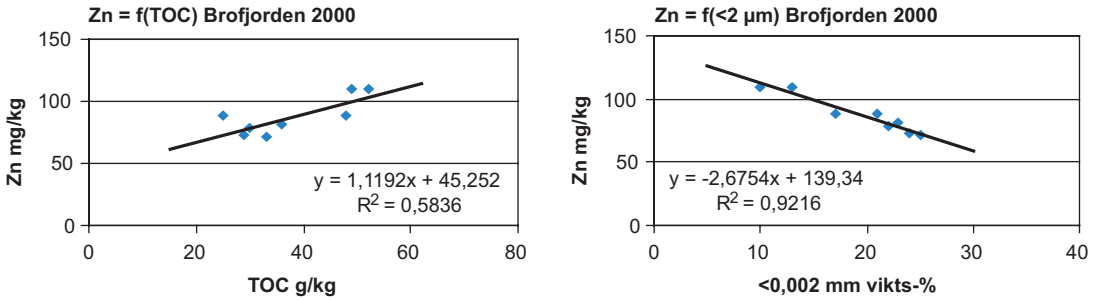


Fig. 5:68. Sambandet mellan zink (Zn) och totalt organiskt kol (TOC) respektive zink (Zn) och kornstorleksfraktionen (<2 µm) i Brofjordens ytsediment (0–1 cm) 2000.

The relationship between zinc (Zn) and total organic carbon (TOC), and zinc (Zn) and the grain-size fraction (<2 µm) respectively in the surficial sediments(0–1 cm) of the Brofjorden in 2000.

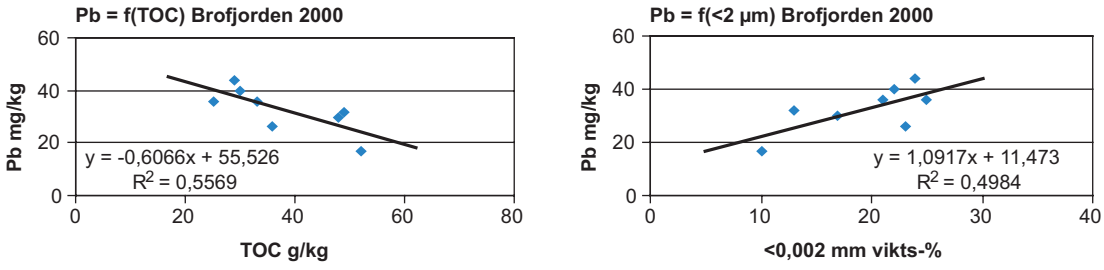


Fig. 5:69. Sambandet mellan bly (Pb) och totalt organiskt kol (TOC) respektive bly (Pb) och kornstorleksfraktionen (<2 µm) i Brofjordens ytsediment (0–1 cm) 2000.

The relationship between lead (Pb) and total organic carbon (TOC), and lead (Pb) and the grain-size fraction (<2 µm) respectively in the surficial sediments (0–1 cm) of the Brofjorden in 2000.

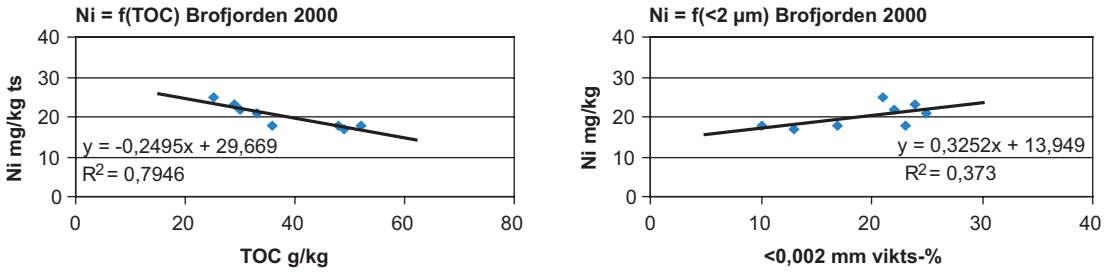


Fig. 5:70. Sambandet mellan nickel (Ni) och totalt organiskt kol (TOC) respektive nickel (Ni) och kornstorleksfraktionen (<2 µm) i Brofjordens ytsediment (0–1 cm) 2000.

The relationship between nickel (Ni) and total organic carbon (TOC), and nickel (Ni) and the grain-size fraction (<2 µm) respectively in the surficial sediments (0–1 cm) of the Brofjorden in 2000.

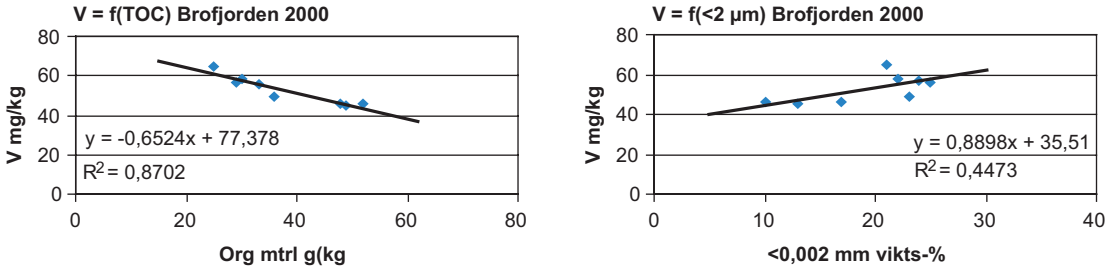


Fig. 5:71. Sambandet mellan vanadin (V) och totalt organiskt kol (TOC) respektive vanadin (V) och kornstorleksfraktionen (<2 µm) i Brofjordens ytsediment (0–1 cm) 2000.

The relationship between vanadium (V) and total organic carbon (TOC), and vanadium (V) and the grain-size fraction (<2 µm) respectively in the surficial sediments (0–1 cm) of the Brofjorden in 2000.

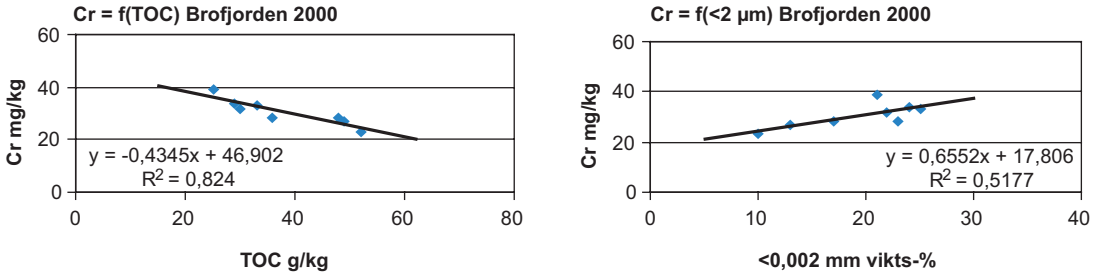


Fig. 5:72. Sambandet mellan krom (Cr) och totalt organiskt kol (TOC) respektive krom (Cr) och kornstorleksfraktionen (<2 µm) i Brofjordens ytsediment (0–1 cm) 2000.

The relationship between chromium (Cr) and total organic carbon (TOC), and chromium (Cr) and the grain-size fraction (<2 µm) respectively in the surficial sediments (0–1 cm) of the Brofjorden in 2000.

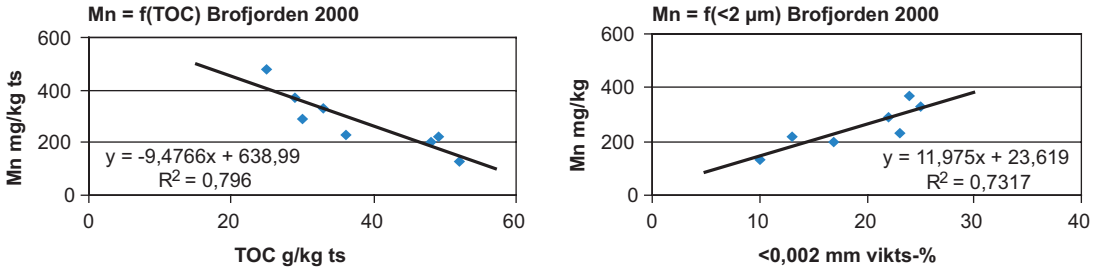


Fig. 5:73. Sambandet mellan mangan (Mn) och totalt organiskt kol (TOC) respektive mangan (Mn) och kornstorleksfraktionen (<2 µm) i Brofjordens ytsediment (0–1 cm) 2000.

The relationship between manganese (Mn) and total organic carbon (TOC), and manganese (Mn) and the grain-size fraction (<2 µm) respectively in the surficial sediments (0–1 cm) of the Brofjorden in 2000.

Tabell 5:19. Korrelationskoefficienter (r) för det linjära sambandet mellan några tungmetaller och totalt organiskt kol (TOC) i ytsediment (0–1 cm) från Brofjorden åren 1989–2000, samt motsvarande samband till kornstorleksfraktionen <63 µm (n=8).

The linear correltion coefficients for the relationship between some heavy metals and total organic carbon (TOC), and the corresponding relationship to the grain-size fraction <63 µm in the surficial sediments (0–1 cm) of the Brofjorden in the years 1989–2000 (n=8).

Metall	1989 TOC (r^2)	1995 TOC (r^2)	2000 TOC (r^2)	1989 <2 µm (r^2)	2000 <2 µm (r^2)
As			−0,13		0,003
Cd	0,99	0,49	0,90	−0,73	−0,80
Cr			−0,82		0,52
Cu	0,75	0,59	0,77	−0,001	−0,81
Hg	0,17	−0,02	0,69	0,21	−0,73
Mn			−0,80		0,73
Ni	0,13	0,0009	−0,79	−0,67	0,37
Pb	0,13	−0,004	−0,56	0,94	0,50
Sn			0,02		0,36
V	−0,66	0,0001	−0,87	0,32	0,45
Zn	0,74	0,50	0,58	0,03	−0,92

Tabell 5:20. De linjära sambanden mellan några tungmetaller och organiskt kol i ytsedimenten (0–1 cm) i Brofjorden 1989 och 2000. Observerad t-fördelning (t_s) med (n–2) frihetsgrader. P är den observerade sannolikheten och r är korrelationskoefficienten.

The linear relationships between some heavy metals and organic carbon in the surficial sediments (0–1 cm) of the Brofjorden in 1989 and 2000. Observed t-distribution (t_s) with (n–2) degrees of freedom. P is the observed probability and r the correlation coefficient.

y mg/kg	År	x g/kg	Linjärt samband	r	n	t_s	p observed
Cd	1989	org C	y = 0,15x - 4	0,63	7	1,814	0,1<p<0,05
	1995		y = 0,016x + 0,17	0,66	13	2,914	0,01<p<0,005
	2000		y = 0,035x – 0,87	0,95	7	6,803	p<0,001
Cu	1989	org C	y = 0,45x + 7,8	0,85	7	3,608	0,01<p<0,005
	1995		y = 0,3x + 11,4	0,65	13	2,837	0,01<p<0,005
	2000		y = 0,38x + 9,4	0,88	8	4,538	0,005<p<0,001
Hg	1989	org C	y = 0,0069x - 0,03	0,44	7	1,096	0,1<p<0,25
	1995		y = -0,0002x + 0,10	-0,09	13	0,3	p<0,25
	2000		Y = 0,001x + 0,042	0,83	7	3,328	0,01<p<0,005
Zn	1989	org C	y = 3x + 24	0,77	7	2,699	0,025<p<0,01
	1995		y = 1,3x + 76	0,82	13	4,752	p<0,001
	2000		y = 1,1x + 45	0,76	8	2,864	0,025<p<0,01

Tabell 5:21. De linjära sambanden mellan några tungmetaller och kornstorleksfraktionen <2 µm i ytsedimenten (0–1 cm) i Brofjorden 1989 och 2000. Observerad t-fördelning (ts) med (n–2) frihetsgrader. P är den observerade sannolikheten och r är korrelationskoefficienten.

The linear relationships between some heavy metals and the grain-size fraction (<2 µm) in the surficial sediments (0–1 cm) of the Brofjorden in 1989 and 1995. Observed t-distribution (ts) with (n–2) degrees of freedom. P is the observed probability and r the correlation coefficient.

y mg/kg	År	x g/kg	Linjärt samband	r	n	t_s	p observed
Ni	1989	<2 µm	y = -0,35x + 34	-0,82	5	2,481	0,05<p<0,025
	2000		y = 0,3x +13,9	0,61	8	1,886	0,1<p<0,05
Pb	1989	<2 µm	y = 0,62x + 4,6	0,97	5	6,911	0,005<p<0,001
	2000		y = 1,09x + 11,5	0,71	8	2,469	0,025<p<0,01
V	1989	<2 µm	y = 0,45x + 80	0,57	5	1,202	0,25<p<0,1
	2000		y = 0,89x + 36	0,67	8	2,211	0,05<p<0,025
As	2000	<2 µm	y = 0,025x + 11	0,05	8	0,123	p>0,25
Cr	2000	<2 µm	y = 0,66x + 18	0,72	8	2,541	0,025<p<0,01
Mn	2000	<2 µm	y = 12x + 24	0,86	8	4,128	0,005<p<0,001
Sn	2000	<2 µm	y = 0,069x + 1,9	0,6	8	1,837	0,1<p<0,05

De beräknade belastningsgradienterna relaterat till organiskt material för respektive metall och undersökningsår redovisas i tabell 5:22. Av tabellen framgår det att belastningen med avseende på kadmium, koppar, kvicksilver och zink minskat mellan 1989 och 1995 respektive 1989 och 2000. Trenden vad avser övriga metaller har inte varit möjlig att beräkna till följd av dessa metallers låga eller obefintliga association till det organiska materialet.

I den högra kolumnen i tabellen redovisas referensgradienter hämtade från ytsediment i Brofjorden. För kvicksilver och vanadin baseras dessaa på undersökningar som utfördes i Brofjorden 1972, dvs. före etableringen av oljeraffinaderiet Scanraff. Denna gradient kan därför betraktas som en naturlig, antropogent opåverkad gradient (Cato 1977). Gradienter större än denna visar således på en antropogen belastning.

På motsvarande sätt redovisas i tabell 5:23 belastningsgradienter relaterade till kornstorleksfraktionen <2 µm för de metaller som är associerade till sedimentens lermineral. En jämförelse mellan 1989 och 2000 visar, där data finns att tillgå, att gradienterna ökat för bly och vanadin.

Tabell 5:22. Belastningsgradienter (kontamineringsgrader relaterade till TOC) vad avser några tungmetaller i ytsediment (0–1 cm) från Brofjorden åren 1989–2000.

The load (degree of contamination related to TOC) of some heavy metals in the surficial sediments (0–1 cm) of the Brofjorden in the years 1989–2000.

Metall	Belastningsgradient 1989	Belastningsgradient 1995	Belastningsgradient 2000	Förändring i % gentemot 1989	Belastningsgradient Referens
Cd	0,15	0,016	0,035	–89 / –76	0,004
Cu	0,45	0,30	0,38	–33 / –16	0,39
Hg	0,0069	-	0,001	/ –86	0,005
Zn	3,0	1,3	1,1	–57 / –63	2,5

Tabell 5:23. Belastningsgradienter (kontamineringsgrader relaterade till fraktionen <2 µm) vad avser några tungmetaller i ytsediment (0–1 cm) från Brofjorden åren 1989–2000.

The load (degree of contamination related to the fraction <2 µm) of some heavy metals in the surficial sediments (0–1 cm) of the Brofjorden in the years 1989–2000.

Metall	Belastningsgradient 1989	Belastningsgradient 2000	Förändring %	Belastningsgradient Referens
As	-	-	-	-
Cr	-	0,66	-	-
Mn	-	12	-	-
Ni	-	0,3	-	0,11
Pb	0,62	1,1	+77	0,12
Sn	-	0,069	-	-
V	0,45	0,89	+100	-

5.6.12 ANRIKNINGSFAKTORER OCH LOKALA BAKGRUNDSDATA FÖR TUNGMETALLER

För att kunna beräkna anrikningsfaktorn av respektive metall i ytsedimentet, dvs. anrikningen i förhållande till den naturliga bakgrunden från preindustriell tid, krävs såväl koncentrationsdata från ytsediment (recent avsatta) som djupare liggande sedimentlager (>150-200 år gamla). Företrädesvis väljer man preindustriella bakgrundsdata från undersökningsområdet, eftersom lokala/regionala variationer förekommer till följd av kemiska variationer i sedimentens källbergarter.

Som naturlig bakgrund för Brofjorden har därför medianvärdet från 1995 för respektive tungmetall från 20–30 cm sedimentdjup på fem stationer (A3, C4, F3, H3 och K2) i Stenungsundsområdet utnyttjats. Medianvärdena redovisas i tabell 5:24.

I samma tabell redovisas även de nationella bakgrundsvärdena (Naturvårdsverket 1999). Vid en jämförelse mellan de lokala bakgrundsvärdena och de nationella värdena kan konstateras att en god överensstämmelse råder, med undantag för Cd och Pb, där bakgrundshalterna i Stenungsundsområdet utgör nästan hälften av det nationella jämförvärdet.

Dessa skillnader kan hänga samman med att det nationella jämförvärdet har bestämts på data från 50–55 cm nivån i sediment från svenska kust- och havssediment, dvs. från en något djupare nivå, samt dessutom på ett betydligt större dataunderlag än de lokala data som hänför sig till endast fem stationer från Stenungsundsområdet.

I tabellen redovisas också de beräknade anrikningsfaktorerna för respektive metall. För arsenik (As), krom (Cr), nickel (Ni) och vanadin (V) är anrikningen mindre än 1, vilket tyder på att nyttjat bakgrundsvärde varit för högt. Utan antropogen belastning skall värdet normalt ligga i närheten av 1, dvs. ingen anrikning alls. Detta förutsätter emellertid stationära förhållanden i övrigt, dvs. att kornstorlek, organisk halt och mineralsammansättning inte skiljer sig åt mellan ytsedimentet och det djupare ned liggande sediment som nyttjas som bakgrund.

Medianvärdet för totalt organiskt kol i Brofjorden 1995 och 2000 är 28 respektive 34 g/kg ts (avsnitt 2.5.5 i del 2, denna samlingsvolym). Motsvarande värde för den nivå i sedimentet där metallernas naturliga bakgrund hämtats är 23 g/kg ts. Denna skillnad motsvarar en anrikningsfaktor av 1,5. Motsvarande faktorer för kornstorleksfraktionen <63 µm är 0,95. Sammantaget innebär detta att en genomsnittlig anrikningsfak-

Tabell 5:24. Medianvärden för några tungmetaller i ytsediment (0–1 cm), den lokala bakgrunden från Stenungsund, samt anrikningsfaktorer i Brofjorden 1995 och 2000.

Medians of some hevy metals in the surficial sediments (0–1 cm), the local background from Stenungsund, and the enrichmentfactors in 1995 and 2000 in the Brofjorden.

Element	Medianvärde 2000 cm Brofjorden	Medianvärde (1995) 20-30 cm Stenungsund	Jämförvärden. Svenska bedömnings-grunder 1999	Anrikningsfaktor Brofjorden 1995 F	Anrikningsfaktor Brofjorden 2000 F
As	13	13	10	-	1
Cd	0,55	0,11	0,2	2,5	5
Cr	30	43	40	-	0,7
Cu	21	17	15	1,2	1,2
Hg	0,08	0,07	0,04	1,6	1,1
Ni	21	25	30	0,8	0,8
Pb	34	14	25	2	2,4
Sn	3,6	2	-	-	1,8
V	53	76	-	0,8	0,7
Zn	85	92	85	1,3	0,9

tor mellan >1 och 1,5 inte nödvändigtvis behöver bero på och spegla ändrade emissionsförhållanden. Mot denna bakgrund och det faktum att lokala variationer förekommer tas endast anrikningsfaktorer lika med eller större än 1,5 som en indikation på ökad tillförsel genom emission orsakad av människan. Av tabell 5:24 framgår att kadmium och bly är anrikat i Brofjorden såväl 1995 som 2000. Även tenn är anrikat år 2000, men här råder en viss osäkerhet om bakgrundsvärdets tillförlitlighet. En antropogen anrikning av koppar och kvicksilver förekommer lokalt.

5.6.13 TOTALKOLVÄTEN SAMT FÖRÄNDRINGAR EFTER 1977

Analysresultaten från 2000 års sedimentundersökningar avseende totalkolväten (THC) redovisas i tabell 5:25 och figur 5:74 tillsammans med motsvarande data från 1984, 1989 och 2000 års undersökningar.

Ytsedimentens (0–1 cm) koncentration av totalkolväte 2000 varierar från 5,3 till 211 mg/kg ts med ett medelvärde och medianvärde på 44 respektive 14 mg/kg ts (tabell 5:26). Den areella variationen illustreras i figur 5:75. De högsta halterna återfanns utanför Scanraffs spillvattenutsläpp i Hamrevik och på station 324 belägen mellan Rixö och Lahäll. På övriga stationer låg halterna i ytsedimenten under 20 mg/kg ts.

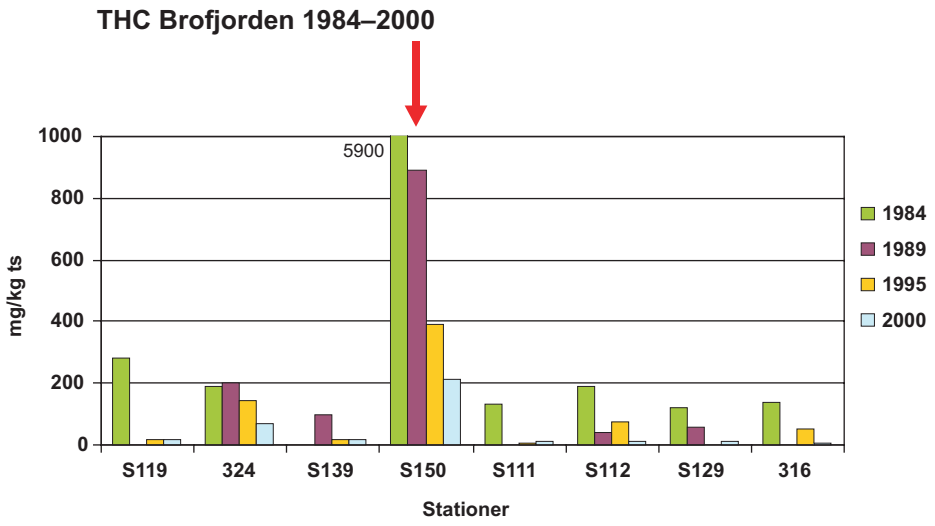


Fig. 5:74. Fördelningen av totalkolväten (THC, mg/kg) i Brofjordens ytsediment (0–1 cm) 2000. Röd pil markerar spillvattenutsläppet i Hamrevik.

The distribution of total hydrocarbons (THC, mg/kg) in 2000 in surficial sediments (0–1 cm) of the Brofjorden. Red arrow marks the waste-water discharge at Hamrevik.

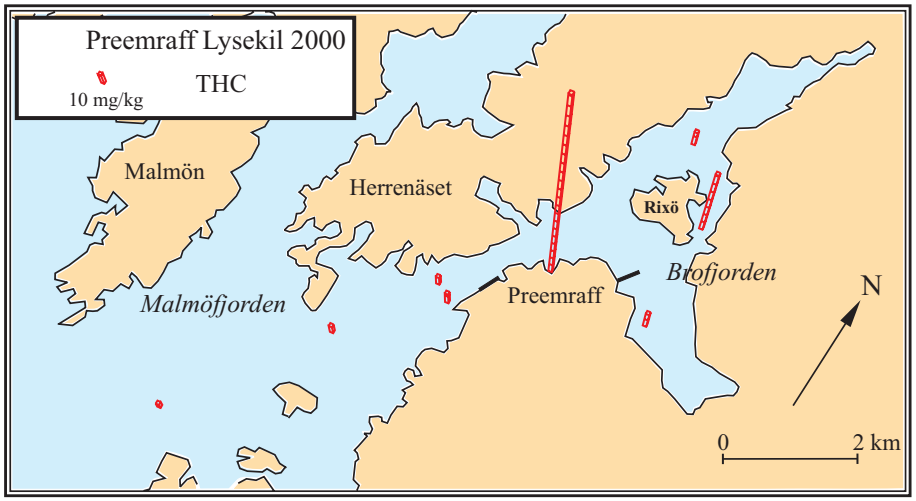


Fig. 5:75. Fördelningen av totalkolväten (THC, mg/kg) i Brofjordens ytsediment (0–1 cm) år 2000.

The distribution of total hydrocarbons (THC, mg/kg) in 2000 in surficial sediments (0–1 cm) of the Brofjorden.

Tabell 5:25. Totalkolväte (THC) och summa polyaromatiska föreningar (summa 10 och 16 PAH) i Brofjordens ytsediment (0–1 cm) 1984–2000.

Total hydrocarbon (THC) and the sum of polyaromatic hydrocarbons (sum 10 and 16 PAH) in surfical sediments (0–1 cm) of the Brofjorden in 1984–2000.

Station	År	THC mg/kg
S111	1984	130
	1989	-
	1995	3,6
	2000	9,8
S112	1984	190
	1989	41
	1995	77
	2000	13
S119	1984	280
	1989	-
	1995	19
	2000	15
S129	1984	120
	1989	60
	1995	<0,63
	2000	9,3
S139	1984	-
	1989	100
	1995	15
	2000	18
S150	1984	5 900
	1989	890
	1995	392
	2000	211
316	1984	140
	1989	-
	1995	53,4
	2000	5,3
324	1984	190
	1989	200
	1995	145
	2000	71

Tabell 5:26. Spridning, medelvärden och medianvärden för totalkolväte (THC) i ytsedimenten (0–1 cm) i Brofjorden 1977–2000.

Range, mean and, medians of total hydrocarbons (THC) in the surficial sediments (0–1 cm) of the Brofjorden in 1977–2000.

Parameter	År	n	Intervall mg/kg	Medelvärde MV mg/kg	Medianvärde Md mg/kg	Standardavvikelse (s)
THC	1977	5	44–82	58.6	58	15
	1984	7	120–578	993	190	2160
	1989	5	41–890	258	100	358
	1995	8	<0,63–392	88	36	132
	2000	8	5,3–211	44	14	71

Svenska bedömningsgrunder för THC i sediment saknas. Enligt miljöklassificeringskriterier för THC föreslagna från Norge (jfr. Konieczny & Juliussen 1995) faller stationerna S111, S129 och 316 i tillståndsklass I (”god”), medan station S150 hamnar i tillståndsklass III (”nokså dårlig”). Övriga stationer faller i tillståndsklass II (”mindre god”).

Detta tyder på att Brofjorden är svagt förorenat vad gäller totalkolväten. Medan Hamreviken är tydligt förorenat med avseende på THC. I del 2 tabell 2:37 (denna samlingsvolym) redovisas THC-halter i ytsediment från några områden utmed Bohuskusten samt i Skagerrak och Kattegatt. En jämförelse med föreliggande undersökning visar dock att THC-halterna i Brofjorden år 2000 är i nivå med sedimenten utmed övriga Bohuskusten.

Förändringen av sedimetens THC innehåll mellan 1977 och 2000 års undersökningar illustreras i figur 5:76. På samtliga stationer har totalkolvätehalterna stigit mellan 1977 och 1984, samt därefter sjunkit kraftigt mellan 1984 och 2000. I medeltal har koncentrationen sjunkit med 95 % sedan 1984. En förändring som är signifikant eftersom den är betydligt större än de minst 35 %, som baserat på blandningsfaktorn (se avsnitt 2.5, del 2 i denna samlingsvolym), krävs för att en förändring skall kunna detekteras vid ett femårigt provtagningsintervall.

GC/FID-kromatogrammen (redovisade i Alcontrol 2004) från Brofjordenområdet uppvisade alla en typisk sedimentprofil skild ifrån den typiska mineraloljeprofilen. Identifierade kolväten ligger i stort sett inom kokpunktsintervallet n-C_{15} till n-C_{40} alkaner (270–520 °C). På station S150 utanför Scanraffs spillvattenutsläpp i Hamrevik samt till viss del på station 324 mellan Rixö och Lahälla förekom emellertid en kraftig ”bulle” i kromatogrammen bestående av en ”unresolved complex mixture” (UCM), som utgörs av en stor mängd grenade, omättade, cykliska och aromatiska kolväten (fig. 5:77). Denna bulle bildas då det förekommer ett stort antal isomerer och molekyler med likartad strukturformel inom samma kokpunktsintervall (Rudling 1976, Clark & Brown 1977, Farrington 1980, Sletter m.fl. 1980) och indikerar petroleumursprung. Övriga stationer, främst station S129 och 316 belägen utanför fjorden, uppvisar en rent biogen sammansättning (fig. 5:77).

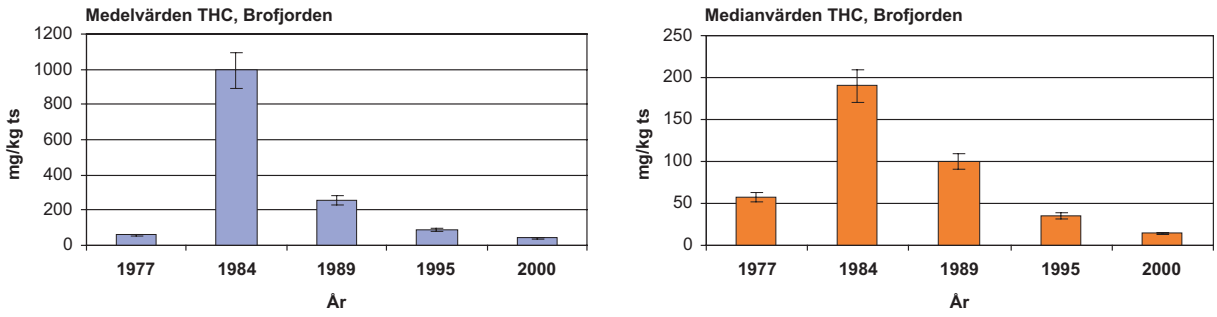


Fig. 5:76. Medelvärden (t.v.) och medianvärden (t.h.) för totalkolväte (THC) i Brofjordens ytsediment (0–1 cm) mellan 1977 och 2000.

Mean (left) and median (right) values of total hydrocarbon (THC) between 1977 and 2000 in the surficial sediments (0–1 cm) of the Brofjorden.

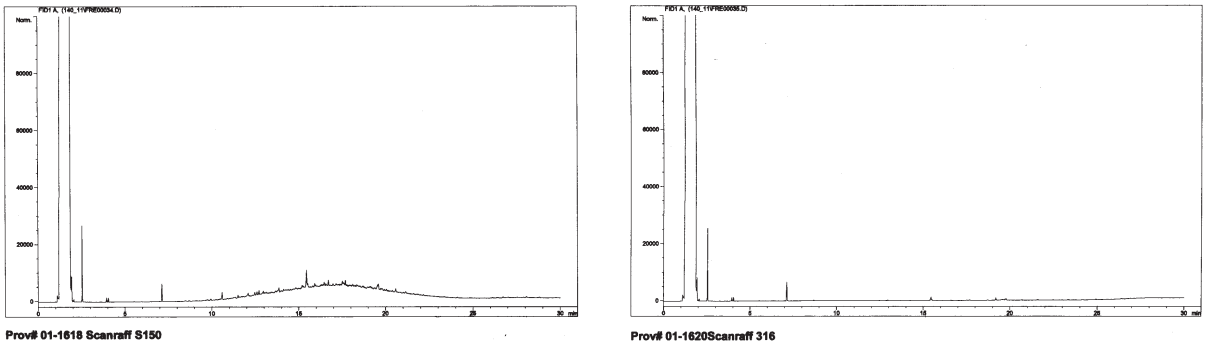


Fig. 5:77. GC-kromatogram över ytsediment (0–1 cm) från stationerna S150 (t.v) och 316 (t.v.) i Brofjorden år 2000 utvisande petroleumförorenad respektive rent biogen kolvätesammansättning.

GC-chromatograms of surficial sediments (0–1 cm) from the sites S150 (left) and 316 (right) in the Brofjorden in 2000 showing petroleum contaminated and pure biogene hydrocarbon composition respectively.

Vid en direkt jämförelse mellan kromatogrammen från 1984 (Cato m.fl. 1986), 1989 (Cato 1990), 1995 (Helland m.fl. 1996) och 2000 års undersökningar framkommer att stora likheter råder mellan åren på respektive stationer, men vissa förändringar kan också noteras. På stationerna 324 och S150 har den s.k. UCM-bullen ökat avsevärt under perioden, vilket antyder en ökad andel av petroleumprodukter. En motsvarande tendens till förändring kunde också noteras vid jämförelse av kromatogrammen från 1995 års ytsediment (0–1 cm) respektive ett djupare liggande sedimentlager (18-20 cm) på station 310 (Cato 1997). Det två sedimentskikten är avsatta efter det att, respektive innan, raffinaderiverksamheten etablerades i Brofjorden.

Undersökningarna år 2000 visar att THC är starkt associerat till det organiska materialet i sedimenten (r^2 = 0,88) (fig. 5:78), vilket inte var fallet 1984 (r^2 = 0,29), 1989 (r^2 = 0,56) och 1995 (r^2 = 0,12) (tabell 5:27). En utvärdering enligt Gradientmetoden visar att gradienten fallit med 88 % sedan 1984 (tabell 5:28). THC uppvisar ett starkt negativt samband med kornstorleksfraktionen <2 µm (fig. 5:78).

Tabell 5:27. De linjära sambanden mellan THC och organiskt kol i ytsedimenten (0–1 cm) i Brofjorden 1989 och 2000. Observerad t-fördelning (t_s) med (n–2) frihetsgrader. P är den observerade sannolikheten och r är korrelationskoefficienten.

The linear relationships between THC and organic carbon in the surficial sediments (0–1 cm) of the Brofjorden in 1989 and 2000. Observed t-distribution (t_s) with (n–2) degrees of freedom. P is the observed probability and r the correlation coefficient.

y mg/kg	År	x g/kg	Linjärt samband	r	n	t_s	p observed
THC	1984	org C	Y = 4x + 41	0,54	6	1,283	0,25<p<0,1
	1989		y = 3,9x -58	0,75	4	1,604	0,25<p<0,1
	1995		y = 1,3x + 2,2	0,34	7	0,808	0,25<p<0,1
	2000		y = 0,5x -6	0,94	8	6,749	P<0,001

Tabell 5:28. Belastningsgradienter (kontamineringsgrader relaterade till TOC) vad avser THC i ytsediment (0–1 cm) från Brofjorden åren 1984–2000.

The load (degree of contamination related to TOC) of THC in the surficial sediments (0–1 cm) of the Brofjorden in the years 1984–2000.

Parameter	Belastningsgradient 1984	Belastningsgradient 1989	Belastningsgradient 1995	Belastningsgradient 2000	Förändring i % gentemot 1984
THC	4	3,9	1,3	0,5	–88

5.6.14 POLYCYKLISKA AROMATISKA KOLVÄTEN SAMT FÖRÄNDRINGAR EFTER 1977

Analysresultaten från 2000 års undersökningar avseende summan av 16 identifierade polycykliska aromatiska kolväten (∑16 PAH) från den s.k. EPA-listan samt de enskilda PAH-föreningarna redovisas i tabell 5:29 tillsammans med PAH-data från 1984, 1989 och 1995 års undersökningar. De fyra undersökningsomgångarnas dataset är dock inte helt jämförbara med varandra, eftersom 1984 och 1989 års undersökningar omfattade färre identifierade PAH:er än 1995 och 2000 års undersökningar. Detta innebär att en korrekt jämförelse mellan åren endast kan göras med avseende på de enskilda föreningarna respektive en summaparameter som för vart och ett av undersökningsåren omfattar samma typ och antal av polycykliska aromatiska kolväteföreningar. För att skapa en korrekt jämförbarhet mellan de tre undersökningsåren har därför ∑10 PAH

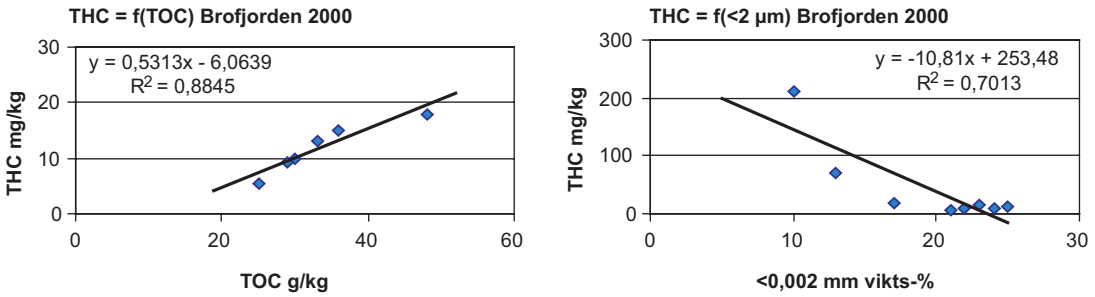


Fig. 5:78. Sambandet mellan totalkolväten (THC) och totalt organiskt kol (TOC) respektive totalkolväten (THC) och kornstorleksfraktionen (<2 µm) i Brofjordens ytsediment (0–1 cm) 2000.

The relationship between total hydrocarbon (THC) and total organic carbon (TOC), and total hydrocarbon (THC) and the grain-size fraction (<2 µm) respectively in the surficial sediments (0–1 cm) of the Brofjorden in 2000.

beräknats för de fyra undersökningsåren på respektive station (tabell 5:29). Skillnaden mellan ∑10 PAH och ∑16 PAH på respektive station varierar mellan 1 och 4 %, varför ingen åtskillnad har gjorts mellan dessa summaparametrar i figur 5:79.

Halterna från 2000 års undersökningar vad avser ∑16 PAH varierar mellan 690 och 6 300 µg/kg ts med ett medelvärde och medianvärde av ca 1 700 respektive 1 100 µg/kg ts (tabell 5:30). Motsvarande värden för de enskilda PAH-föreningarna redovisas i samma tabell. I tabellen presenteras också motsvarande data från 1977 (1 station), 1984, 1989 och 1995 års undersökningar. Den mest frekventa föreningen 2000 var benzo(b+k)fluoranthen som i medeltal utgjorde ca 21 % av summa 16 PAH. Motsvarande siffra för 1995 var 17 %.

Det högsta värdet på drygt 6 300 µg/kg ts (∑16 PAH) noterades på station 324 några hundra meter nordost om Preemraff Lysekils produktkaj (figurerna 5:79 och 5:80). Koncentrationen är dock betydligt lägre än det extremvärde på cirka 14 000 µg/kg ts, som 1989 konstaterades invid nämnda kaj (Cato 1990). Koncentrationer över 1 000 µg/kg ts återfinns på samtliga stationer runt produkthamnen och mellan Rixö och Lahäll samt i Malmöfjorden. Detta överenstämmer relativt väl med 1984, 1989 och 1995 års resultat då samma stationer uppvisade de högsta värdena med undantag för Malmöfjorden.

Enligt svenska bedömningsgrunder för kust- och havssediment (SNV 2005) uppvisar Brofjordens ytsediment vad avser ∑16 PAH år 2000 en hög halt (klass 4) till mycket hög halt (klass 5) med undantag för

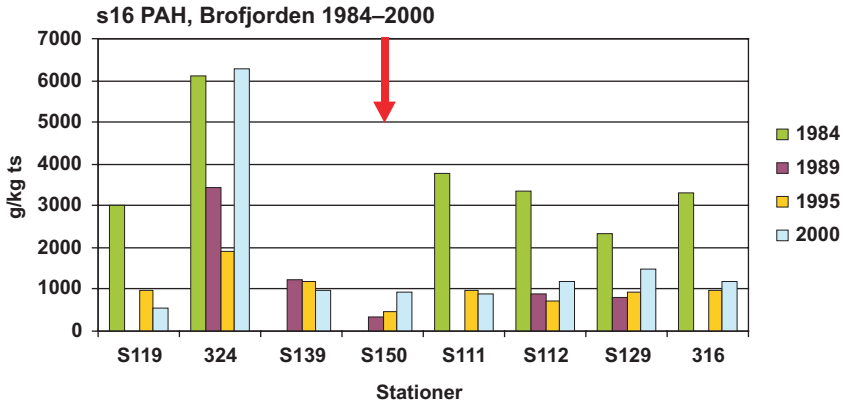


Fig. 5:79. Koncentrationen av summa 16 polycykliska aromatiska kolväten (∑16 PAH, µg/kg ts) i Brofjordens ytsediment (0–1 cm) 1984–2000. Röd pil markerar spillvattenutsläppet i Hamrevik.

The concentration of sum 16 polycyclic aromatic hydrocarbons (∑16 PAH, µg/kg ts) in 1984–2000 in the surficial sediments (0–1 cm) of the Brofjorden. Red arrow marks the waste-water discharge at Hamrevik.

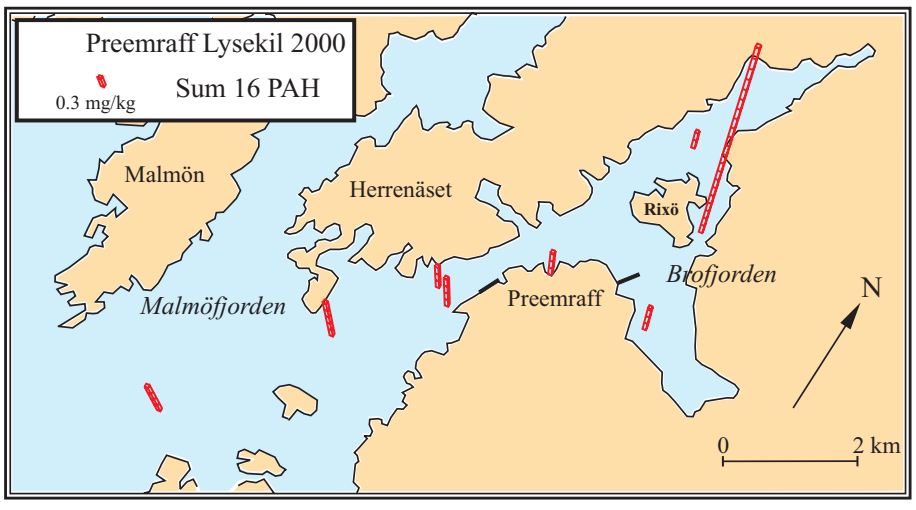


Fig. 5:80. Fördelningen av summan polyaromatiska kolväten (∑16 PAH, µg/kg) i Brofjordens ytsediment (0–1 cm) 2000.

The distribution of the sum of polyaromatic hydrocarbons (∑16 PAH, µg/kg) in 2000 in surficial sediments(0–1 cm) of the Brofjorden.

Tabell 5:29. Summa polycykliska aromatiska föreningar (∑16 PAH) och enskilda polycykliska aromatiska föreningar i ytsedimenten (0–1 cm) i Brofjorden 1984–2000.

The sum of polycyclic aromatic hydrocarbons (∑16 PAH) and individual polycyclic aromatic hydrocarbons in the surficial sediments (0–1 cm) of the Brofjorden in 1984–2000.

Station	År	∑10PAH µg/kg	∑16PAH µg/kg	Naftalen µg/kg	Acenaph-thylene µg/kg	Acenapthene µg/kg	Fluorene µg/kg	Phenanthren µg/kg	Anthracene µg/kg	Fluoranthene µg/kg
S111	1984	3 780	-							
	1989	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	1995	890	987	26	3	4	8	50	11	136
	2000	882	890	22	<10	<10	<10	46	<10	84
S112	1984	3 370	-							
	1989	882	-	-	-	-	-	42	6	100
	1995	660	739	19	3	3	6	38	9	108
	2000	1 150	1 200	31	<10	<10	<10	58	11	94
S119	1984	3 020	-							
	1989	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	1995	865	965	14	5	2	7	40	10	110
	2000	677	690	<10	<10	<10	<10	26	<10	62
S129	1984	2 350	-							
	1989	796	-	-	-	-	-	32	4	80
	1995	847	942	27	3	4	9	51	11	126
	2000	1 470	1 500	26	<10	<10	12	75	14	130
S139	1984	-	-							
	1989	1 220	-	-	-	-	-	54	8	150
	1995	1 050	1 170	18	4	5	9	47	43	128
	2000	958	960	13	<10	<10	<10	39	<10	95
S150	1984	-	-							
	1989	328	-	-	-	-	-	13	3	41
	1995	440	482	6	5	4	0,5	23	16	62
	2000	920	940	16	<10	<10	<10	47	15	93
316	1984	3 310	-							
	1989	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	1995	882	981	27	5	13	15	66	19	167
	2000	1 140	1 200	29	<10	<10	<10	57	11	92
324	1984	6 090	-							
	1989	3 440	-	-	-	-	-	170	31	490
	1995	1 710	1 890	12	7	12	15	105	50	263
	2000	6 220	6 300	20	38	24	42	290	88	890

station S119 innanför Rixö som uppvisar en medelhög halt (klass 3) (fig. 5:31). I förhållande till 1984 har miljökvaliteten dock förbättrats med undantag för station 324 mellan Rixö och Lahälla.

I tabell 2:42 i del 2 (denna samlingsvolym) redovisas koncentrationsdata för PAH i ytsediment från olika områden längs Bohuskusten, Skagerrak och Kattegatt. Stationerna i Brofjorden ligger, med undantag för station 324, i paritet med dessa.

Den geografiska fördelningen för några utvalda identifierade PAH-föreningar inom undersökningsområdets ytsediment (0–1 cm) illustreras i figurerna 5:81–5:83. Det areella fördelningsmönstret skiljer sig åt mellan de olika PAH-föreningarna, men några mönster kan skiljas ut. Polycykliska aromatiska kolväten med molekylstorlekar överstigande tre bensenringar uppvisar med undantag för station 324 en relativt jämn fördelning inom undersökningsområdet. Station 324 avviker kraftigt med en tydlig dominans av tyngre PAH. Lätta föreningar (t.ex. naftalen) däremot uppvisar högre halter utanför Brofjorden.

Förändringen av sedimentens summa PAH-halter mellan 1984 och 2000 års undersökningar kan inte korrekt jämföras i sin helhet eftersom summaparametern för respektive år innehåller olika PAH-föreningar. Utvecklingstrenden redovisas därför enbart för summan av de tio enskilda PAH-föreningar (∑10 PAH) som analyserats vid de fem tillfällena (tabell 5:29). Mellan 1984 och 1995 har halterna sjunkit på samtliga stationer utom på stationerna S129 där en svag ökning kan noteras efter 1989 års undersökning. Mellan 1995 och 2000 har halterna ökat inte bara på station S129 utan också på övriga stationer med undantag för S111, S119 och S139. I medeltal har ∑10 PAH ökat mellan 1995 och 2000 med 10 % om station 324 undantags.

Tabell 5:29. Fortsättning. Cont.

Station	År	Pyrene µg/kg	Benzo(a)-anthracene µg/kg	Chrysene µg/kg	Benzo-(b+k)-fluoranthene µg/kg	Benzo(a)-pyrene µg/kg	Indeno-(1.2.3-cd)-pyrene µg/kg	Benzo(ghi)-perylene µg/kg	Dibenzo-(a.h)-anthracene µg/kg
S111	1984								
	1989	-	-	-	-	-	-	-	-
	1995	97	63	92	160	51	109	121	56
	2000	65	38	57	228	62	180	95	17
S112	1984								
	1989	65	9	46	277	83	210	44	-
	1995	77	38	57	142	40	78	74	48
	2000	73	57	74	283	75	260	140	23
S119	1984								
	1989	-	-	-	-	-	-	-	-
	1995	86	54	75	183	69	117	121	73
	2000	50	34	44	141	42	210	58	11
S129	1984								
	1989	65	29	43	213	67	170	93	-
	1995	89	57	93	148	44	105	124	51
	2000	100	88	100	359	110	300	160	30
S139	1984								
	1989	93	78	95	359	130	160	90	-
	1995	100	65	96	196	72	140	160	85
	2000	78	61	72	234	75	180	94	20
S150	1984								
	1989	39	-	-	49	29	78	76	-
	1995	67	26	80	61	34	37	34	23
	2000	80	66	99	176	80	140	92	32
316	1984								
	1989	-	-	-	-	-	-	-	-
	1995	120	55	80	168	49	79	80	39
	2000	69	60	73	291	78	250	130	30
324	1984								
	1989	740	220	240	570	360	180	440	-
	1995	206	135	145	293	152	187	175	129
	2000	750	570	510	1 180	620	730	480	110

Tabell 5:30. Spridning, medelvärden och medianvärden för polycykliska aromatiska kolväten (PAHer) i ytsedimenten (0–1 cm) i Brofjorden 1977–2000.

Range, means and medians of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in the surficial sediments (0–1 cm) of the Brofjorden in 1977–2000.

Summaparameter/ /förening	År	n	Intervall µg/kg	Medelvärde MV µg/kg	Medianvärde MD µg/kg	Standardavvikelse (s)
Sum 16 PAH	1977	1	–	963	–	–
	1995	14	476–2146	1109	984	433
	2000	8	690–6300	1710	1080	1870
Sum 11 PAH	1977	1	–	922	–	–
	1984	12	2180–9170	4284	3505	2143
	1995	14	462–2080	1070	942	423
	2000	8	688–6218	1677	1050	1850
Sum 10 PAH	1977	1	–	908	–	–
	1984	12	2060–8920	4105	3340	2079
	1989	8	328–13567	2791	1049	4454
	1995	14	440–1909	994	886	386
	2000	8	677–6108	1644	1025	1818
Naphtalen	1977	1	–	19	–	–
	1984		–	–	–	–
	1989		–	–	–	–
	1995	14	6,1–32	18	18	7,7
	2000	8	<10–31	21	21	7,5
Phenanthren	1977	1	–	39	–	–
	1984	11	60–1570	289	130	442
	1989		13–170	69	54	54
	1995	14	23–107	55	50	24
	2000	8	26–290	80	52	86

Summaparameter/ /förening	År	n	Intervall µg/kg	Medelvärde MV µg/kg	Medianvärde MD µg/kg	Standardavvikelse (s)
Anthracene	1977	1	–	5,3	–	–
	1984	11	110–410	224	190	98
	1989		2,5–47	16	7,7	17
	1995	14	7,8–50	18	14	13
	2000	8	<10–88	21	11	27
Acenaphthylen	1984		–	–	–	–
	1989		–	–	–	–
	1995	14	2,6–10	4,9	4,4	2,1
	2000	8	<10–38	14	10	10
Acenaphthen	1984		–	–	–	–
	1989		–	–	–	–
	1995	14	1,6–15	6,4	4,3	4,5
	2000	8	<10–24	12	10	5
Fluorene	1977	1	–	3,7	–	–
	1984		–	–	–	–
	1989		–	–	–	–
	1995	14	0,52–16	9,3	9,1	4,9
	2000	8	<10–42	14	10	11
Fluoranthen	1977	1	–	87	–	–
	1984		220–1380	514	370	334
	1989		41–1300	330	150	453
	1995	14	62–263	143	128	54
	2000	8	62–890	193	94	282
Pyren	1977	1	–	71	–	–
	1984		230–930	471	360	254
	1989		39–2600	543	93	940
	1995	14	67–206	109	99	41
	2000	8	50–750	158	76	240
Benzo(a)anthracen	1977	1	–	41	–	–
	1984		150–1160	352	260	287
	1989		9,4–1700	349	68	666
	1995	14	26–135	67	60	31
	2000	8	34–570	122	61	182
Chrysen	1977	1	–	60	–	–
	1984		70–570	193	150	137
	1989		43–1700	367	88	657
	1995	14	57–178	95	87	32
	2000	8	44–510	129	74	155
Benzo(b+k)fluoranth.	1977	1	–	273	–	–
	1984		440–1830	1000	850	459
	1989		49–2310	573	277	782
	1995	14	61–380	186	174	77
	2000	8	141–1180	360	260	340
Benzo(a)pyren	1977	1	–	66	–	–
	1984		140–950	366	340	225
	1989		29–1700	354	110	603
	1995	14	34–152	69	57	34
	2000	8	42–620	143	77	194
Benzo(ghi)perylen	1977	1	–	137	–	–
	1984		200–1030	399	330	236
	1989		44–1400	338	93	488
	1995	14	34–270	129	123	57
	2000	8	58–480	156	113	135
Indeno(1,2,3-cd)pyren	1977	1	–	129	–	–
	1984		210–1020	445	360	224
	1989		78–700	231	170	211
	1995	14	37–257	122	113	55
	2000	8	140–730	281	230	188
Dibenzo(a,h)anthracen	1977	1	–	14	–	–
	1984		110–480	181	140	107
	1989		–	–	–	–
	1995	14	23–171	75	67	39
	2000	8	11–110	34	27	32

Trenderna illustreras i figur 5:84. Förändringen är inte signifikant eftersom den är betydligt mindre än de minst 35 %, som baserat på blandningsfaktorn (se avsnitt 2.5, del 2 i denna samlingsvolym), krävs för att en förändring skall kunna detekteras vid ett femårigt provtagningsintervall.

I figuren har också medtagits det enda analysvärde (omräknat till summa 10 PAH) som finns från 1977 års undersökningar vad gäller polycykliska aromatiska kolväteföreningar (Göthberg & Johansson 1981). Mellan 1977 och 1984 ökade koncentrationen med drygt 350 % för att som nämnts därefter stadigt sjunka. Om 1977 års värde kan anses representativt så visar resultaten på en utveckling där området först utsattes för en

Tabell 5:31. Ytsedimentens (0–1 cm) miljökvalitet i Brofjorden 1984–2000 med avseende på polycykliska aromatiska kolväten (∑16 PAH). Klassning enligt svenska bedömningsgrunder (Naturvårdsverket 2005).

The environmental quality of the surface sediments (0–1 cm) in the Brofjorden with respect to the polycyclic aromatic hydrocarbon (∑16 PAH) content 1984–2000. Classification according to Swedish Environmental Quality Criteria (Naturvårdsverket 2005).

µg/kg	s 10 PAH		s 16 PAH	s 16 PAH
År	1984	1989	1995	2000
S119	3020		965	570
324	6090	3440	1890	6300
S139		1220	1170	960
S150		328	482	940
S111	3780		987	890
S112	3370	882	739	1200
S129	2350	796	942	1500
316	3310		981	1200

Organiska miljögifter	
Klass 1	Ingen halt
Klass 2	Låg halt
Klass 3	Medelhög halt
Klass 4	Hög halt
Klass 5	Mycket hög halt

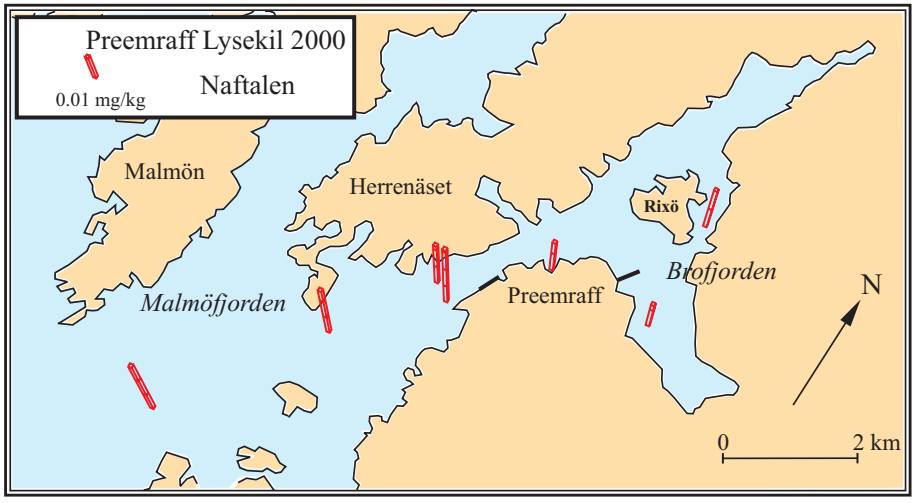


Fig. 5:81. Fördelningen av naftalen (µg/kg) i Brofjordens ytsediment (0–1 cm) år 2000.

The distribution of naphtalene (µg/kg) in 2000 in surficial sediments (0–1 cm) of the Brofjorden.

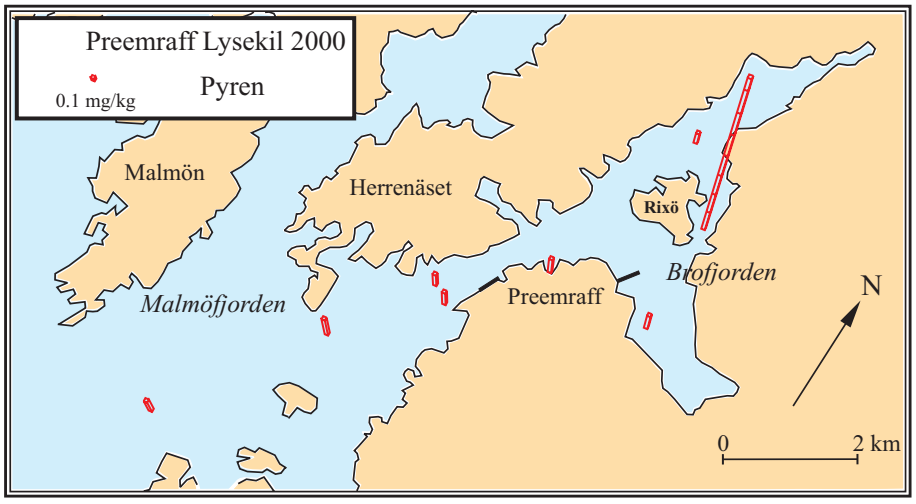


Fig. 5:82. Fördelningen av pyren (µg/kg) i Brofjordens ytsediment (0–1 cm) år 2000.

The distribution of pyrene (µg/kg) in 2000 in surficial sediments (0–1 cm) of the Brofjorden.

kontaminering till följd av raffinaderietableringen i området 1974. Efter 1977 har en allt effektivare rening och miljömässig hantering minskat kontamineringen av området till en nivå som är i paritet med övriga områden utmed Bohuskusten och i Skagerrak och Kattegatt.

Resultaten från undersökningarna visar att PAH är svagt associerat till det organiska materialet i sedimenten (r = 0,44) år 2000 (Tabell 5:32), vilket innebär att någon säker utvärdering enligt Gradientmetoden inte är möjlig för 2000 års data. Resultaten från tidigare år visar emellertid på successivt minskande belastningsgradienter i Brofjorden (Tabell 5:33).

Tabell 5:32. De linjära sambanden mellan ∑10PAH och organiskt kol i ytsedimenten (0–1 cm) i Brofjorden 1989 och 2000. Observerad t-fördelning (t_s) med (n–2) frihetsgrader. P är den observerade sannolikheten och r är korrelationskoefficienten.

The linear relationships between ∑10PAH and organic carbon in the surficial sediments (0–1 cm) of the Brofjorden in 1989 and 2000. Observed t-distribution (t_s) with (n–2) degrees of freedom. P is the observed probability and r the correlation coefficient.

y µg/kg	År	x g/kg	Linjärt samband	r	n	t_s	p Observerat p
∑10 PAH	1984	org C	Y = 100x + 307	0,62	6	1,580	0.1<p<0.05
	1989		y = 55x -911	0,53	5	1,082	0.25<p<0.1
	1995		y 21x + 300	0,70	8	2,401	0.05<p<0.025
	2000		y = -11x 1470	0,44	7	1,096	0.1<p<0.05

Tabell 5:33. Belastningsgradienter (kontamineringsgrader relaterade till TOC) vad avser ∑10PAH i ytsediment (0–1 cm) från Brofjorden åren 1984–2000.

The load (degree of contamination related to TOC) of ∑10PAH in the surficial sediments (0–1 cm) of the Brofjorden in the years 1984–2000.

Parameter	Belastningsgradient 1984	Belastningsgradient 1989	Belastningsgradient 1995	Belastningsgradient 2000	Förändring i % gentemot 1984
∑10 PAH	100	55	21	11	–80

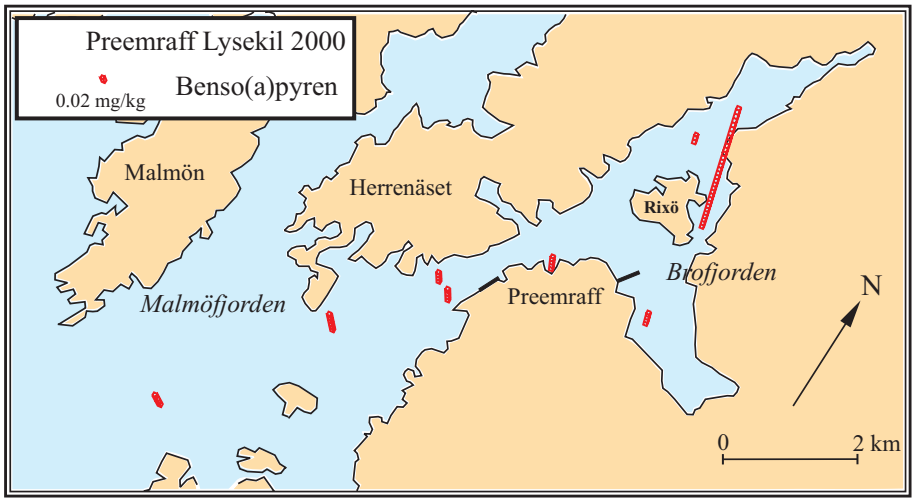


Fig. 5:83. Fördelningen av benso(a)pyren (µg/kg) i Brofjordens ytsediment (0–1 cm) år 2000.

The distribution of benzo(a)pyrene (µg/kg) in 2000 in surficial sediments (0–1 cm) of the Brofjorden.

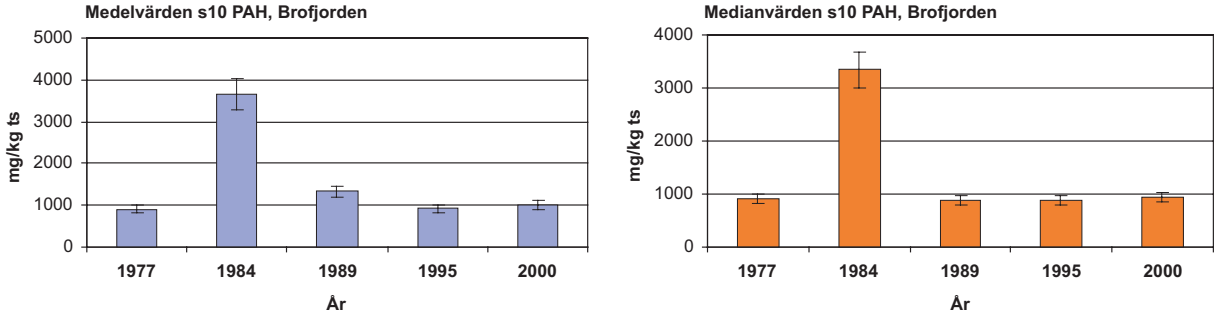


Fig. 5:84. Medelvärden (t.v.) och medianvärden (t.h.) för polyaromatiska kolväten (∑10 PAH) i Brofjordens ytsediment (0–1 cm) mellan 1977 och 2000.

Mean (left) and median (right) values of polyaromatic hydrocarbon (∑10 PAH) between 1977 and 2000 in the surficial sediments (0–1 cm) of the Brofjorden.

5.6.15 METYLNAFTALENER

Analysresultaten vad avser 1-metylnaftalen och 2-metylnaftalen redovisas i tabell 5:34 och figur 5:85. Koncentrationen i ytsedimenten år 2000 varierar mellan <10 och 20 µg/kg ts för 1-metylnaftalen och från <10 till 25 µg/kg ts för 2-metylnaftalen. Respektive medelvärden och medianvärden redovisas i tabell 4:25.

Föreningarna uppvisar ett liknande fördelningsmönster där föreningarna uppträder vid oljehamnen och vidare ut i Malmöfjorden. 2-metylnaftalen kunde också detekteras på station 324 mellan Rixö och Lahäll samt utanför spillvattenutsläppet i Hamrevik. Den geografiska fördelningen för 2-metylnaftalen illustreras i figur 5:86.

Svenska bedömningsgrunder för kust- och havssediment saknas för metylnaftalener. Föreningarna har inte tidigare studerats i områdets sediment.

Tabell 5:34. Metylnaftalener i ytsediment (0–1 cm) i Stenungsundsområdet 2000.
Methylnaphtalenes in 2000 in the surficial sediments (0–1 cm) of the Stenungsund area.

Station	År	1-Metylnaftalen µg/kg ts	2-Metylnaftalen µg/kg ts
S111	2000	12	17
S112	2000	20	25
S119	2000	<10	<10
S129	2000	15	22
S139	2000	<10	<10
S150	2000	<10	14
316	2000	20	25
324	2000	<10	11

Tabell 5:35. Spridning, medelvärden och medianvärden för metylnaftalener i ytsedimenten (0–1 cm) i Stenungsundsområdet 2000.
Range, means and medians of methylnaphtalenes in the surficial sediments (0–1 cm) of the Stenungsunds area in 2000.

Ämne	Enhet	n	Intervall	Medelvärde MV	Medianvärde Md	Standardavikelse (s)
1-metylnaftalen	µg/kg ts	8	<10–20	13	<10	4,4
2-metylnaftalen	µg/kg ts	8	<10–25	17	16	6,4

5.6.16 POLYKLORERADE BIFENYLER SAMT FÖRÄNDRINGAR EFTER 1995

Analysresultaten vad avser polyklorerade bifenyler (PCB) redovisas i tabellerna 5:36–5:37. Värdena avser dels summan av sju identifierade PCB:er (PCB 28, PCB 52, PCB 101, PCB 118, PCB 153, PCB 138 och PCB 180), vilka sammanförts under begreppet ∑7-PCB, dels ytterligare kongener: PCB 105, PCB 156, PCB 157 och PCB 167). Även halterna av total-PCB redovisas.

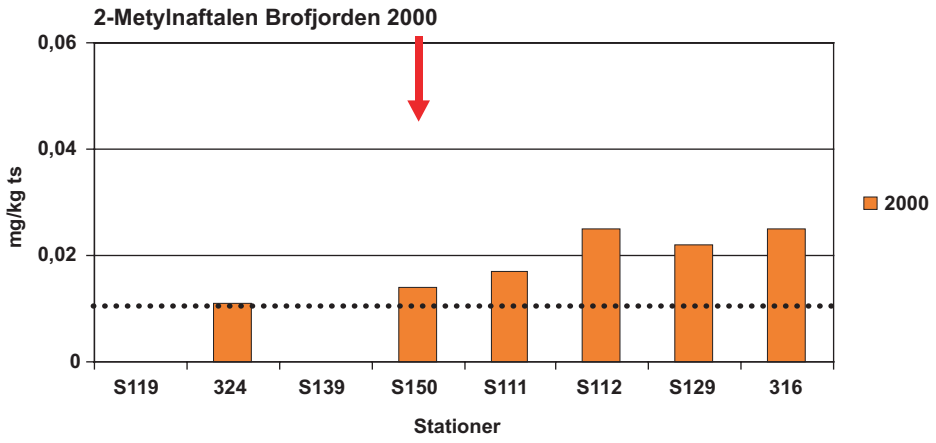


Fig 5:85. Fördelningen av 2-metylnaftalen (µg/kg) i Brofjordens ytsediment (0–1 cm) 2000. Streckad linje = detektionsgräns.
The distribution of 2-methylnaphtalen (µg/kg) in 2000 in the surficial sediments (0–1 cm) of the Brofjorden. Broken line = detection limit.

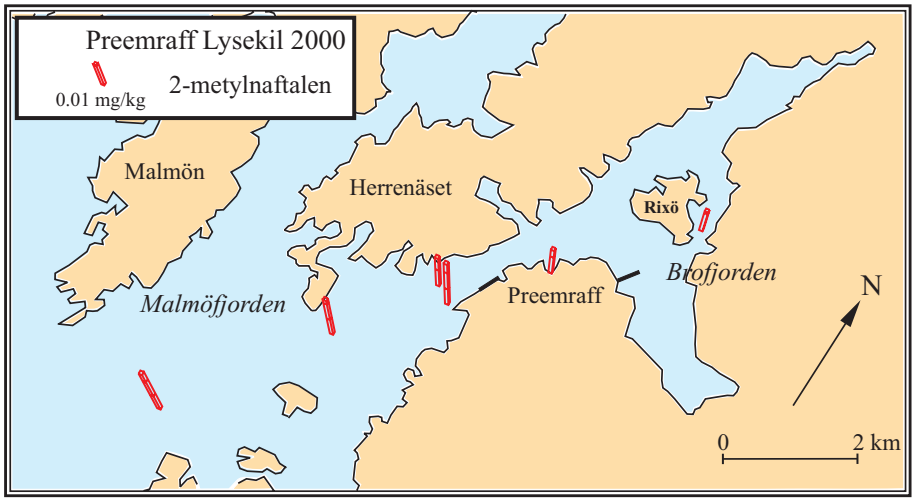


Fig 5:86. Fördelningen av 2-metylnaftalen (µg/kg) i Brofjordens ytsediment (0–1 cm) 2000.

The distribution of 2-methylnaphtalen (µg/kg) in 2000 in the surficial sediments (0–1 cm) of the Brofjorden.

Koncentrationen av ∑7-PCB i ytsedimenten år 2000 varierar mellan 0,22 och 2,7 µg/kg ts med ett medelvärde och medianvärde av 1,4 µg/kg ts (tabell 5:38 och figur 5:87). Den geografiska fördelningen illustreras i figur 5:88. Koncentrationerna av ∑7-PCB är jämnt fördelade inom området. Station 324 mellan Rixön och Lahälla uppvisar den högsta halten. Kongenerna PCB 28 och PCB 52 kunde inte detekteras i Brofjordens sediment år 2000.

Halten av total-PCB varierar mellan 0,77 och 9,3 µg/kg ts med ett medelvärde och medianvärde av 5 µg/kg ts (tabell 5:36). Den areella fördelningen överensstämmer med ∑7-PCB.

Enligt svenska bedömningsgrunder för kust- och havssediment (SNV 2005) uppvisar Brofjordens ytsediment vad avser ∑7 PCB år 2000 en låg till medelhög halt (klass 2–3) på samtliga stationer (tabell 5:39). Detta gäller även halterna av tot-PCB. Ingen emmission av PCB kan observeras från Preemraff Lysekils spillvattenutsläpp i Hamreviken. Miljökvaliteten vad avser PCB har förbättrats sedan 1995.

Tabell 5:36. Polyklorerade bifenyler (PCB, ∑7-Dutch), i ytsediment (0–1 cm) i Brofjorden 1994–2000.

Polychlorinated biphenyls (PCB, ∑7-Dutch), in 1994–2000 in the surficial sediments (0–1 cm) of the Brofjorden.

Station	År	∑7 PCB µg/kg	Tot PCB µg/kg	PCB 28 µg/kg	PCB 52 µg/kg	PCB 101 µg/kg	PCB 118 µg/kg	PCB 138 µg/kg	PCB 153 µg/kg	PCB 180 µg/kg
S111	1995	3,2		0,2	0,2	0,4	0,5	0,8	0,8	0,3
	2000	0,22	0,77	<0,1	<0,3	<0,1	<0,1	0,12	0,1	<0,1
S112	1995	2,7		0,2	0,1	0,3	0,4	0,7	0,7	0,3
	2000	1,8	6,2	<0,1	<0,1	0,23	0,3	0,53	0,53	0,19
S119	1995	4,1		0,2	0,2	0,5	0,7	1,0	1,1	0,4
	2000	0,85	3	<0,1	<0,1	0,15	0,17	0,26	0,27	<0,1
S129	1995	3,2		0,2	0,2	0,4	0,5	0,8	0,8	0,3
	2000	1,6	5,5	<0,1	<0,1	0,21	0,36	0,41	0,46	0,15
S139	1995	3,8		0,2	0,2	0,5	0,6	1,0	1,0	0,3
	2000	1,3	4,7	<0,1	<0,1	0,21	0,23	0,4	0,4	0,11
S150	1995	1,7		0,1	0,2	0,2	0,3	0,3	0,4	0,2
	2000	1,7	5,9	<0,1	<0,1	0,25	0,24	0,43	0,53	0,25
316	1995	3,2		0,2	0,2	0,4	0,6	0,7	0,8	0,3
	2000	1,3	4,5	<0,1	<0,1	0,18	0,24	0,36	0,39	0,11
324	1995	4,2		0,2	0,3	0,4	0,7	1,0	1,1	0,5
	2000	2,7	9,3	<0,1	<0,4	0,43	0,42	0,73	0,76	0,33

Tabell 5:37. Polyklorerade bifenyler (PCB) i Brofjordens ytsediment (0–1 cm) 1995–2000.

Polychlorinated biphenyls (PCB) in 1995–2000 in the surficial sediments (0–1 cm) of the Brofjorden.

Station	År	PCB 105 µg/kg	PCB 156 µg/kg	PCB 157 µg/kg	PCB 167 µg/kg	PCB 209 µg/kg
S111	1995	0,2	0,1	-	-	0,3
	2000	0,029	0,016	<0,010	<0,010	-
S112	1995	0,1	0,1	-	-	0,3
	2000	0,12	0,058	0,015	0,029	-
S119	1995	0,2	0,1	-	-	0,3
	2000	0,068	0,027	<0,010	0,015	-
S129	1995	0,2	0,1	-	-	0,4
	2000	0,13	0,046	0,012	0,026	-
S139	1995	0,2	0,1	-	-	0,3
	2000	0,087	0,035	<0,010	0,021	-
S150	1995	0,1	<0,1	-	-	0,1
	2000	0,094	0,047	0,037	0,029	-
316	1995	0,2	0,1	-	-	0,2
	2000	0,093	0,038	<0,010	0,022	-
324	1995	0,2	0,2	-	-	0,3
	2000	0,17	0,078	0,019	0,041	-

Tabell 5:38. Spridning och medelvärden för några PCB:er i Brofjordens ytsediment (0–1 cm) 2000.

Range and means PCBs in surficial sediments (0–1 cm) of the Brofjorden in 2000.

Kongen	År	Intervall µg/kg	Medelvärde MV µg/kgts	Medianvärde Md µg/kg	Standardavvikelse s µg/kgts
PCB 28	2000	<0,1–<0,1	<0,1	<0,1	–
PCB 52	2000	<0,1–0,4	0,16	<0,1	0,12
PCB 101	2000	<0,1–0,43	0,22	,21	0,097
PCB 118	2000	<0,1–0,42	0,26	,24	0,10
PCB 138	2000	0,12–0,73	0,41	0,41	0,18
PCB 153	2000	<0,1–0,76	0,43	0,43	0,19
PCB 180	2000	<0,1–0,33	0,17	0,13	0,084
∑7 PCB	1995	1,7–4,6	3,4	3,4	0,77
	2000	0,22–2,7	1,4	1,45	0,72
Tot-PCB	2000	0,77–9,3	5	5,1	2,4
PCB 105	2000	29–170	99	94	42
PCB 77	2000	<10–28	19	19	6,5
PCB 126	2000	<10–<10	<10	<10	0
PCB 156	2000	0,16–78	41	42	23
PCB 157	2000	<10–37	15	11	9,3
PCB 167	2000	<10–41	24	24	9,5
PCB 169	2000	<10–<10	<10	<10	0

I tabell 49 i del 2 (denna samlingsvolym) redovisas ∑7-PCB-halterna från öppna Skagerrak och Kattegatt samt från några områden utmed Bohuskusten. Medelkoncentrationen i Brofjorden utgör ca 30 % av motsvarande värde för hela Bohuskusten.

Halten av ∑7-PCB i Brofjordens ytsediment har minskat på samtliga stationer sedan 1995. Den genomsnittliga minskningen är 56 % (fig. 5:89).

PCB är svagt associerat till det organiska materialet i sedimenten, vilket framgår av det positiva och approximativt linjära samband som råder (r = 0,38) (fig. 5:90). Sambandet till fraktionen <63 µm är betydligt svagare (r = 0,11).

Tabell 5:39. Ytsedimentens (0–1 cm) miljökvalitet i Brofjorden 1995–2000 med avseende på summa 7 polyklorerade bifenyler (∑7 PCB). Klassning enligt svenska bedömningsgrunder (Naturvårdsverket 2005).

The environmental quality of the surface sediments (0–1 cm) in the Brofjorden with respect to the sum of 7 polychloronated biphenyls (∑7 PCB) content 1995–2000. Classification according to Swedish Environmental Quality Criteria (Naturvårdsverket 2005).

µg/kg År	s7PCB 1984	s7PCB 1989	s7PCB 1995	s7PCB 2000
S119			4,1	0,85
324			4,2	2,7
S139			3,8	1,3
S150			1,7	1,7
S111			3,2	0,22
S112			2,7	1,8
S129			3,2	1,6
316			3,2	1,3

Organiska miljögifter	
Klass 1	Ingen halt
Klass 2	Låg halt
Klass 3	Medelhög halt
Klass 4	Hög halt
Klass 5	Mycket hög halt

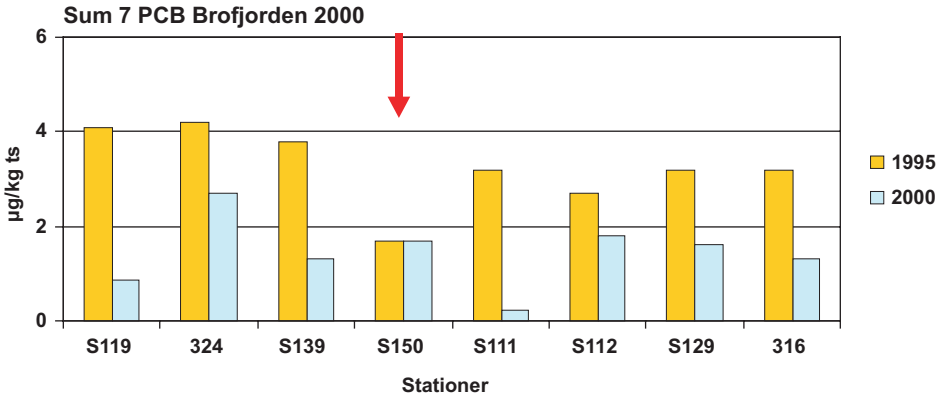


Fig. 5:87. Koncentrationen av summa polyklorerade bifenyler (∑7 PCB, µg/kg ts) i Brofjordens ytsediment (0–1 cm) 1995–2000. Röd pil markerar spillvattenutsläppet i Hamrevik.

The concentration of sum polyklorerade bifenyler (∑7 PCB, µg/kg ts) in 1995–2000 in the surficial sediments (0–1 cm) of the Brofjorden. Red arrow marks the waste-water discharge at Hamrevik.

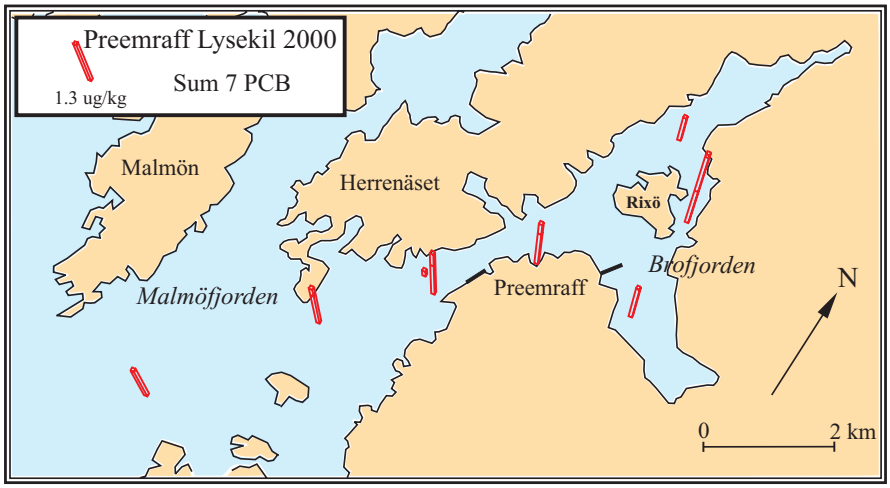


Fig. 5:88. Fördelningen av summa polyklorerade bifenyler (∑7 PCB, µg/kg ts) i Brofjordens ytsediment (0–1 cm) 2000.

The distributionof sum polyklorerade bifenyler (∑7 PCB, µg/kg ts) in 2000 in the surficial sediments (0–1 cm) of the Brofjorden.

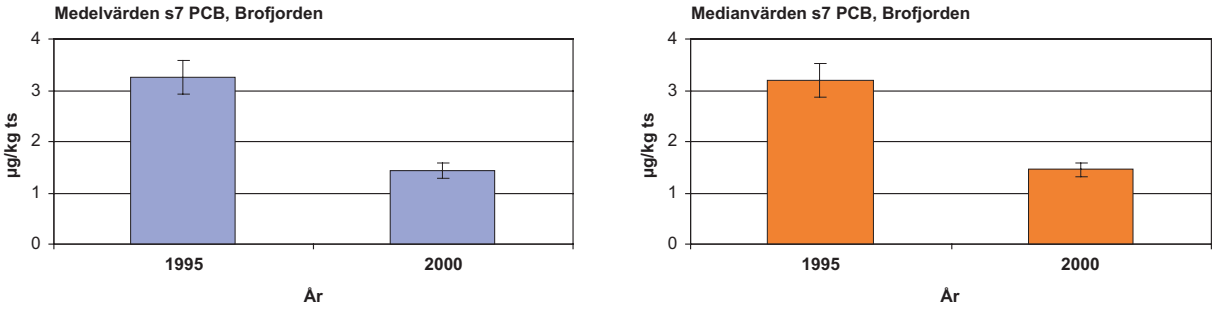


Fig. 5:89. Medelvärden (t.v.) och medianvärden (t.h.) för polyklorerade bifenyler (∑7 PCB) i Brofjordens ytsediment (0–1 cm) mellan 1995 och 2000.

Mean (left) and median (right) values of polyklorerade bifenyler (∑7 PCB) between 1995 and 2000 in the surficial sediments (0–1 cm) of the Brofjorden.

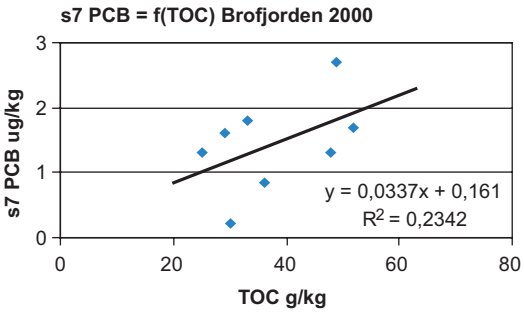


Fig. 5:90. Sambandet mellan ∑7 PCB och totalt organiskt kol (TOC) i Brofjordens ytsediment (0–1 cm) 2000.

The relationship between ∑7 PCB and total organic carbon (TOC) in the surficial sediments (0–1 cm) of the Brofjorden in 2000.

5.6.17 PLANA PCB

En speciell och mycket toxisk grupp av PCB utgör de s.k. plana PCB, dvs. PCB-kongener med kloratomer i molekylens para- och meta-positioner. Dessa s.k. nonorto PCBer, omfattar i föreliggande studie kongenerna PCB-77, PCB-126 och PCB-169. Resultaten redovisas i tabell 5:40. I tabellen återges också ∑ nonorto (plana) PCB, toxisitetsekvivalenterna TE(WHO) enligt Ahlborg m.fl. (1994) samt i-TE(Safe) enligt Safe (1994).

Endast PCB-77 kunde detekteras vid 2000 års undersökningar. Koncentrationen av ∑ nonorto-PCB (i detta fall PCB-77) i ytsedimenten varierar mellan <10 och 28 ng/kg ts med ett medelvärde och medianvärde av 30 respektive 26 ng/kg ts (tabell 5:41 och figur 5:91).

Den geografiska fördelningen av PCB-77 illustreras i figur 4:92 Till skillnad från övriga PCB påträffades den högsta halten på station S150 vid Preem Lysekils spillvattenutsläpp i Hamrevik (se även fig. 4:92). Svenska bedömningsgrunder för plana PCB saknas.

I tabell 2:59 i del 2 (denna samlingsvolym) redovisas de fåtal data som finns över plana PCB från Bohuskusten. Halterna i Brofjorden är lägre än på många håll utmed Bohuskusten, bl.a. lägre än i Stenungsund och i Göta älv och dess estuarium.

Tabell 5:40. Plana PCB jämte toxisitetsekvivalenter i Brofjordens ytsediment (0–1 cm) 2000.
Non-ortho PCB and the accounted toxic equivalents in the surficial sediments (0–1 cm) of the Brofjorden in 2000.

Station	År	33´44´ PCB 77 ng/kg	33´44´5 PCB 126 ng/kg	33´44´55´ PCB 169 ng/kg	∑ non-orto PCB ng/kg	TEF (WHO)	i-TEF (Safe)
S111	2000	<10	<10	<10	<10	<0,001	<0,1
S112	2000	25	<10	<10	25	0,0025	2,5
S119	2000	15	<10	<10	15	0,0015	1,5
S129	2000	28	<10	<10	28	0,0028	2,8
S139	2000	16	<10	<10	16	0,0016	1,6
S150	2000	14	<10	<10	14	0,0014	1,4
316	2000	26	<10	<10	26	0,0026	2,6
324	2000	21	<10	<10	21	0,0021	2,1

Tabell 5:41. Spridning och medelvärden för några plana PCB i Brofjordens ytsediment (0–1 cm) år 2000.
Range and means of non-ortho PCB in surficial sediments (0–1 cm) of the Brofjorden in 2000.

Kongen	År	Antal stationer (n)	Intervall ng/kg	Medelvärde MV ng/kg ts	Medianvärde Md ng/kg	Standardavvikelse s ng/kg ts
PCB-77	2000	14	<10–28	19	19	6,5
PCB-126	2000	14	<10–<10	<10	<10	-
PCB-169	2000	14	<10–<10	<10	<10	-
∑nonorto PCB	2000	14	<10–28	19	19	6,5
TEF (WHO)	2000	14	<0,001–0,0028	0,0019	0,0019	0,0021
i-TEF (Safe)	2000	14	<0,1–2,8	1,9	2,6	2,1

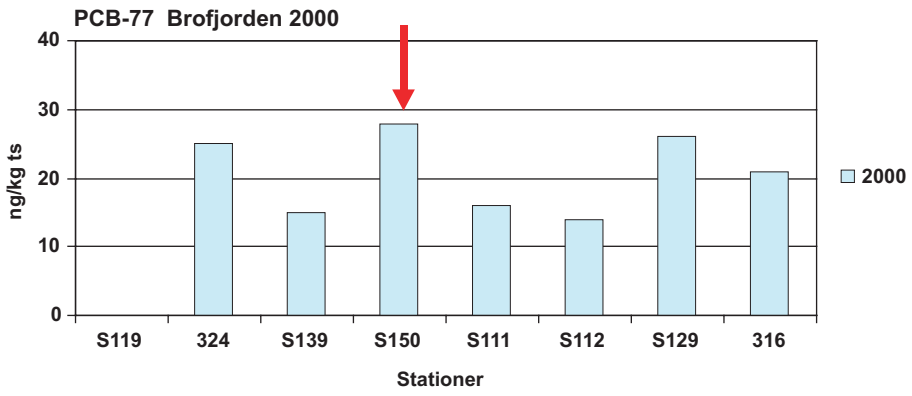


Fig. 5:91. Koncentrationen av PCB-77 (ng/kg ts) i Brofjordens ytsediment (0–1 cm) år 2000. Röd pil markerar spillvattenutsläppet i Hamrevik.

The concentration of PCB-77, (ng/kg ts) in 2000 in the surficial sediments (0–1 cm) of the Brofjorden. Red arrow marks the waste-water discharge at Hamrevik.

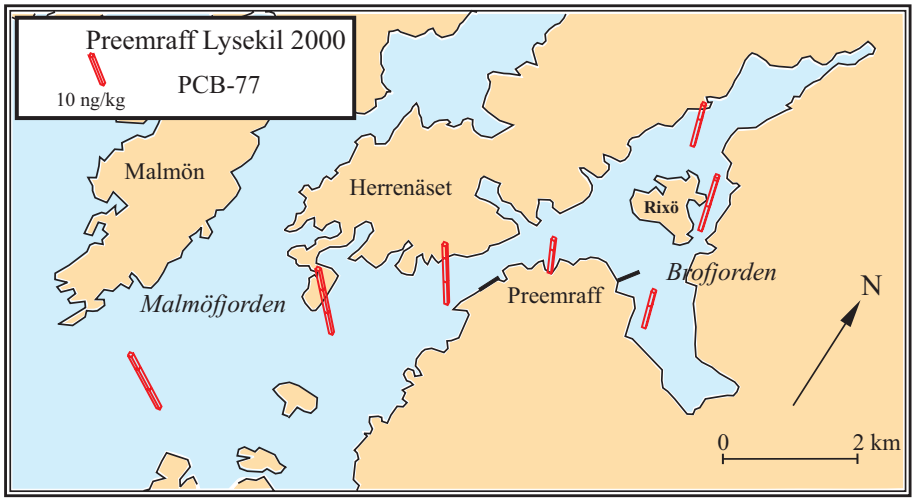


Fig 5:92. Fördelningen av plana PCB (ng/kg) i Stenungsundsområdets ytsediment 2000.

The distribution of non-ortho PCB (ng/kg) in 2000 in surficial sediment of the Stenungsund area.

5.6.18 HALOGENERADE ALIFATER (HALOFORMER) SAMT FÖRÄNDRINGAR EFTER 1995

Undersökningarna av ytsedimentet (0–1 cm) år 2000 omfattade fyra opolära haloformer med följande namn; triklormetan (kloroform), tetraklormetan (koltetraklorid eller perklormetan), trikloreten (trikloretylen, TRI) och tetrakloreten (tetrakloretylen eller perkloretylen, PER). Inga av dessa föreningar kunde detekteras på de 8 undersökta stationerna.

1995 kunde kloroform, tetraklormetan och tetrakloreten påvisas i halter på 0,1–0,7 µg/kg ts på station 324. Stationen undersöktes inom ramen för Bohuskustens vattenvårdsförbunds kontrollprogram. Inga andra stationer undersöktes i fjorden vid det tillfället (Cato 1997a). Detektionsgränsen låg då mellan 0,02 och 0,05 µg/kg ts. Detektionsgränsen vid Alcontrols analyser av sedimenten från undersökningarna år 2000 låg så högt som 50 µg/kg ts, dvs. alldeles för högt. Den höga detektionsgränsen är med största sannolikhet förklaringen till att inga haloformer kunde påvisas vid undersökningarna år 2000.

5.6.19 MONOAROMATER SAMT FÖRÄNDRINGAR EFTER 1995

Analysresultaten vad avser monoaromater i ytsedimenten (0–1 cm) år 2000 redovisas i tabell 5:42. Medel- och medianvärden, standardavvikelse och spridning återfinns i tabell 5:43.

Bensen

Bensen kunde inte detekteras (detektionsgräns 1 µg/kg ts) vid undersökningarna år 2000. Vid 1977 års studie av sedimenten detekterades bensen på de fem stationer som undersöktes vid det tillfället (Göthberg & Johansson 1981). Halterna varierade mellan 11 och 18 µg/kg ts med ett medelvärde av 13 µg/kg ts. Mellan 1977 och 2000 har halterna i ytsedimentet minskat med minst 92 %. Resultaten tyder dessutom på att bensen numera inte emitteras till Brofjorden.

Tabell 5:42. BTEX (bensen, toluen och summa etylbensen och xylen) och styren i ytsedimenten (0–1 cm) i Brofjorden år 2000.
BTEX (benzene, toulen and the sum of ethylbenzen and xylen) and styrene in 2000 in the surficial sediments (0–1 cm) of the Brofjorden.

Station	År	Bensen µg/kg	Toluen µg/kg	Styren µg/kg	∑etylbensen och xylener µg/kg
S111	2000	<1	2,4	2	<1
S112	2000	<1	<1	<1	<1
S119	2000	<1	<1	<1	<1
S129	2000	<1	<1	<1	<1
S139	2000	<1	1	<1	<1
S150	2000	<1	<1	<1	<1
316	2000	<1	<1	<1	<1
324	2000	<1	<1	<1	<1

Toluen

Toluen kunde endast detekteras (detektionsgräns 1 µg/kg ts) på två stationer; S111 utanför Stretudden och station S139 vid Trommekilen. Halterna låg på 2,4 respektive 1 µg/kg ts (tabell 5:42).

Spridningsbilden (figur 5:93 och 5:94) indikerar att en emissionskälla för toluen kan vara Preem Lysekils anläggning. Materialet är dock för litet för att en säker slutsats skall kunna dras.

Tabell 5:43. Spridning, medelvärden och medianvärden för BTEX och styren i ytsedimenten (0–1 cm) i Brofjorden år 2000.
Range, means and medians of BTEX and styrene in the surficial sediments (0–1 cm) of the Brofjorden in 2000.

Ämne	År	n	Intervall µg/kg	Medelvärde MV µg/kg	Medianvärde MD µg/kg	Standardavvikelse s
Bensen	2000	8	<1	<1	<1	-
Toluen	2000	8	<1–2,4	<1,2	<1,2	1,2
Styren	2000	8	<1	<1	<1	-
Sum etylbensen och xylener	2000	8	<1	<1	<1	-

Vid en tidigare undersökning från 1977 detekterades toluen på fem stationer (Göthberg & Johansson 1981). Halterna varierade då mellan 9 och 12 µg/kg ts med ett medelvärde av 10 µg/kg ts. Sedan dess har halterna i ytsedimentet minskat med minst 80 %. Förändringen är statistiskt signifikant eftersom variationskoefficienten för toluen kan antas ligga runt 10 % (jfr metaller ovan) till följd av sedimentens inhomogenitet. Den observerade minskningen är dessutom större än de minst 35 %, som baserat på blandningsfaktorn i ytsedimentet (se avsnitt 2.5, denna volym), krävs för att en förändring med säkerhet skall kunna detekteras vid ett femårigt provtagningsintervall.

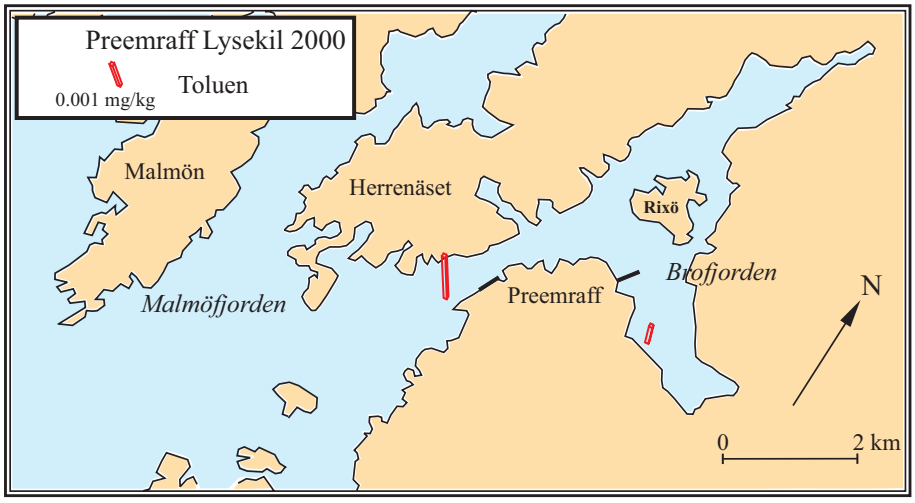


Fig. 5:93. Fördelningen av toluen (µg/kg ts) i ytsedimenten (0–1 cm) i Brofjorden år 2000.
The distribution of toluen (µg/kg dw) in the surficial sediment (0–1 cm) in the Brofjorden in 2000 respectively.

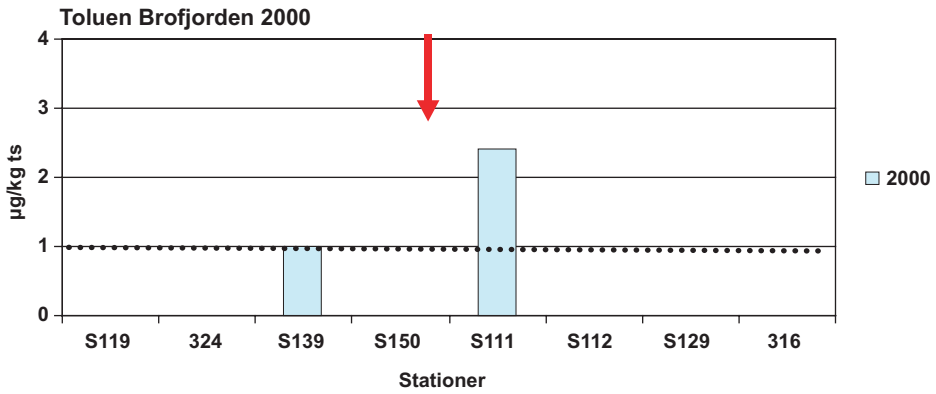


Fig. 5:94. Koncentrationen av toluen (µg/kg ts) i Brofjordens ytsediment (0–1 cm) år 2000. Röd pil markerar spillvattenutsläppet i Hamrevik. Streckad linje = detektionsgräns.
The concentration of toluene, (µg/kg ts) in 2000 in the surficial sediments (0–1 cm) of the Brofjorden. Red arrow marks the waste-water discharge at Hamrevik. Broken line = detection limit.

Etylbensen och xylener

Inga etylbensener och xylen kunde detekteras i Brofjordens ytsediment (0–1 cm) år 2000.

1977 varierade koncentrationen av etylbensener och xylen på fem undersökta stationer i Brofjorden mellan 6 och 9 µg/kg ts med ett medelvärde av 7,4. Mellan 1977 och 2000 har således halten minskat med minst 86 %. Förändringen är statistiskt signifikant eftersom variationskoefficienten för etylbensener och xylen kan antas ligga runt 10 % (jfr metaller ovan) till följd av sedimentens inhomogenitet. Den observerade minskningen är dessutom större än de minst 35 %, som baserat på blandningsfaktorn i ytsedimentet (se avsnitt 2.5, denna volym), krävs för att en förändring med säkerhet skall kunna detekteras vid ett femårigt provtagningsintervall.

Styren

Analysresultaten vad avser styren i ytsedimenten (0–1 cm) redovisas i tabell 5:42 och figur 5:95. Styren kunde endast detekteras på station S111 (2 µg/kg ts), vilket tillsammans med resultaten över toluen ytterligare kan ses som en indikation på att en källan till emission kan finnas vid Preemraff Lysekils anläggning.

5.6.20 POLYBROMERADE DIFENYLETRAR

Analysresultaten från 2000 års sedimentundersökningar avseende polybromerade difenyletrar (PBDE) redovisas i tabell 5:44 samt illustreras i figur 6:17. Av totalt 209 kongener analyserades åtta stycken. Av dessa kunde endast tetrabromdifenyleter (PBDE-47), pentabromdifenyleter (PBDE-99) och dekabromdifenyleter (DekaBDE) detekteras. Pentabromdifenyleter (PBDE-100) samt hexabromdifenyletrarna (PBDE-154. PBDE-153, PBDE-138) kunde således inte påvisas i undersökningsområdet.

Kongenerna PBDE-47 och PBDE-99 detekterades endast på station S139 vid Trommekilen, dvs. inne i Brofjorden (figurerna 5:96–5:99), medan DekaBDE endast kunde detekteras i malmöfjorden, dvs. utanför Brofjorden (fig. 5:100–5:101).

PBDE har inte tidigare undersökts i Brofjorden.

Svenska bedömningsgrunder för PBDE och DekaBDE saknas.

Tabell 5:44. Polybromerade difenyletrar (PBDE och ∑8-PBDE) i Brofjordens ytsediment (0–1 cm) 2000.
Polybrominated diphenylethers (PBDE and ∑8-PBDE) in the surficial sediments (0–1 cm) of the Brofjorden in 2000.

Station	År	∑8 PBDE µg/kg	PBDE-47 µg/kg	PBDE-100 µg/kg	PBDE-99 µg/kg	PBDE-85 µg/kg	PBDE-154 µg/kg	PBDE-153 µg/kg	PBDE-138 µg/kg	Deka-BDE-209 µg/kg
S111	2000	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
S112	2000	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
S119	2000	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
S129	2000	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,21
S139	2000	0,67	0,25	<0,1	0,42	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
S150	2000	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
316	2000	0,46	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,46
324	2000	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1

I tabellerna 2:82–2:85 i del 2 (denna volym) redovisas koncentrationer av polybromerade difenyletrar från några andra områden utmed Bohuskusten och Göta älv. Halterna i Brofjorden ligger i paritet med övriga områden längs Bohuskusten och Göta älv. DekaBDE ligger dock betydligt lägre.

I jämförelse med data från Svealandskusten (Sternbeck m.fl. 2003) är dock halterna i genomsnitt dubbelt så höga.

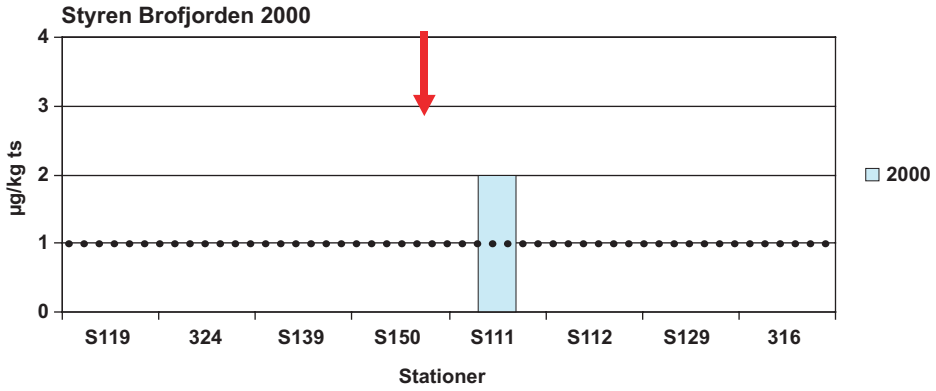


Fig. 5:95. Koncentrationen av styren (µg/kg ts) i Brofjordens ytsediment (0–1 cm) år 2000. Röd pil markerar spillvattenutsläppet i Hamrevik. Streckad linje = detektionsgräns.

The concentration of toluene, (µg/kg ts) in 2000 in the surficial sediments (0–1 cm) of the Brofjorden. Red arrow marks the waste-water discharge at Hamrevik. Broken line = detection limit.

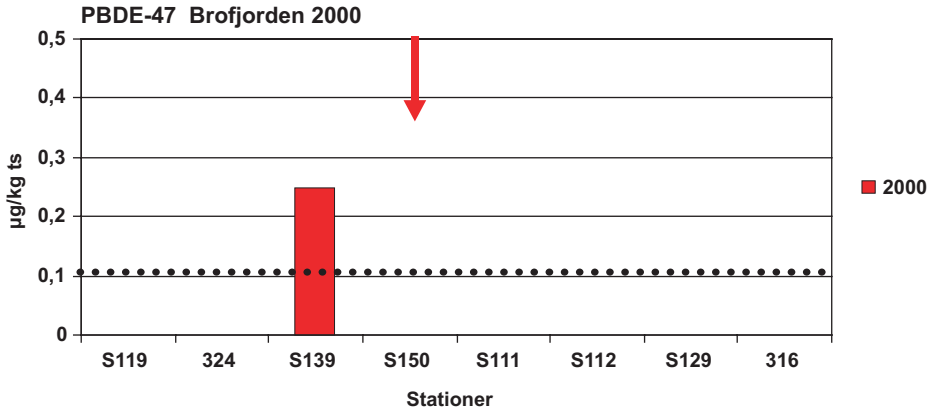


Fig 5:96. Koncentrationen av PBDE-47 (µg/kg) i Brofjordens ytsediment (0–1 cm) 2000. Streckad linje = detektionsgräns.

The concentration of PBDE-47 (µg/kg) in 2000 in the surficial sediments (0–1 cm) of the Brofjorden. Broken line = detection limit.

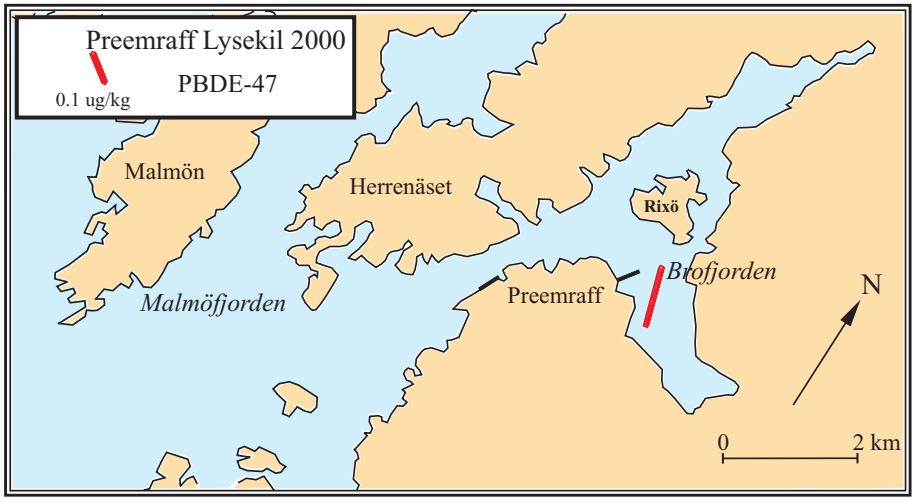


Fig 5:97. Fördelningen av PBDE-47 (µg/kg) i Brofjordens ytsediment (0–1 cm) 2000.

The distribution of PBDE-47 (µg/kg) in 2000 in the surficial sediments (0–1 cm) of the Brofjorden.

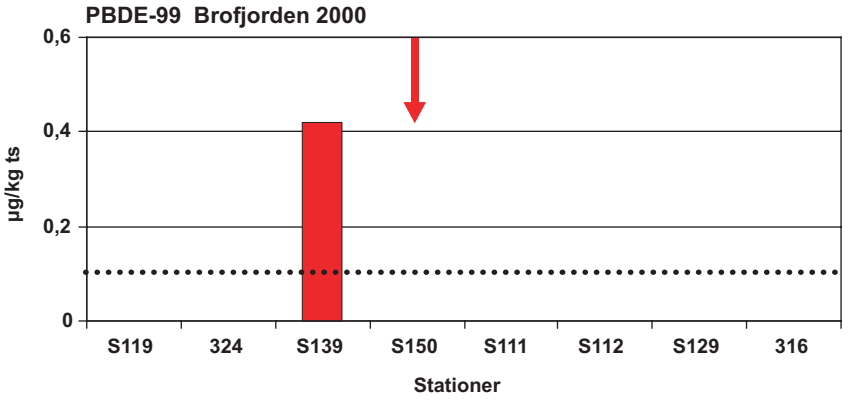


Fig 5:98. Koncentrationen av PBDE-99 (µg/kg) i Brofjordens ytsediment (0–1 cm) 2000. Streckad linje = detektionsgräns.

The concentration of PBDE-99 (µg/kg) in 2000 in the surficial sediments (0–1 cm) of the Brofjorden. Broken line = detection limit.

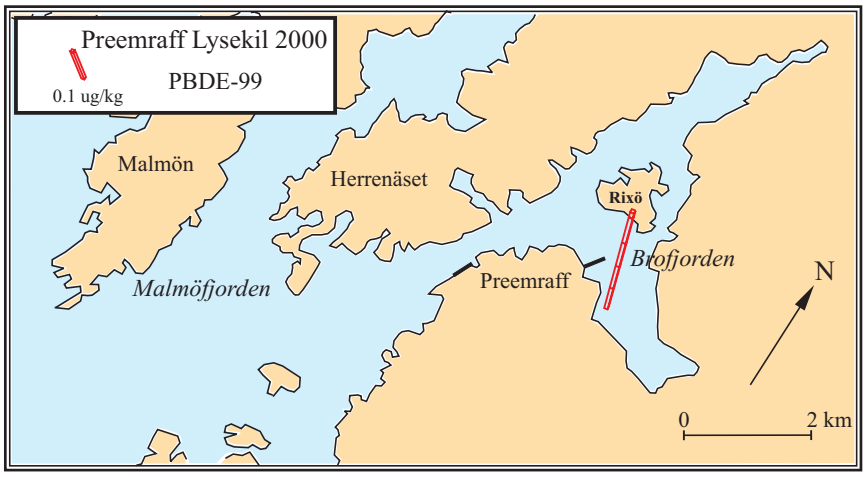


Fig 5:99. Fördelningen av PBDE-99 (µg/kg) i Brofjordens ytsediment (0–1 cm) 2000.

The distribution of PBDE-99 (µg/kg) in 2000 in the surficial sediments (0–1 cm) of the Brofjorden.

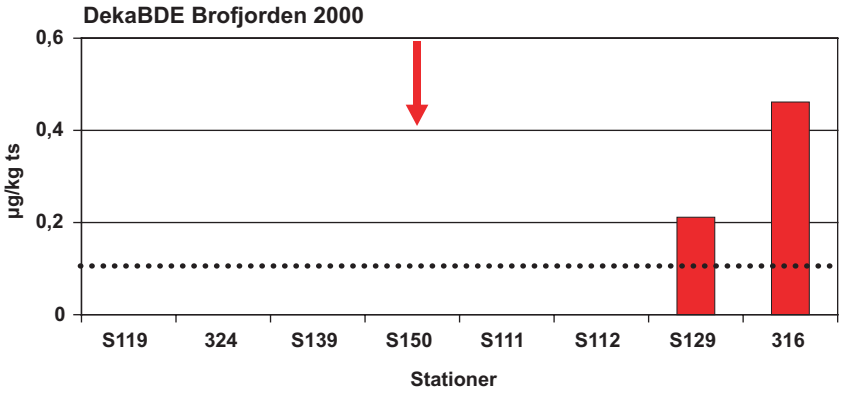


Fig 5:100. Koncentrationen av DekaBDE (µg/kg) i Brofjordens ytsediment (0–1 cm) 2000. Streckad linje = detektionsgräns.

The concentration of DekaBDE (µg/kg) in 2000 in the surficial sediments (0–1 cm) of the Brofjorden. Broken line = detection limit.

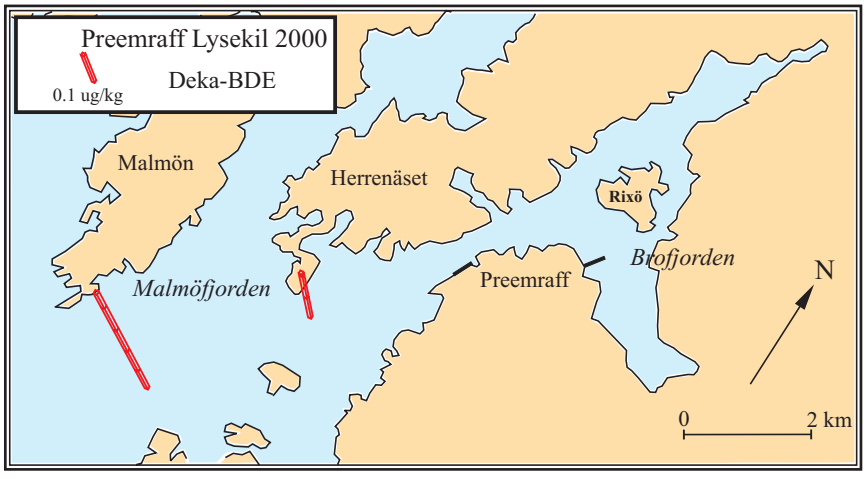


Fig 5:101. Fördelningen av DekaBDE (µg/kg) i Brofjordens ytsediment (0–1 cm) 2000.

The distribution of DekaBDE (µg/kg) in 2000 in the surficial sediments (0–1 cm) of the Brofjorden.

5.7 Sammanfattning

Sedimenten i Brofjorden har på uppdrag av Preemraff Lysekil undersökts år 2000 med avseende på vissa fysiska och kemiska parametrar. Drygt ett 70-tal ämnen, tungmetaller, organiska miljögifter och näringsämnen har studerats på sju stationer. Sveriges geologiska undersökning (SGU) har svarat för provinsamling och Alcontrol för analys av sedimentproven samt avrapportering av laboratoriedata, medan SGU har svarat för utvärdering, trendanalys och slutlig avrapportering. Studien ingår som ett led i Preemraff Lysekils omgivningskontroll, omfattande bl.a. kontroll och bedömning av sedimentkvalitet vart femte år. De föregående studierna genomfördes 1972 (Cato 1977), 1977 (Göthberg & Johansson 1981), 1984 (Cato m.fl.), 1989 (Cato 1990) och 1995 (Cato 1997). Undersökningarna 1995 och 2000 samordnades av Bohuskustens vattenvårdsförbund (Bvvf).

Föreliggande undersökningar föregicks av en hydroakustisk avbildning (side scan sonar-teknik) av bottenytan på de förutbestämda provtagningsplatserna. Avbildningen genomfördes i syfte att öka kunskapen om sedimentationsmiljön på och runt varje provtagningsplats. En förnyad provtagning av det översta sedimentskiktet (0–1 cm) kunde därefter genomföras på 14 tidigare provtagna stationer. Under förutsättning att detta översta skikt till största delen utgörs av nysedimenterat material kan utvecklingen av miljökvaliteten i form av antropogent tillförda ämnen till Brofjorden avläsas genom s.k. trendanalys. I nedan redovisade och sammanfattande trendanalys återges endast den sammanvägda trenden för varje enskild parameter, ämne eller förening inom hela undersökningsområdet. Utvecklingen på varje enskild station redovisas separat under respektive avsnitt i rapporten.

För att kunna bestämma belastningen av ett kemiskt ämne eller förening inom ett kustavsnitt eller en recipient måste i vissa fall hänsyn tas till effekten av den naturliga variationen av ämnet/föreningen som beror på variationer i halten organiskt material. Detta kan man göra genom den s.k. Gradientmetoden, där gradienten i sig utgör ett mått på belastningen. Detta förutsätter dock att ämnet/föreningen uppvisar en godtagbar och sannolik positiv korrelation (association) till sedimentens innehåll av totalt organiskt kol. I de fall där ett sådant samband föreligger inom området har belastningsgradienten också beräknats.

Samtliga sedimentprovers halt av ler och silt, dvs. kornstorleksfraktionerna <63 µm, har bestämts i syfte att bl.a. utreda sedimentationsmiljön på de undersökta stationerna. Tillsammans med vattenhaltsbestämningarna, de radiografiska analyserna och ovan nämnda hydroakustiska avbildning av sedimentet, visar resultaten att flera stationer i Brofjorden härrör från bottendynamiskt mindre stabila sedimentationsmiljöer. Detta var inte fallet under 1970-talet. Andelen ler har successivt minskat mellan 1972 och 2000. Orsaken till dessa förändringar kan hänföras till den ökade fartygstrafiken till oljehamnen respektive produktkajen. Förändringarna är en effekt av fartygens djupgående och propelleromröring som tillsammans med den tryckvåg som fartygen åstadkommer vid gång leder till ständigt återkommande resuspenderingar av bottensedimenten inom inseglingsområdena. Strömmar och vågor får därmed möjlighet att transportera bort det finaste materialet, vilket därmed deponeras i skyddade miljöer utanför inseglingsområdena respektive kajområdena.

Såväl sedimentens färg som oxidationsförhållanden på respektive station överenstämmer relativt väl mellan de olika undersökningsåren.

Den organiska kolhalten (TOC) i sedimenten ligger inom ett för Bohuskusten normalt intervall. Halten har dock i genomsnitt minskat med ca 10 % sedan 1972. Orsaken till denna förändring är sannolikt den berörda fartygstrafiken och dess påverkan på sedimentationsmiljön. Oorganiskt kol (OOC, huvudsakligen karbonatkol) har däremot ökat sedan 1989 medan totalkolhalten (TC) är mer eller mindre oförändrad.

Kvävet (TN) i sedimenten är till största delen organiskt bundet och uppvisar därför ett fördelningsmönster snarlikt det för totalt organisk kol (TOC). Kvävehalten i sedimenten har i genomsnitt minskat med 2 % sedan 1995 medan C/N-kvoten ökat med ca 13 % under samma period. Förändringen tyder på att den ökning inom området av andelen sedimenterat marint (kväverikt) detritus som observerades mellan 1975 och 1995 nu kan ha brutits. Ett förhållande som bl.a. framgår av lutningskoefficienten för relationen mellan kväve och organiskt kol som minskat från 0,14 till 0,09 mellan 1995 and 2000. Att förändringen beror på ett minskat tillskott av kväverik, dvs. marin detritus, framgår av det negativa samband som föreligger mellan C/N-kvoten och halten kväve i Brofjordens sediment. Orsaken till förändringarna av C/N-kvoten står närmast att finna i att den tidigare observerade allmänna eutrofieringen av området, som under många år gynnat produktionen av marint organiskt material relativt tillförseln av organiskt material från land, nu tycks ha minskat. Mot-

svarande förändringar har observerats i Stenungsund mellan 1975 och 2000, samt utmed hela Bohuskusten mellan 1990 och 2000 (se del 2 och 4 i denna samlingsvolym).

Sedimentens totalfosforhalt (tot P) har i medeltal ökat med ca 60 % mellan 1972 och 2000. Motsvarande förändringar har även noterats på andra håll utmed Bohuskusten, t.ex. i Stenungsundsområdet mellan 1995 och 2000, samt utmed hela Bohuskusten mellan 1990 och 2000 (se del 2 och 4 i denna samlingsvolym). Orsakerna till denna förändring är förvånande eftersom ca 96 % av fosforn i de kommunala utsläppen numera tas bort. Ökningen beror sannolikt på att fosfor genom diagenetiska processer anrikas i sedimentytan till följd av ändrade bottendynamiska förhållanden. Resultaten tyder därför inte på ökade fosforutsläpp till Brofjorden.

Det relativa fördelningsmönstret av tungmetallerna kadmium (Cd), koppar (Cu), kvicksilver (Hg), nickel (Ni) och zink (Zn) antyder endast diffus påverkan. Halterna av bly (Pb) och vanadin (V) däremot är något högre i närheten av produkthamnen.

Trendanalysen visar att metallerna Cu, Cd, Hg och Pb ökat med mellan 20 och 49 % i ytsedimentet mellan 1995 och 2000, medan Ni och Zn minskat med 17 respektive 25 %. V däremot har varit relativt oförändrad under samma period. Betraktat i ett något längre perspektiv (1989–2000) har dock samtliga metaller utom Pb, Ni och Sn minskat med mellan 8 och 46 %. I ett ännu längre perspektiv kan konstateras att halterna av Cu, Pb och Zn år 2000 är lägre än vad som var fallet 1977, medan halterna av Cd och Ni ökat med 27 respektive 11 %. Ökningen av Hg under samma period är inte signifikant då den är mindre än omblandningsfaktorn.

Belastningen enligt Gradientmetoden, där hänsyn tas till variationer av sedimentens organiska halt, styrker till stor del ovan beskrivna trender. Gradienterna för kadmium, koppar, kvicksilver och zink har fallit från en antropogent belastad situation 1989 till i närheten av ett tillstånd 1995 och 2000 som motsvarar en mer eller mindre diffus påverkan.

Anrikningsfaktorn är ett uttryck för den antropogena påspädningen gentemot den lokala preindustriella bakgrunden beräknad i Stenungsundsområdet. Anrikningsfaktorn för Cd visar på en femfaldig ökning gentemot bakgrunden, medan Pb och Sn visar på fördubblad ökning. Övriga metaller visar inte på någon alternativt en mycket måttlig anrikning.

Totalkolväten (THC) påträffades på samtliga stationer. I likhet med tidigare undersökningar (1984, 1989 och 1995) konstaterades de högsta halterna utanför Preemraff Lysekils spillvattenutsläpp i Hamrevik. THC-halter över 100 mg/kg ts är att betrakta som höga. På samtliga stationer utom en (Hamrevik) var halten lägre. Sedan 1995 har THC-halterna i medeltal minskat med 50 % och sedan1984 med hela 95 %. THC är som mest anrikat 24 gånger (Hamrevik) gentemot bakgrundsreferensen från Färöarna. I medeltal är anrikningen år 2000 fem gånger mot sju gånger 1995. På en del stationer inne i Brofjorden förekommer en väl vädrad och komplex blandning av ej identifierade kolväten (UCM), vilket tyder på petroleumförorening. På stationerna vid spillvattenutsläppet och öster om Rixö har andelen UCM ökat kraftigt sedan 1984, vilket antyder tillförsel av petroleumprodukter. Sedan 1984 har dock totalkolvätehalten minskat med i medeltal 95 %. Brofjorden är att betrakta som moderat förorenat med avseende på THC.

Sexton polycykliska aromatiska kolväten (∑16 PAH) har analyserats inom området. Det areella fördelningsmönstret skiljer sig åt mellan de olika föreningarna, men två dominerande mönster kan urskiljas. De med avseende på molekylvikten tyngre föreningarna förekommer i högre halter inne i fjorden, medan de lättare föreningarna relativt sett uppvisar högre halter utanför fjorden. Till följd av skillnader i val av antalet analyserade PAH-föreningar mellan 1977/1984/1989 respektive 1995/2000 har endast utvecklingstrenden för ∑10 PAH varit möjlig att studera under hela den berörda perioden. Trenden visar på en minskning med i genomsnitt 76 och 64 % sedan 1984 respektive1989, men en svag ökning (10 %) kan noteras mellan 1995 och 2000. I förhållande till lokala bakgrundsreferensen från området är anrikningen i medeltal drygt 3 gånger. Området är att betrakta som moderat förorenat med avseende på ∑16 PAH. På sex av de sju stationerna ligger dock den cancerogena föreningen benso(a)pyren högt.

Metylnaftalener undersöktes för första gången år 2000. Endast små mängder kunde detekteras och då främst i området runt Preemraff Lysekils hamnanläggningar. Inga metylnaftalener kunde detekteras innanför Rixön.

Polyklorerade bifenyler (PCB) kunde med undantag för några få kongener (PCB 28 och PCB 52) detekteras på i stort sett samtliga stationer inom området. De högsta halterna återfanns mellan Rixön och Lahälla, vid oljehamnen och utanför Preem Lysekils spillvattenutsläpp i Hamrevik. I genomsnitt har summan för sju polyklorerade bifenyler (∑7 PCB) minskat med 143 % sedan 1995. Under samma period har halten av

total-PCB (beräknat som Aroklor) sjunkit med 23 %. Halterna år 2000 ligger i genomsnitt 70 % lägre än medelvärdet för hela Bohuskusten.

Av den mycket toxiska gruppen nonorto-PCB (s.k. plana PCB) kunde endast en kongen (PCB 77) detekteras. Denna återfanns på sex av de sju undersökta stationerna. Den högsta halten detekterades innanför Rixön.

Monoaromaterna bensen, toluen etylbensen, xylen och styren undersöktes i området för första gången år 2000. Av dessa kunde toluen påvisas i små mängder på en station utanför oljehamnen och en station i närheten av produktkajen. Vid oljehamnen kunde även styren detekteras i låga halter.

Inga opolära halogenerade alifatiska föreningar (triklormetan (kloroform), tetraklormetan (koltetraklorid), trikloreten (TRI) och tetrakloreten (PER)) kunde (sannolikt till följd av Alcontrols för högt satta detektionsgränser) påvisas vid undersökningarna år 2000.

Sju polybromerade difenyletrar (PBDE) undersöktes i området år 2000. Av dessa kunde endast PBDE-47 och PBDE-99 detekteras i små mängder på en station nära Scanraffs produktkaj, medan DekaBDE endast kunde detekteras i Malmöfjorden, dvs. utanför egentliga Brofjorden.

I figur 5:102 sammanfattas sedimentens miljökvalitet i Brofjorden år 2000 vad avser de ämnen/föreningar där svenska alternativt norska gränsvärden finns att tillgå. Siffrorna visar hur antalet stationer fördelar sig för varje ämne och tillståndsklass. Resultaten visar att ytsedimenten (0–1 cm) på de flesta stationerna är förorenat (klass 4) med avseende på polycykliska aromatiska kolväten (PAH), moderat förorenat (klass 3) med avseende på polyklorerade bifenyler (PCB) samt på några stationer när det gäller tungmetallerna Cd och Pb.

För övriga metaller (As, Cu, Cr, Hg, Ni och Zn), totalkolväten (THC) med ett undantag, organiskt kol (TOC) och totalkväve (TN) är miljökvaliteten att betrakta som bra till mycket bra (klasserna 1–2).

Utvecklingstrenden mellan 1972/1977 och 2000 illustreras översiktligt i figur 5:103. Pilarna visar om medelkoncentrationen för respektive ämne ökat, minskat eller är oförändrad. I syfte att erhålla en mer allmängiltig bild av koncentrationsförändringen av respektive miljögift har respektive medelvärde över de sju stationerna testats statistiskt med hjälp av s.k. t-test med (n–1) frihetsgrader för matchade datapar. Härigenom har den statistiska sannolikheten (p) för respektive medelvärdesförändring kunnat fastläggas. Resultaten av testen visas med olika färger för olika sannolikhetsnivåer i figur 5:112. Förändringar under 10 % är inte statistiskt signifikanta till följd av den naturliga inhomogeniteten i ett sedimentprov.

Utöver berörda test av medelvärdesförändringen måste också hänsyn tas till sedimentens omblandningsfaktor i området. Denna avgör hur stor procentuell förändring som krävs för att en förändring med säkerhet

Brofjorden 2000 Ämne/förening	Klass 1 *Bakgrund* *Background*	Klass 2 *Låg halt* *Low cont.*	Klass 3 *Medelhög halt* *Medium cont.*	Klass 4 *Hög halt* *High cont.*	Klass 5 *Mycket hög halt* *Very high cont.*
Arsenik (As)	1	6			
Bly (Pb)	1	4	2		
Kadmium (Cd)	2	2	3		
Koppar (Cu)		7			
Krom (Cr)	7				
Kvicksilver (Hg)		7			
Nickel (Ni)	7				
Zink (Zn)	4	3			
Sum 11 PAH			1	6	
Sum 7PCB		2	5		
Tot PCB		4	3		
*TOC**	*1*	*3*	3		
*TN**		*3*	4		
*THC**	*3*	*3*	1		
** enligt SFT*					

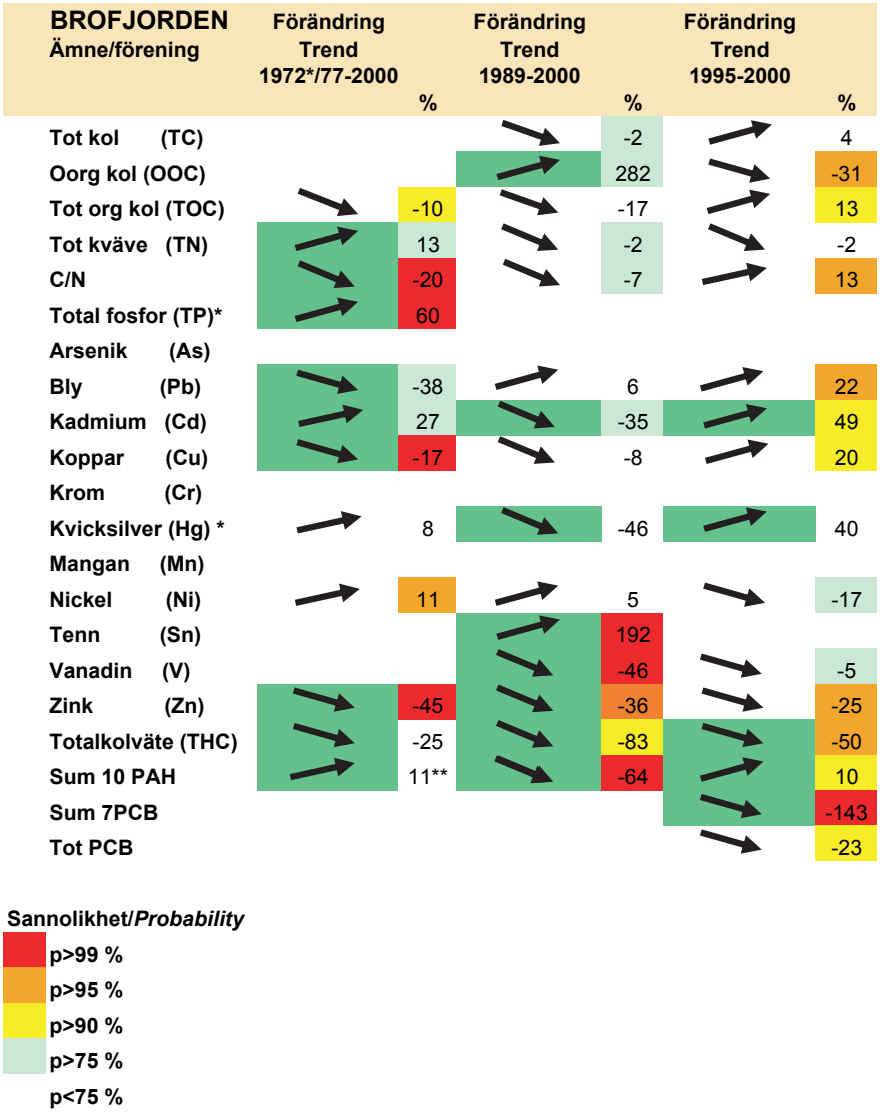
Figur 5:102. Klassificering av miljökvaliteten på de 7 sedimentstationer (0–1 cm) som ingår i kustvattenkontrollen av Brofjorden år 2000. Siffrorna visar antalet stationer inom varje klass. Klassificering enligt svenska bedömningsgrunder (Naturvårdsverket 1999, 2005) utom i fem fall (markerade med *) där norskt klassificeringschema efter SFT (Rygg & Thèlin 1993, Konieczny & Juliussen 1995) använts.

*Classification of environmental sediment quality for the 7 stations (0–1 cm) run by the Coastal Water Monitoring Programme of the Brofjorden in 2000. The figures refer to the number of stations within each class. Classification according to Swedish Environmental Quality Criteria (Naturvårdsverket 1999, 2005) except in five cases (marked with *) where the classification system after SFT in Norweig (Rygg & Thèlin 1993, Konieczny & Juliussen 1995) has been used.*

skall kunna detekteras vid ett tjugofemårigt, tioårigt respektive femårigt provtagningsintervall. Förändringar över 10, 20 respektive 35 % kan i detta fall anses säkra vid ett tjugofemårigt, tioårigt respektive femårigt provtagningsintervall. I de fall dessa krav är uppfyllda har förändringarna markerats med grönt i figur 5:103.

Resultatet från trendanalysen visar en starkt signifikant minskning sedan 1972/77 av Pb, Cu, Zn och totalkolväte (THC) i ytsedimentet (0–1 cm) samt sedan 1989 dessutom av Cd, Hg och V. Endast Sn, Cd, tot-P, tot-N och polycykliska aromatiska kolväten (PAH) uppvisar en signifikant ökning sedan 1972/77. För övriga metaller är förändringarna mindre och därmed osäkra då de understiger eller ligger nära de 10 respektive 20 % som baserat på blandningsfaktorn krävs för att en förändring med säkerhet skall kunna fastläggas vid ett tjugofemårigt respektive tioårigt provtagningsintervall.

Under den senaste femårsperioden (1995–2000) har med mycket stor sannolikhet THC och ∑7 PCB, minskat mer än vad omblandningsfaktorn kräver för att förändringen med säkerhet skall kunna detekteras vid ett femårigt provtagningsintervall. Detta gäller också ökningen av Cd och PAH under samma period. För övriga metaller och föreningar är förändringarna mindre än berörda omblandningsfaktor och därför osäkra.



Figur 5:103. Sammanställning över förändringen av medelvärdeskoncentrationen för några ämnen och föreningar i Brofjordens ytsediment (0–1 cm) mellan 1972/77 och 2000. Nedåtriktad pil betyder minskad halt och uppåtriktad pil ökad halt. Grönmarkerade fält markerar förändringar som är större än de minst 10, 20 respektive 35 %, som baserat på blandningsfaktorn, krävs för att en förändring med säkerhet skall kunna detekteras vid ett tjugofemårigt, tioårigt respektive femårigt provtagningsintervall. * = 1972–2000, ** 1984–2000.

*Compilation of the changes of the average concentrations of some elements and compounds between 1972/77 and 2000 in the surficial sediment (0–1 cm) of the Brofjorden. Arrow pointed downwards implies decreasing concentration and arrow pointed upwards implies increasing concentration. Green areas mark changes bigger than the mimimum of 10, 20 and 35 % needed to detect changes with a high significance in atwentyfive-, ten- and five-years sampling interval respectively. * = 1972–2000, ** 1984–2000.*

5.8 Summary

At the request of the Preemraff Lysekil, the bottom sediments in the Brofjorden were examined with regards to certain physical and chemical parameters in 2000. Slightly more than 70 chemicals and compounds, heavy metals, organic micropollutants and nutritive substances were studied at 7 sites. The Geological Survey of Sweden (SGU) was responsible for sampling procedures and Alcontrol for analyses of sediment samples and preliminary reporting, while SGU carried out the evaluation, trend analyses and final reporting. The study is part of the Preemraff Lysekil Monitoring Programme of the Brofjorden, comprising inter alias control and evaluation of sediment quality every fifth year. The former study was carried out in 1972 (Cato 1977), 1977 (Göthberg & Johansson 1981), 1984 (Cato et al. 1989), 1989 (Cato 1990) and 1995 (Cato 1997). The investigations in 1995 and 2000 were coordinated by the Bohus Coast-water Conservation Association.

Prior to the present investigation in 2000 the bottom surface around each sampling station was hydroacoustically imaged (side-scan sonar). The imaging was carried out in order to increase the knowledge of the sedimentary environment at and around each sampling station. After that a resampling of the superficial sediment layer (0–1 cm) was carried out at seven of the previous (1995) sampled stations. By assuming that the main part of this layer consists of recently deposited sediments, the trend of the environmental quality expressed as the anthropogenic load of substances to the Brofjorden could be determined by trend analysis. In the trend analysis summarized below, only the average trend of each parameter, element or compound within the entire fiord is given. The trend at each station is given separately under its respective chapter in the present report.

To be able to determine the load of a certain chemical or compound within a coastal area or recipient, consideration must, in some cases, be taken of the effect of the natural variation of the element/compound. This, in turn, depends on the variation of the concentration of organic matter. This can be done using the Gradient method, where the gradient itself expresses the degree of the anthropogenic load. However, this presuppose that the element/compound in question shows an acceptable and probable positive correlation (association) with the sedimentary organic carbon. In those cases where such a relationship exists within an area the load gradient has been determined.

The content of clay and silt, i.e. the fraction <63 µm was determined at all stations as *i.a.* the environment of sedimentation at each site has to be examined. Together with the water content determinations of the sediment, the radiographic analyses and the above mentioned hydroacoustic imaging, the results show that several sites within the Brofjorden were found to represent less stable sedimentation conditions. This was not the case in the 1970's. The proportion of clay particles (<2 µm) have successively diminished between 1972 and 2000. The cause to these changes can be assigned to the increased traffic of ships to the oil- and cargo terminals. This change of the grain-size distribution of the bottom sediment is interpreted to be an effect of the deep draught and propeller movements of vessels, together with the pressure waves created by the ships under way, have led to disturbance of the environment by repeated resuspension of bottom sediments inside the shipping lanes. It is then possible for currents and waves to transport the finest grained material away and deposit it in sheltered environments outside the shipping lanes and ports respectively.

There is a good correspondance between the sediment colour and oxic condition at each site between the different investigations carried out between 1972 and 1995.

The total organic carbon (TOC) content of the sediments falls within an interval that can be considered as normal for the Bohus coast. However, the content has decreased with about 10% since 1972. The reason for this change is probably the above mentioned shipping traffic and its effects on the deposition environment. The content of inorganic carbon (OOC, mainly carbonate coal) has instead increased since 1989, while the total carbon (TC) is more or less unchanged.

The majority of the nitrogen (TN) occuring in the sediments is organically bound and therefore displays a distribution pattern closely resembling that for total organic carbon. On average the nitrogen content in the sediment has decreased by 2% since 1995 while the C/N ratio has increased by c. 13% during the same period. These changes indicate that the increase in the amount of deposited marine detritrus (rich in nitrogen and poor in cellulose), which was observed between 1975 and 1995, now is broken. This situation is evidenced by the regression coefficient of the relationship between nitrogen and organic carbon which decreased from 0,14 to 0,09 between 1995 and 2000. From the negative relationship between the C/N ratio and the nitro-

gen content of the sediment, it is evident that the change is due to an decreased proportion of nitrogen rich detritus. The change in the C/N ratio is due to the previous observed general eutrophication of the area, which during many years favoured the production of marine organic matter viz. the supply of organic matter from land, now seems to have diminished. Corresponding changes have previously been reported from the Stenungsund area between 1975 and 2000, and along the Bohus Coast between 1990 and 2000 (see part 2 and 4, this volume).

The tota phosphorous (tot-P) content has on average increased by c. 60% between 1972 and 2000. Corresponding changes have also been observed at other places along the Bohus coast, e.g. the Stenungsund area between 1975 and 2000, and along the Bohus Coast between 1990 and 2000 (see part 4 and 2, this volume). The cause of this change is surprising as c. 96% of the phosphorous in the municipal treatment plants nowadays is trapped. The increase is probably caused by diagenetic processes which enrich phosphorous in the sediment surface as a consequence of changed bottom dynamic conditions. Consequently the result does not imply increased phosphorous emission to the fiord.

The relative distribution pattern of the heavy metals cadmium (Cd), copper (Cu), mercury (Hg), nickel (Ni), and zinc (Zn) only display a diffuse contamination. The content of lead (Pb) and vanadium (V) show some increase in the vicinity of the cargo port.

The trend analysis shows that the metals Cu, Cd, Hg and Pb have increased with 20 to 49% in the surficial sediments between 1995 and 2000, while Ni and Zn decreased by 17 and 25% respectively. V is relatively unchanged during the same period. Looked at in a somewhat longer perspective (1989–2000) most metals, except Pb, Ni and Sn, have decreased between 8 and 46%. However, the concentrations of Cu, Pb and Zn are lower in 2000 than in 1977, while both Cd and Ni have increased by 27 and 11% respectively. The increase of Hg during the same period is not significant as the increase is lower than the mixing (bioturbation) factor.

According to the Gradient method, where regard is taken to the natural variation of the organic matter content in the sediment, confirms the above described trends. The gradients of cadmium, copper, mecury and zinc have fallen from an anthropogenic loaded condition in 1989 to a condition in 1995 and 2000 close to a natural load only affected by diffuse contamination.

Total hydrocarbons (THC) were detected at all sites.In conformity with previous investigations (1984, 1989 and 1995) the highest concentration was found outside the waste-water discharge in Hamrevik. THC concentrations >100 mg/kg dw have to be considered as high. At all stations, except one (Hamrevik), the concentrations were beyond this limit. Since 1995 the THC concentration, on average, has decreased by 50% and since 1984 with as much as 95%. THC is at most enriched 24 times (Hamrevik) compared to the background reference at the Färö islands. On average the enrichment is five times in 2000 compared to seven times in 1995. At some stations in the Brofjorden proper a highly weathered complex mixture of unidentified substances (UCM) was found, which implies petroleum contamination. At the sites outside the waste-water discharge and east of the island Rixön the proportion of UCM has increased since 1984, which may indicate an increased supply of petroleum products. Since 1984 the total hydrocarbon concentration has, on average, deacreased by 95%. Brofjorden has to be considered as moderately contaminated with respect to THC.

Sixteen polycyclic aromatic hydrocarbons (∑16 PAH) were analysed within the area. The distribution pattern differ between the different compounds with two dominant pattern recognized. The hydrocarbons with a larger molecule weight are observed more frequently within the Brofjorden proper, while the less heavy compounds show higher concentrations outside the fiord. As a consequence of different compounds analysed between 1977/1984/1989 and 1995/2000, it has only been possible to evaluate the trend of ∑10 PAH. The trend shows a decrease of 77 and 64% on average since 1984 and 1989 respectively, but a small increase (10%) can be recognized between 1995 and 2000. In relation to the background reference from the Färö islands the enrichment is slightly more than three times on average. In respect to ∑16 PAH the fiord area has to be considered as moderately contaminated. At six out of seven sites the cancerogenic compound benzo(a)pyrene is high.

Methylnaphtalenes was for the first time studied in 2000. Only small amounts could be detected and then mainly in the vicinity of the ports of Preemraff Lysekil. No metylnaphtalenes was detected inside Rixö island.

Polychlorinated biphenyls (PCBs) could with exception for two congenes (PCB-28 and PCB-52) be detected at mainly all sampling sites within the area. The most elevated concentrations were found between

Rixön an Lahälla, at the oil-terminal and off the waste-water discharge of Preemraff Lysekil in the Hamrevik. On average ∑7 PCB has decreased by 143% since 1995. During the same period the content of total-PCB (as Aroclor) has decreased by 23%. The concentrations are about 70% lower than in the open Skagerrak and Kattegat.

All of the following compounds have not been previously studied within the framework of the monitoring programme of Brofjorden. Consequently it is not possible to show any trends.

Of the very toxic group nonortho-PCBs only one congene (PCB-77) was detected. It was found at six out of seven studied sites. The highest concentration was detected inside Rixön island.

The monoaromates benzene, toluene, ethylbenzene, xylene and styrene were for the first time studied in 2000. Only toluene could be detected in small quantities in vicinity of the oil- and cargo terminals. Styren was also detected in the oil-port.

No non-polar aliphatic halogen compounds (trichloromethane (chloroform), tetrachloromethane, trichloroethene (TRI), tetrachloroethene (PER)) were (probably as a consequence of too high detection limits set up by Alcontrol) detected during the investigations in 2000.

Seven polybrominated diphenylethers (PBDE) were investigated in the area in 2000. Out of these only PBDE-47 and PBDE-99 were detected in small quantities at one site in the vicinity of the cargo port, while DecaBDE only was detected in the Malmöfjorden, i.e. outside the Brofjorden proper.

In Figure 5:102 the sediment quality within the Brofjorden in 2000 is summarized with respect to each element/compound when suitable Swedish or Norwegian criteria are available. The figures show the distribution of the number of sites with respect to each element/compound and the class of anthropogenic impact. The results imply that the superficial sediment (0–1 cm) at most sites in the fiord, with respect to polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH) are contaminated (class 4), and with respect to polychlorinated biphenyls (PCB) and at some stations Cd and Pb, are moderately contaminated.

For all other metals (As, Cu, Cr, Hg, Ni and Zn), total hydrocarbon (THC) with one exception, organic carbon (TOC) and total nitrogen (TN) the sediment status is good to very good (classes 1–2).

The trend of the sediment quality status between 1972/1977 and 2000 is summarized in Figure 5:103. The arrows show whether the average concentration of each element or compound increased, decreased or is unchanged. For the purpose to clarify a more generalized view of the concentration changes of the contaminants each average value of the site data has been statistically tested using a t-test with (n-1) degrees of freedom for matched pairs. By this method the statistical probability (p) of each average change was established. The results of the test are presented in Figure 5:103. Changes less than 10% can not be considered as statistically significant.

However, consideration has also to be taken to the bioturbation factor. This determinates how strong change that is needed, with a high probability, to detect changes at a twenty-five-, ten- and five-year interval of sampling respectively. In this case, changes of more than 10, 20 and 35% respectively have to be considered. In those cases where this is fulfilled the changes have been marked with green colour in figure 5:103.

The result from the trend analysis demonstrated a strong significant decrease of Pb, Cu, Zn and total hydrocarbons in the superficial sediment (0–1 cm) since 1972/77, and furthermore since 1989 of Cd, Hg and V. Only Sn, Cd, tot-P, tot-N and polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH) show a significant increase during since 1972/1977. Most other metals have changes less than the bioturbation factors 10 and 20% respectively, and therefore they have to be considered as uncertain in a twenty-five- and ten-years retro-perspective.

During the last five-year period (1995–2000), and with a very high probability, THC and ∑7 PCB have decreased more than needed for a change with respect to the bioturbation factor at a five-years sampling interval. This is also valid to the increase of Cd and PAH during the same period. Most other elements and compounds show changes less than the bioturbation factor and consequently have to be considered as uncertain.

5.9 Referenser

Alcontrol, 2004: *Bohuskustens vattenvårdsförbund 2001–2002. Resultat från undersökningar av sediment och biologiskt material.* Rapport Alcontrol Laboratories 2004, 361 s.

Axe, P., Andersson, L., Håkansson, B., Sahlsten, E. & Ingemansson, A., 2004: Sammanställning och utvärdering av hydrografiska mätningar längs Bohuskusten. *SMHI Rapport 2004-57*, 144 s.

Bjerk,J.E. & Brevik, E.M., 1980: Organochlorine compounds in aquatic environments. *Arch. Environ. Contam. Toxical. 9*, 743–750.

Brandt, M., 1975: *Rapport angående oceanografiska basundersökningar under 1973 i Brofjordenområdet*. Sver. Metrol Hydrol. Byrå, 9 s.

Cato, I., 1977: Recent sedimentological and geochemical conditions and pollution problems in two marine areas in southwestern Sweden. *Striae 6*, 158 s.

Cato, I., 1986a: Sedimentens belastning av tungmetaller och närsalter i Göteborgs skärgård 1982, samt förändringar efter 1966. Göteborgs universitet, *Maringeologiska institutionen, Rapp. 2*, 95 s.

Cato, I., 1986b: Tungmetaller och petrogena (organiska) substanser i Stenungsundsområdets bottensediment 1985, samt förändringar efter 1975. *Naturvårdsverket Rapport 3152/Miljöutredningen för Stenungsund Rapport Nr 25*, 49 s.

Cato, I., 1990: Sedimentundersökningar i Brofjorden särskilt Trommekilen 1989, samt förändringar efter 1972 och 1984. *Sveriges geologiska undersökning Rapporter & meddelanden 64*, 75 s.

Cato, I., 1992: Sedimentundersökningar längs Bohuskusten 1990 – Göteborgs och Bohus läns kustvattenkontroll. *Sveriges geologiska undersökning Rapporter & meddelanden 74*, 97 s.

Cato, I., 1997a: Sedimentundersökningar i Stenungsundsområdet 1995, samt förändringar under de senaste 20 åren. *I* I. Cato (red.): Sedimentundersökningar längs Bohuskusten 1995 samt nuvarande trender i kustsedimentens miljökvalitet – en rapport från fem kontrollprogram. *Sveriges geologiska undersökning Rapporter & meddelanden 95*, 193–266.

Cato, I., 1997b: Contaminants in the Skagerrak and Kattegat sediments. *I* I. Cato & F. Klingberg (red.): The proceedings of the fourth Marine Geological Conference - the Baltic. Uppsala 1995. *Sveriges geologiska undersökning Ca 95,* 23–36.

Cato, I., Mattsson, J. & Lindskog, A., 1986: Tungmetaller och petrogena kolväten i Brofjordens bottensediment 1984, samt förändringar efter 1972. *Unviersity of Göteborg, Dep. of Marine Geology, Report No 3*. 95 p.

Cato, I., Rindby, A. & Rudolfsson, J., 2000: Unik sedimentscanner utvecklad. *Geologiskt forum 25*, 13–15.

Clark, R.C. & Brown, D.W., 1977: Petroleum: properties and analyses in biotic and abiotic systems. *I* D.C. Malins (red.): *Effects of petroleum on arctic and subartic marine environments and organisms. Vol I.* Academic Press.

Farrington, J.W., 1980: An overview of the biogeochemistry of fossil fuel hydrocarbons in the marine environment. *I* Petrakis & F.T. Weiss (red.): *Petroleum in the Marine Environment.* American Chemical Society.

Göthberg, A. & Johansson, M., 1981: Brofjorden. Naturvårdsverket *SNV PM 1500*, 11 s.

Helland, A., Naes, K. & Skei,J., 1990: Undersökelser av partikler i vannmassen, sedimentasjon og bunnsedimenter i svensk/norsk grensefarvann. *NIVA Rapport 432/90*, 117 s.

Helland, A., Brevik, E.M. & Godal, A., 1996: Sedimentudersøkelser i Göteborgs og Bohus läns kystvann 1995. *NIVA Rapport LNR 3499-96,* 66 s.

Håkanson,L., Jonsson,B., Jonsson,P. & Martinsen,K., 1988: Påverkansområden för klorerat organiskt material fråm massablekerier. *SNV Rapport 3522*, 165 s.

Jonasson, A. & Olausson, E., 1966: New devices for sedimentsampling. *Mar. Geol. 4*, 365–372.

Knickmeyer,R. & Steinhart, H., 1988: The distribution of cyclic organochlorines in North Sea sediments. *Dt. Hydrogr. Z., 41*, 1–21.

Konieczny, R.M., 1994: Miljøgiftundersøkelser i Indre Oslofjord. Delrapport 4. Miljøgifter i sedimenter. *NIVA Rapport TA nr 1074/1994,* 124 s.

Konieczny, R.M. & Juliussen, A., 1995: Sonderende undersøkelser i Norske havner og utvalgte kystområder. Fase 1. Miljøgifter i sedimenter på strekningen Narvik Kragerø. *NIVA-Rapport 587/94.* 185 s.

Lindström, A., 1902: Beskrivning till geologiska kartbladet Uddevalla. *Sveriges geologiska undersökning Ac 3,*

115 s.
Lohse, J., 1988: Ocean incineration of toxic wastes: a footprint in North Sea Sediments. *Mar. Pollut. Bull. 19*, 366–371.
Naturvårdsverket 1999: Bedömningsgrunder för miljökvalitet i Kust och hav. *Naturvårdsverket Rapport 4914*, 134 s.
Naturvårdsverket 2005: ://www.naturvardsverket.se/index.php3?main=/dokument/fororen/orggift/organisk.html.
Naes, K, 1983: Basisundersökelse i Hvaleområdet og Singlefjorden. Löste metaller og suspendert partikulaert materiale i overflatevann og kjemisk sammensetning av bunnsedimenter, 1980-81. *NIVA Rapport 0-89095502/03*, 51 s.
Niemistö, L., 1974: A gravity corer for studies of soft sediments. *Havsforskningsinst., Skr. Helsinki, 238*, 33–38.
Rudling, L., 1976: Oil Pollution in the Baltic Sea. Statens Naturvårdsverk. *SNV PM 783*, 1–80.
Rygg, B. & Thélin, I., 1993: Klassificering av miiljøkvalitet i fjordar og kystfarvann. Kortversion. *SFT-veiledning nr 93:02*, 20 s.
Sleeter, T.D., Butler, J.N. & Barbash, J.E., 1980: Hydrocarbons in the sediments of the Bermuda region lagoonal to abyssal depths. *I* Petrakis & F.T. Weiss (red.): *Petroleum in the Marine Environment*. American Chemical Society.
Sternbeck, J., Brorström-Lundén, E., Remberger, M., Kaj, L., Palm, A., Junedahl, E. & Cato, I., 2003: WFD Priority substances in the sediments from Stockholm and the Svealand coastal region. *IVL Report B1538*, 82 s.
Sturm, R., Knauth, H.D., Reinhardt, K.H. & Grandrass, J., 1986: Chlorkohlen Wasserstoff-Verteilung in Sediment und Scwebstoffen der Elbe. *Wasser 67*, 23–38.
Svensson, J., 1973: *Rapport angående oceanografiska undersökningar under 1972 i Brofjordenområdet.* Sver. Meteorol. Hydrol. Inst. Hydrol. Byrån, 11 s.
Öström, B., 1973: *Hydrographical measurement program and some basic data. Brofjorden I.* Medd. Havsfiskelab, 15 s.

Del 6

Föroreningar och miljökvalitet i Gullmarens sediment 2000 samt förändringar under de senaste 20 åren – Gullmarens kontrollprogram

Contaminants and environmental quality in the Gullmaren sediment in 2000 and changes during the last 20 years – the Water Monitoring Program of Gullmaren

Innehållsförteckning

Abstract 353
6.1. Inledning 353
6.2 Undersökningsområde 355
6.3 Metoder 355
6.4 Analyser 356
6.5 Resultat 357
6.5.1 Kornstorleksfördelning och sedimenttyper 357
6.5.2 Sedimentens färg och grad av bioturbering 358
6.5.3 Vattenhalt samt förändringar efter 1980 359
6.5.4 Totalkol och oorganiskt kol samt förändringar efter 1980 359
6.5.5 Organiskt kol samt förändringar efter 1980 359
6.5.6 Totalkväve samt förändringar efter 1980 360
6.5.7 Kol-kvävekvoten (C/N) samt förändringar efter 1980 360
6.5.8 Totalfosfor samt förändringar efter 1980 361
6.5.9 Tungmetaller samt förändringar efter 1980 361
6.5.10 Totalkolväten samt förändringar efter 1984 364
6.5.11 Polycykliska aromatiska kolväten samt förändringar efter 1984 364
6.5.12 Polyklorerade bifenyler samt förändringar efter 1995 366
6.5.13 Polybromerade difenyletrar 367
6.6 Sammanfattning 368
6.7 Summary 370
6.8 Referenser 372

Abstract

Surface sediment samples collected from the deepest part (Alsbäck Deep) in the Gullmarfjorden, south-western Sweden, were analysed for total carbon, inorganic carbon, organic carbon, total nitrogen, total phosphorus, heavy metals (As, Cd, Cr, Cu, Hg, Mn, Ni, Pb, Sn, V, Zn), total hydrocarbons (THC), total polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH), polychlorinated biphenyls (PCB) and polybrominated diphenylethers, with simultaneously determinations of grain-size distribution and water content. The main purposes were: 1) to describe the present status (Environmental Quality) of the sampling site, 2) to identify the changes that have taken place between 1980 and 2000, and 3) to try to clarify whether any unknown or unwanted loads of contaminants exist in the fiord. A comparison with corresponding studies carried out in the Skagerrak and Kattegat has been made. The results show that the site GK2 at the Alsbäck Depth was moderately contaminated to contaminated with respect to As and PAH respectively, and low or not contaminated with respect to Cd, Cu, Cr, Hg, Ni, Pb, Zn and PCB. The trend of the changes in sediment quality between 1980 and 2000 demonstrated a moderate to strongly significant increase of tot-P and decrease of the C/N ratio. All other elements and compounds (Cd, Cr, Hg Ni, Pb, V, Zn, THC and PAHs) showed a moderate to strong decrease in the sediment. The trend between 1995 and 2000 showed the same trend except for As, Sn, PAH and the C/N ratio which has increased slightly, and TOC, tot-P and Ni which did not change. Three out of eight studied polybrominated diphenylethers were detected and the concentrations of PBDE-47 and PBDE-99 were found to be higher at this site compared to all the other sites studied along the Bohus coast.

6.1 Inledning

Gullmarns naturvårdsområde inrättades 1983. Efter en förstudie till ett kontrollprogram under åren 1979–1983 inrättades Gullmarns kontrollprogram 1983 med syfte att följa den naturliga marinbiologiska utvecklingen i fjorden och för att i ett tidigt skede uppmärksamma miljöförändringar i fjorden. Kontrollprogrammet drivs numera av länstyrelsen i Västra Götalands län och finansieras med naturvårdsmedel från Naturvårdsverket.

På uppdrag av dåvarande länstyrelsen i Göteborgs och Bohus län genomförde Maringeologiska institutionen, Göteborgs universitet, år 1980 en begränsad geokemisk undersökning av ytsedimenten i Gullmarsfjorden (Joslin 1985). Undersökningen ingick i en tvärvetenskaplig förstudie till kontrollprogrammet, en s.k. basundersökning, vars målsättning var att kartlägga Gullmarsfjordens status ur miljösynpunkt samt att skapa ett underlag för ett framtida kontrollprogram. Sedimentundersökningen omfattade studier av näringsämnen och tungmetaller på tolv stationer. Resultaten visade att Gullmarsfjordens ytsediment endast i ringa omfattning var kontaminerat.

1987 genomfördes av Maringeologiska institutionen, Göteborgs universitet, en förnyad sedimentundersökning av ytsedimenten på samtliga stationer upprättade i basundersökningen (Bornmalm 1988). Motsvarande parametrar och ämnen som studerats vid 1980 års undersökning ingick i kontrollprogrammet. Resultaten visade i jämförelse med 1980 på oförändrad status 1987.

1995 års sedimentundersökning omfattande endast två stationer i Gullmarsfjordens tidigare kontrollprogram, den ena i Alsbäcksdjupet och den andra i fjordens inre nordliga del, benämnd Färlevsfjorden. I 1995 års undersökning hade således antalet stationer kraftigt reducerats i förhållande till basundersökningen och det första genomförda kontrollprogrammet 1987, samtidigt som antalet studerade parametrar och ämnen kraftigt utvidgats, bl.a. med ett antal organiska miljögifter. Miljöförhållandena i den andra fjordgrenen, benämnd Saltkällefjorden, bevakas inom ramen för Bohuskustens vattenvårdsförbunds kustvattenkontroll (se del 2, denna samlingsvolym).

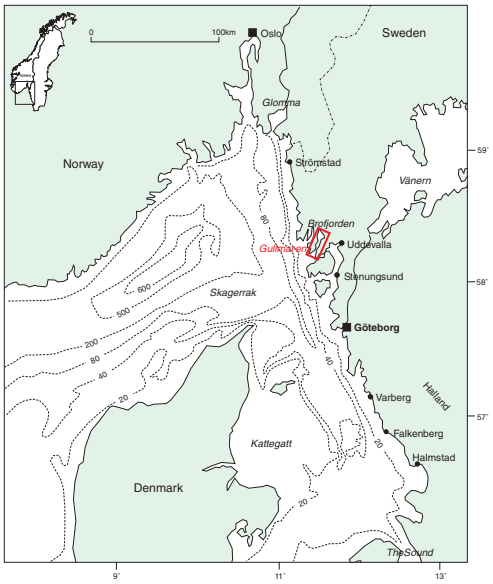


Fig. 6:1. Översiktskarta över Skagerrak och Kattegatt med undersökningsområdet markerat.

Outline map of the Skagerrak and Kattegat showing the location of the investigated area.

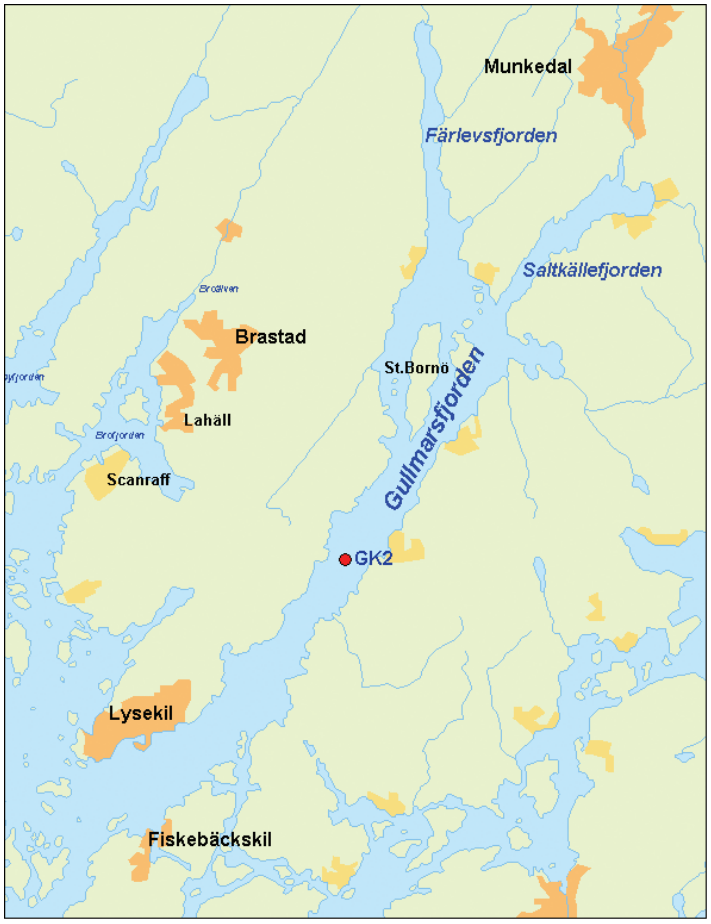


Fig. 6:2. Karta över Gullmarsfjorden utvisande läget för station GK2.

Map of the Gullmarsfjord showing the position of the site GK2.

Undersökningarna 1995 visade att halten av kväve och fosfor i ytsedimentet ökat kraftigt sedan 1987 samtidigt som C/N-kvoten sjunkit indikerande en ökad eutrofiering av fjorden. Halten av totalkolväte (THC), polycykliska aromatiska kolväteföreningar (PAH) samt metallerna Cd, Cr, Hg, Pb och Zn minskade signifikant under samma period medan halten av Cu ökade på station GK2. Sedimentens miljökvalitet, bedömd efter norska bedömningsgrunder, visade att sedimentstatusen var mindre god (klass 2) med avseende på Pb, Cd, Zn, PAH, PCB och pentaklorbensen, men med avseende på andra studerade parametrar god (klass 1). I

Gullmarens kontrollprogram för år 2000 har antalet stationer reducerats till en enda station (GK2), belägen i Alsbäcksdjupet.

2000 års undersökning har samordnats och upphandlats av Bohuskustens vattenvårdsförbund. För provtagning har Sveriges geologiska undersökning (SGU) svarat, analys och rapportering av analysdata har utförts av Alcontrol AB i Nyköping (Alcontrol 2004). Sveriges geologiska undersökning svarar för sammanställning och utvärdering av resultaten.

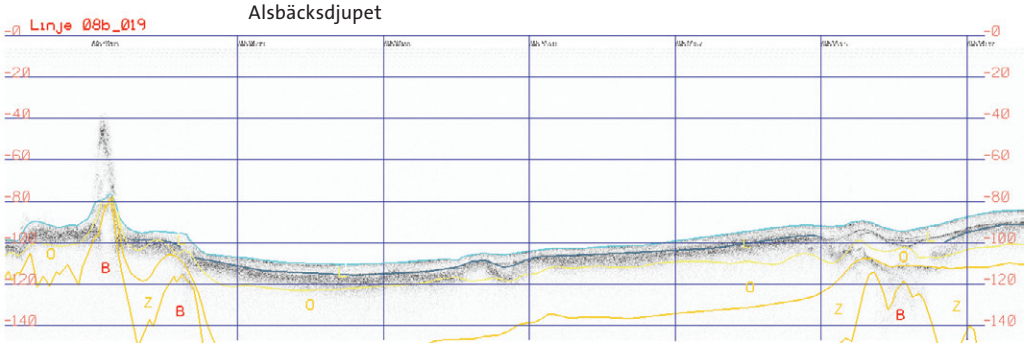
6.2 Undersökningsområde

Gullmarsfjorden, belägen i centrala Bohuslän, är Sveriges bäst utbildade fjord (fig. 6:1 och 6:2). Den har uppkommit genom en förkastning i urberget och utformades under den senaste istiden till en ca 25 km lång och ett par km bred s.k. äkta fjord med ett tröskeldjup av 42 meter något utanför mynningen. Fjorden har ett största djup av 120 meter vid Alsbäck (fig. 6:3), som ligger halvvägs in i fjorden. Gullmarsfjorden grenar upp sig innanför Stora och Lilla Bornö i de två fjordgrenarna Färlevs- och Saltkällefjorden. I den senare fjorden rinner Örekilsälven ut.

Berggrunden runt Gullmarsfjorden domineras av delvis migmatitomvandlad gråvacke- och glimmergnejs samt kvarsit. Den i norra Bohuslän dominerande röda Bohusgraniten når med sin sydligaste utlöpa ned till Gullmarsfjorden vid Lysekil. Norr om Stora och Lilla Bornö omges fjordgrenarna av delvis ådrade granitoider. Postglacial lera, ofta av betydande mäktighet, dominerar fjordbotten (SGU 2003). Leran överlagras av tunna silt- och sandlager i fjordens inre grunda delar. Sedimentationshastigheten har undersökts på några få punkter i fjorden. Baserat på pollenundersökningar anger Pettersson (1943) sedimentationshastigheten till ca 2 mm/år i de djupare delarna av fjorden. En betydligt högre sedimentationshastighet (4–10 mm/år) anges av Olausson m.fl. (1972). Olausson m.fl. baserar sina uppgifter på inträdet av den industriella nedsmutsningen av sedimenten.

6.3 Metoder

Gullmarsfjordens geokemiska status i bottensedimenten undersöktes på tolv stationer 1980 och 1987 (Joslin 1985, Bornmalm 1988) samt på två stationer 1995 (Cato 1997a). Analyserna omfattade till en början vissa tungmetaller, organiskt kol, vattenhalt och våtdensitet samt från och med 1995 också ett antal organiska miljögifter. 2000 års undersökningar omfattar endast en av de tidigare undersökta stationerna, men analysprogrammet har istället utökats kraftigt i jämförelse med tidigare år. Kartan i figur 6:2 utvisar läget för provtagningsstation GK2. Stationsbeteckningen GK2 ersätter den tidigare beteckningen VI från 1980 och



• = bottenyta
• = postglacial lera (L, ljusgul)
• = glaciallera (Z, mörkt gul)
B = kristallint berg

• = bottom surface
• = postglacial clay (L, light yellow)
• = glacial clay (Z, dark yellow)
B = crystalline bedrock

Fig. 6:3. Sedimentekolodsprofil som visar ett vertikalt SV–NO snitt genom sedimentlagren vid station GK2 i Alsbäcksdjupet, Gullmarsfjorden. Tolkningarna baseras också på reflektionsseismisk information. För förklaring, se legend.

Subbottom profiler image showing a vertical SW–NE cut through the sediment layers at site GK2 in the Alsbäck Deep, Gullmarsfjorden. The interpretations are also based on information recieved from shallow seismic measurements. For explanation, see legend.

1987 års undersökningar. Sedimentens geokemiska miljöstatus på station GK2 har även studerats 1984, 1985 och 1995 (Cato m.fl. 1986, Cato 1986, Cato 1997a).

Vid 1995 och 2000 års sedimentundersökningar positionsbestämdes station GK2 med hjälp av DGPS (Differential Global Positioning System). Dessa uppgifter redovisas i tabell 6:1 jämte vattendjupsuppgifter baserade på ekolodsdata från respektive undersökningsår. Positionerna från 1984 och tidigare är bestämda med enklare metoder och är därför mindre exakta. Station GK2 är belägen i Gullmarfjordens djupaste del, Alsbäcksdjupet (fig. 6:3 och 6:4), och vid samtliga provtagningstillfällen har djuphålan lokaliserats med ekolod. Detta innebär att provtagningarna genomförts på i stort sett samma plats. Platsen dokumenterades genom hydroakustisk avbildning med hjälp av side scan sonar.

Tabell 6:1. Provtagningsstationer vid 2000 års sedimentundersökning inom ramen för Gullmarns kontrollprogram. DGPS-positioner i WGS 84. Motsvarande stationsnummer och vattendjup redovisas från 1980, 1984, 1987 och 1995 års undersökningar.

Sampling sites of the sedimentological investigations in 2000 within the framework of the Gullmarn monitoring program. DGPS-positions are given in WGS 84. The corresponding site numbers and water depth of the investigation in 1980, 1984, 1987 and 1995 are also presented.

Station	Provnr. SGU	År	Latitud N	Longitud E	Vattendjup (m)
VI		1980/1987	58°19,00'	11°32,55'	120
GD		1984	58°19,20'	11°32,07'	116
GK2		1995	58°19,670'	11°33,102'	115
GK2	08b-0020 08b-0036	2000	58°19,670'	11°33,102'	115

2000 års ytsedimentprov (0–1 cm) från station GK2 insamlades med hjälp av en Gemini-corer (Niemistö 1974) och en box-corer (Jonasson & Olausson 1966) från SGUs undersökningsfartyg S/V Ocean Surveyor. Provtagningen ägde rum den 6 juli 2000 och ombesörjdes av Sveriges geologiska undersökning. Sedimentkärnan röntgades i en ITRAX sedimentscanner (Cato m.fl. 2000).

Prov överfördes till plastburk för oorganiska respektive glasburk för organiska analyser samt frystes i väntan på vidare analys.

6.4 Analyser

Sedimentproverna analyserades med avseende på ett flertal parametrar, grundämnen och organiska substanser (se tabell 6:2). En viktig komponent i analysprogrammet har varit att med hjälp av kornstorleksanalys, sedimentets vattenhalt, innehåll av organiskt material, samt optisk besiktning av sedimentprovet (sedimentbeskrivning) söka klarlägga de bottendynamiska förhållandena på platsen. En övervakningsstation för sedimentkontroll skall för att vara effektiv vara förlagd till en depositionsbotten, dvs. en botten med kon-

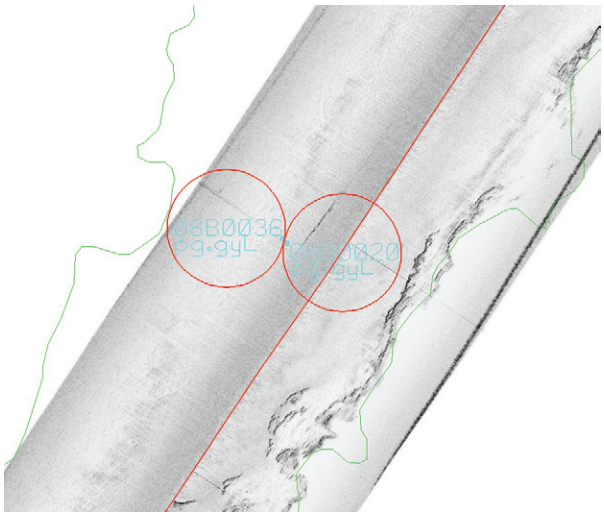


Fig. 6:4. Side scan sonarbild utvisande bottenytan vid station GK2 i Gullmaren (prov 08b-0036, 08b-0020). Grön linje markerar strandlinje, ljusblå fyrkant inom röd ring provtagningsplatsen.

Side scansonar image showing the bottom surface at site GK2 in the Gullmar fjord (sample 09b-0036, 08b-0020). Green line marks shoreline, light blue square within red circle marks the sampling site.

tinuerlig deposition av finsediment (<0,006 mm). Ju högre sedimentationshastighet ju lämpligare botten för miljöövervakning.

Tabell 6:2. Analyserade miljögifter och parametrar i sedimentprov från station GK2 i Gullmarsfjorden 1980–2000. Asterisk (*) markerar vad som analyserats respektive år.

Analysed pollutants and parameters in sediment samples from the site GK2 in the Gullmarsfjorden in 1980–2000. Asterisk marks type of analyses carried out respective year.

Ämnesgrupper analyserade i sediment	1980/ 1987	1984	1995	2000
Totalkolväten		*	*	*
Polycykl aromat kolväten (PAH)		*	*	*
Bicykl aromat. kolväten (NPD)			*	*
Extraherbart organiskt bundet klor (EOCl /EPOCl)			*	
Extraherbart organiskt bundet brom (EOBr /EPOBr)			*	
Pentaklorbensen (Pe-CB)			*	
Hexaklorbensen (HCB)			*	
Oktaklorstyren (Okt-CB)			*	
Polyklorerade bifenyler (PCB)			*	*
Total PCB				*
Lindan (gamma-HCH)			*	
Klordaner			*	
Bromerade difenyletrar (BDE)				*
Monoaromater (BTEX)			*	
Alifatiska halogenföreningar (haloformer)			*	
Ftalater			*	
Nonyfenol			*	
Totalkol (TC)			*	*
Organiskt kol (TOC)	*	*	*	*
Totalväve (Tot-N)	*	*	*	*
Totalfosfor (Tot-P)	*	*	*	*
Svavel (S)			*	
Metaller	*	*	*	*
Kornstorlek		*	*	*
Vattenhalt	*	*	*	*
Sedimentationshastighet				

Prover avsedda för fysikaliska analyser och analyser av metaller frystorkades först. Övriga prov gick direkt till analys. Alcontrol har samordnat analysarbetet. Följande laboratorier har medverkat: MikroKemi i Uppsala (kol och kväve), Alcontrol i Linköping (övriga kemiska analyser) och Statens geotekniska institut (SGI) i Linköping (kornstorleksanalyser). Använd analysmetodik finns beskriven i Alcontrol (2004).

6.5 Resultat

I tabell 6:3 redovisas analysresultaten för 2000 års undersökningar vad avser ytsedimentens kornstorleksfördelning (fraktionen <63 µm), vattenhalt, innehåll av totalkol, oorganiskt kol, totalt organiskt kol, totalkväve, kol-kvävekvoten (C/N) och totalfosfor på station GK2. Motsvarande data för åren 1980 (Joslin 1985), 1984, 1985 (Cato m.fl. 1986, Cato 1986), 1987 (Bornmalm 1988) och 1995 (Cato 1997a) redovisas också i den mån de analyserats tidigare. Från tidigare undersökningar har i tabell 6:3 enbart data medtagits från den station som undersökts år 2000. För information om andra tidigare provtagna stationer hänvisas till omnämnda rapporter.

6.5.1 KORNSTORLEK

Ytsedimentens kornstorleksfördelning undersöktes inte, till skillnad från 1984 och 2000, i sin helhet vid 1995 års undersökningar, utan endast fraktionen <63 µm, dvs. viktsandelen ler och silt bestämdes då i proven. För att skapa jämförbarhet mellan åren redovisas 1984 och 2000 års data på samma sätt. Resultaten redovisas i tabell 6:3 och figur 6:5.

Tabell 6:3. Kornstorleksfraktionen <63 µm, vattenhalt, totalkol (TC), oorganiskt kol (OOC), totalt organiskt kol (TOC), glödrest, totalkväve (TN), kol-kvävekvoten (C/N) och totalfosfor (Tot-P) i Gullmarfjordens ytsediment (0–1 cm) på station GK2 1980–2000. Data finns inte från alla år.

The grain-size fraction <63 µm, water content, total carbon (TC), inorganic carbon (OOC), total organic carbon (TOC), loss of ignition, total nitrogen (TN), carbon-nitrogen ratio (C/N) and total phosphorous (Tot-P) in the surficial sediments (0–1 cm) of the Gullmarsfjord at site GK2 in 1980–2000. Data are lacking for some years.

Station	År	Silt +ler <63 µm vikts-%	Vattenhalt %	TC g/kg	OOC g/kg	TOC g/kg	Glödrest g/kg	TN g/kg	C/N	Tot-P g/kg
GK2	1980	-	-	-	-	37	-	3,4	10,9	1,0
	1984	66	75,1	-	-	29,3	-	2,8	10,3	-
	1985	-	69,2	-	-	29	-	-	-	-
	1987	-	75,6	-	-	30	-	-	-	-
	1995	98,5	76,4	42,5	13,8	28,7	850	4	7,2	1,6
	2000	98,5	82,9	39	10	29	860	3,6	8,1	1,6

På station GK2 är andelen ler och silt, dvs. fraktionen <63 µm, över 98 viktsprocent. Detta indikerar att stationen såväl 1995 som 2000 representerar en god depositionsmiljö. Motsvarande data från 1984 vad avser station GK2 visar på en betydligt lägre andel av sedimentet som är <63 µm. Detta kan hänga samman med variationer i kornstorlekssammansättning utmed djuphålans branter eller troligare skillnader i analysteknik.

Sedimentet på station GK2 klassificeras enligt svensk standard (SGU 1974) som gyttjefinlera.

6.5.2 SEDIMENTENS FÄRG OCH GRAD AV BIOTURBERING

Färgen på det klastiska sedimentet på station GK2 år 2000 är mörkt olivgrå (5Y4/2) med ett mörkbrunt ytskikt. Det senare indikerar oxiska förhållanden i bottenvattnet. Ingen bioturbation har observerats vid den radiografiska (röntgen-) analysen med ITRAX sedimentskanner (metoden finns beskriven i Cato m.fl. 2000), se fig. 6.6. Skanningen genomfördes med en steglängd om 100 µm och exponeringstid av 100 ms hos linjekameran samt vid en tubspänning och tubström av 60 kV respektive 18 mA.

Motsvarande sedimentdata för 1984 och 1995 års undersökningar återfinns i Cato (1986) och Helland m.fl. (1996), medan dessa uppgifter saknas för undersökningsåren 1980, 1985 och 1987. Sedimentbeskrivningarna bygger på en kombination av optisk och radiografisk analys av de översta ca 40 cm av bottensedimenten.

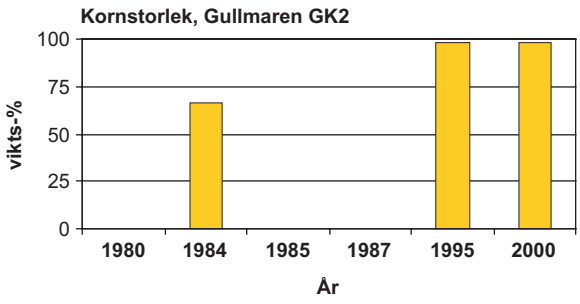


Fig. 6:5. Variationen i ytsedimentets (0–1 cm) kornstorleksfraktion (<63 µm) mellan 1984 och 2000 på station GK2 i Gullmarsfjorden. Data saknas för vissa år.

The variation of the grain-size fraction (<63 µm) in the surficial sediments (0–1 cm) between 1984 and 2000 at the site GK2 in the Gullmarsfjord. Data are lacking for some years.

Fig. 6.6. Radiografisk bild (skala 1:4) av sedimentkärna GK2 från Gullmaren. Ovanför sedimentytan syns några centimeter bottenvatten. Kärnlängd 34 cm.

Radiographic image (scale 1:4) of sediment core GK2 from the Gullmaren. Above the sediement surface a few centimetres of bottom water are seen.

6.5.3 VATTENHALT SAMT FÖRÄNDRINGAR EFTER 1984

Mätresultaten vad avser ytsedimentets vattenhalt på station GK2 för undersökningsåret 2000 redovisas i tabell 6:3 tillsammans med motsvarande data från tidigare undersökningar. Vattenhalten (82,9 %) är den högsta som uppmätts på stationen sedan undersökningarna startade 1984 (fig. 6:7). Den maximala differensen i vattenhalt mellan åren 1984 och 2000 är 13,7 %.

Resultaten indikerar på motsvarande sätt som kornstorleksfördelningen visar (se ovan) att stationen är belägen på en god depositionsbotten.

6.5.4 TOTALKOL OCH OORGANISKT KOL SAMT FÖRÄNDRINGAR EFTER 1980

Analysresultaten vad avser totalkol (TC) och oorganiskt kol (OOC) i sedimenten för 1995 redovisas i tabell 6:3. Totalkolhalten i ytsedimenten (0–1 cm) år 2000 var 39 g/kg och halten oorganiskt kol 10 g/kg. Sedan 1995 har halten av totalkol sjunkit med 8 % och halten av oorganiskt kol med 28 %.

Som jämförelse kan nämnas att medelvärdet för oorganiskt kol på 18 stationer i Brofjorden 1989 var 2,5 g/kg ts (Cato 1990) och för 25 stationer vid Stenungsund 1985 1.7 g/kg ts (Cato 1986b). Halten oorganiskt kol är således betydligt högre på station GK2 i Gullmarsfjorden. Oorganiskt kol i västkussedimenten utgörs till största delen av karbonatkol och till en mycket liten del av grafitkol. Förekomsten av skalfragment blir därför ofta avgörande för resultatet. Totalkolhalten domineras av halten organiskt kol (se nedan) på stationen GK2.

6.5.5 ORGANISKT KOL SAMT FÖRÄNDRINGAR EFTER 1980

Analysresultaten för 2000 års undersökningar avseende totalt organiskt kol (TOC) i ytsedimenten (0–1 cm) på station GK2 redovisas i tabell 6:3 tillsammans med motsvarande data från tidigare års undersökningar. Halten TOC i ytsedimentet 2000 är 29 g/kg ts. Koncentrationerna ligger inom ett för västkusten normalt intervall om de på organiskt material belastade recipienterna undantas (se tabell 2:8 i del 2, denna samlingsvolym). Svenska bedömningsgrunder för organiskt kol i kust- och havssediment saknas, men enligt Norsk klassificering av miljökvalitet i fjordar och kustvatten (Rygg & Thélin 1993) faller station GK2 klass I (”god”) enär halten är <30 g/kg ts.

Utvecklingen mellan 1980 och 2000 vad avser ytsedimentets innehåll av organiskt kol illustreras i figur 6:8. Mellan 1980 och 1984 sjönk halten med 22 %. Efter 1984 har halten varit mycket konstant och endast varierat inom ett intervall på 1,3 %. Förändringarna efter 1980 (som mest 4,3 %) är statistiskt signifikanta eftersom variationskoefficienten för or ganiskt kol till följd av ytsediments (0–2 cm) inhomogenitet vid Bohuskusten har analyserats och beräknats till 3,8±2,8 % (Cato 1977). Variationen på stationerna efter 1980 är dock betydligt mindre än de minst 35 %, som baserat på blandningsfaktorn (se avsnitt 2.5, del 2 i denna

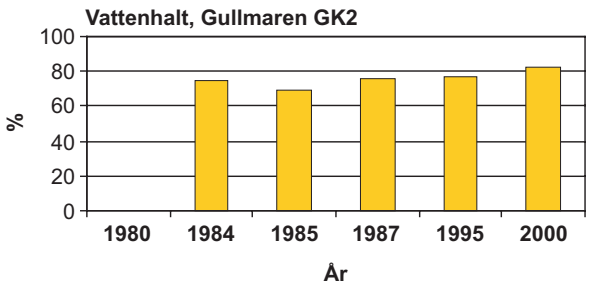


Fig 6:7. Variationen i ytsedimentens (0–1 cm) vattenhalt mellan 1984 och 2000 på station GK2 i Gullmarsfjorden. Inga data från 1980.

The variation of the water content in the surficial sediments (0–1 cm) between 1984 and 2000 at the site GK2 in the Gullmarsfjord. No data from 1980.

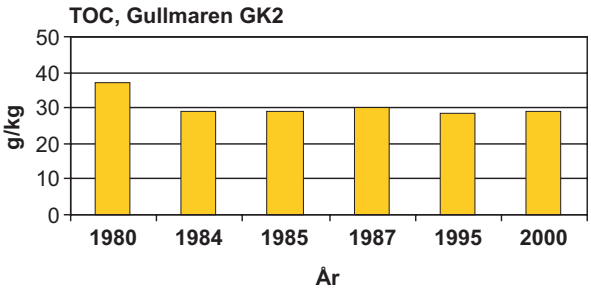


Fig 6:8. Förändringen i ytsedimentets (0–1 cm) halt av totalt organiska kol (TOC) mellan 1980 och 2000 på station GK2 i Gullmarsfjorden.

The change of total organic carbon (TOC) in the surficial sediment (0–1 cm) between 1980 and 1995 at the site GK2 in the Gullmarsfjord.

samlingsvolym), krävs för att en förändring skall kunna detekteras vid ett femårigt provtagningsintervall. En samlad bedömning blir därför att den organiska kolhalten i sedimentet varit mycket konstant under den senaste 20-årsperioden.

6.5.6 TOTALKVÄVE SAMT FÖRÄNDRINGAR EFTER 1980

Analysresultaten från 2000 års sedimentundersökningar avseende totalkväve (TN) på station GK2 redovisas i tabell 6:3 tillsammans med motsvarande data från tidigare undersökningar. Halten av totalkväve år 2000 är 3,6 g/kg ts. Halten överensstämmer med andra på organiskt material icke belastade recipienter längs västkusten (se tabell 2:9 i del 2, denna samlingsvolym). Svenska bedömningsgrunder för totalkväve i kust- och havssediment saknas, men enligt Norsk klassificering av miljökvalitet i fjordar och kustvatten (Rygg & Thélin 1993) faller stationen i klass II ("mindre god"). Denna situation har rått åtminstone sedan 1980.

Utvecklingen mellan 1980 och 2000 vad avser ytsedimentets innehåll av totalkväve illustreras i figur 6:9. I jämförelse med 1995 har halten minskat med 10 %, men ligger fortfarande 6 % över 1980 årsnivå. Förändringarna sedan 1995 är statistiskt signifikanta eftersom variationskoefficienten för totalkväve till följd av ytsediments (0–2 cm) inhomogenitet vid Bohuskusten har analyserats och beräknats till 3,2±2,9 % (Cato 1977). Ökningen på stationerna är dock betydligt mindre än de minst 35 %, som baserat på blandningsfaktorn (se avsnitt 2.5, del 2 i denna samlingsvolym), krävs för att en förändring skall kunna detekteras vid ett femårigt provtagningsintervall. I förhållande till 1980 och 1984 är halten 6 respektive 28 % högre.

6.5.7 KOL-KVÄVEKVOTEN (C/N) SAMT FÖRÄNDRINGAR EFTER 1980

De beräknade C/N-kvoten i ytsedimentet (0–1 cm) på station GK2 för undersökningsåret 2000 redovisas i tabell 6:3 tillsammans med motsvarande data från tidigare år. C/N-kvoten för år 2000 är 8,1.

Kvoten ligger inom det intervall som är känt från västkustens på organiskt material från land icke belastade recipienter (se tabell 2:10 i del 2, denna samlingsvolym). I likhet med 1995 uppvisar sedimenten på stationen en C/N-kvot under 10. Utvecklingstrenden mellan 1980 och 2000 åskådliggörs i figur 6:10. C/N-kvoten har ökat med 12 % sedan 1995, men den är fortfarande betydligt lägre (34 %) än kvoten 1980. En statistiskt signifikant siffra. Förändringen tyder på en ökning inom området av andelen sedimenterat marint (kväverikt) detritus efter 1980, men att en viss återgång mot tidigare blandningsförhållande mellan organiskt material med terrestriskt och marint ursprung har börjat ske efter 1995.

Orsaken till förändringarna av C/N-kvoten står närmast att finna i en tidigare allmän eutrofiering av kustområdet som gynnar eller har gynnat produktionen av marint organiskt material. Motsvarande förändringar konstaterades i Göteborgs skärgård mellan 1966 och 1982 (Cato 1986 b), i Brofjorden mellan 1972 och 1989 (Cato 1990) och fram till 1995 (se del 5, denna samlingsvolym), samt i Stenungsundsområdet mellan 1975 och 1995 (se del 4, denna samlingsvolym).

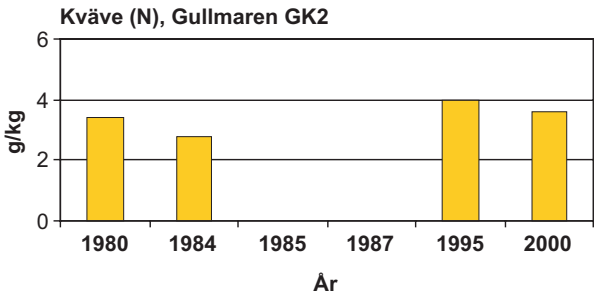


Fig 6:9. Förändringen i ytsedimentens (0–1 cm) halt av totalkväve (TN) mellan 1980 och 2000 på station GK2 i Gullmarsfjorden.

The change of total nitrogen (TN) in the surficial sediments (0–1 cm) between 1980 and 2000 at the site GK2 in the Gullmarsfjord.

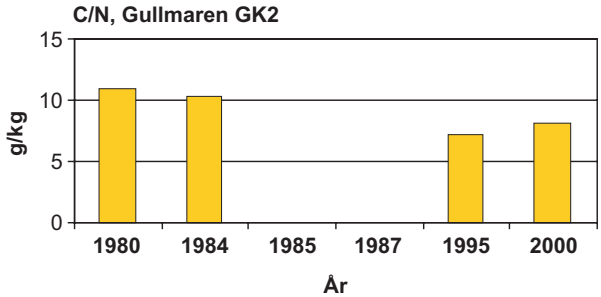


Fig 6:10. Förändringen i ytsedimentens (0–1 cm) kol-kväve kvot
(C/N) mellan 1980 och 2000 på station GK2 i Gullmarsfjorden.

The change of carbon to nitrogen ratio (C/N) in the surficial sediments (0–1 cm) between 1980 and 2000 at the site GK2 in the Gullmarsfjord.

Den ökning av kvoten som noterats i 2000 års undersökning har även noterats i övriga undersökningar utmed Bohuskusten år 2000 (se avsnitt 2.5, del 2 i denna samlingsvolym). Ökningen kan tyda på att eutrofieringen minskar i området.

6.5.8 TOTALFOSFOR SAMT FÖRÄNDRINGAR EFTER 1980

Analysresultaten från 2000 års sedimentundersökningar avseende totalfosfor (Tot-P) i ytsedimenten (0–1 cm) på station GK2 redovisas i tabell 6:3 tillsammans med motsvarande data från tidigare undersökningar. Totalfosforhalten år 2000 är 1,6 g/kg ts. Koncentrationen på station GK2 ligger något högt i jämförelse med vad som tidigare konstaterats för andra recipienter utmed västkusten (se tabell 2:12 i del 2, denna samlingsvolym).

Utvecklingen mellan 1980 och 2000 vad avser ytsedimentens innehåll av totalfosfor på respektive station illustreras i figur 6:11. På station GK2 är halten oförändrad sedan 1995, men i jämförelse med 1980 är den 60 % högre. Förändringen mellan 1980 och 1995/2000 är statistiskt signifikant, eftersom variationskoefficienten för totalfosfor till följd av ytsediments (0–2 cm) inhomogenitet vid Bohuskusten har analyserats och beräknats till 1,8±0,6 % (Cato 1977).

Ökningen på station GK2 är betydligt större än de minst 35 %, som baserat på blandningsfaktorn (se avsnitt 2.5, del 2 i denna samlingsvolym), krävs för att en förändring skall kunna detekteras vid ett femårigt provtagningsintervall.

6.5.9 TUNGMETALLER SAMT FÖRÄNDRINGAR EFTER 1980

I tabell 6:4 redovisas analysresultaten för 2000 års undersökningar vad avser ytsedimentens innehåll av tungmetallerna arsenik (As), kadmium (Cd), krom (Cr), koppar (Cu), kvicksilver (Hg), nickel (Ni), bly (Pb), vanadin (V) och zink (Zn) på station GK2 i Gullmarsfjorden. Motsvarande data för åren 1980 (Joslin 1985), 1985 (Cato 1986), 1987 (Bornmalm 1988) och 1995 (Cato 1997a) redovisas också i den mån de analyserats tidigare.

I jämförelse med övriga ej belastade områden utmed Bohuskusten kan konstateras att tungmetallhalterna på station GK2 ligger inom för kusten normala intervall vad avser Cd, Cr, Ni, Pb och Sn, medan Hg, Cu, V och Zn ligger något lägre (se tabellerna 2:16–2:26 i del 2, denna samlingsvolym). Enda undantag utgör det höga värde för arsenik och extremt höga värde för mangan som noterats på stationen. Det senare tyder på reducerade förhållanden i sedimentet, vilket medför att Mn går i lösning och diffunderar upp mot sedimentytan där det fälls ut som manganoxid i kontakten med den oxiderande miljön.

Tabell 6:4. Arsenik (As), kadmium (Cd), krom (Cr), koppar (Cu), kvicksilver (Hg), mangan (Mn), nickel (Ni), bly (Pb), tenn (Sn), vanadin (V) och zink (Zn) i ytsedimenten (0–1 cm) på station GK2 i Gullmarsfjorden 1980 till 2000. Data finns inte från alla år. Parentes markerar tvivelaktiga data.

Arsenic (As), cadmium (Cd), chromium (Cr), copper (Cu), mercury (Hg), manganese (Mn), nickel (Ni), lead (Pb), ten (Sn) vanadium (V), zinc and (Zn) in the surficial sediments (0–1 cm) between 1980 and 2000 at the site GK2 in the Gullmarsfjord. For some years data are lacking. Bracket marks doubtful data.

Station	År	As mg/kg	Cd mg/kg	Cr mg/kg	Cu mg/kg	Hg mg/kg	Mn mg/kg	Ni mg/kg	Pb mg/kg	Sn mg/kg	V mg/kg	Zn mg/kg
GK2	1980	-	<0,5	54	27	0,15	-	(42)	50	-	(220)	190
	1985	-	0,40	-	20	-	-	-	26	-	45	-
	1987	-	0,19	36,2	16,6	0,03	-	26	30	-	93	147
	1995	11,1	0,16	37,6	38,5	0,13	13240	21,7	32,9	2,4	87	123
	2000	24	0,13	31	16	0,056	9 400	21	29	2,9	26	70

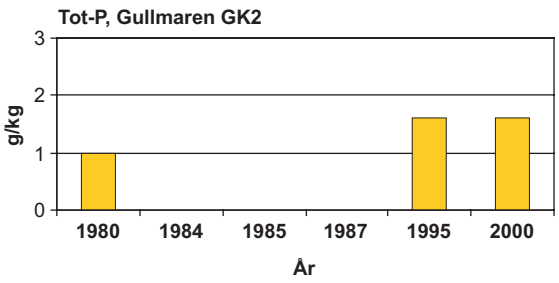


Fig 6:11. Förändringen i ytsedimentens (0–1 cm) halt av totalfosfor (tot-P) mellan 1980 och 2000 på station GK2 i Gullmarsfjorden.

The change of total phosphorous (tot-P) in the surficial sediments (0–1 cm) between 1980 and 2000 at the site GK2 in the Gullmarsfjord.

Enligt svenska bedömningsgrunder för kust och hav (Naturvårdsverket 1999) faller station GK2 år 2000 i klasserna 1 och 2 (tabell 6:5), dvs. *ingen/obetydlig* till *liten avvikelse* från jämförvärdet (bakgrundsvärdet). Endast med avseende på arsenik (As) uppvisar stationen en *tydlig avvikelse* (klass 3). Vid en jämförelse med tidigare år har sedimentkvaliteten med avseende på övriga tungmetaller förbättrats avsevärt (tabell 6:5).

Förändringen av sedimentens metallhalter mellan 1980 och 2000 illustreras i figurerna 6:12–6:13. För arsenik och tenn saknas uppgifter från tiden före 1995.

Mellan 1995 och 2000 har på station GK2 halten av koppar sjunkit med 58 %, kvicksilver med 57 %, vanadin med 70 % och zink med 43 %. Även halterna av kadmium, krom och bly har sjunkit i ytsedimenten med mellan 12 och 19 %, medan halten av tenn och arsenik gått upp 20 respektive 116 %. Halten av nickel är i stort sätt oförändrad under de senaste fem åren.

Utvecklingen visar att zink-, kadmium- och kvicksilverhalterna sjunkit med 170, 74, respektive 63 % under perioden 1980 till 2000. Krom-, koppar- och blyhalterna har under motsvarande period sjunkit med ca 70 %.

Halterna av nickel och vanadin från 1980 ligger utan någon rimlig anledning långt över det intervall som kan anses normalt för Bohuskusten. Värdena måste därför i dessa fall betraktas med viss skepsis eftersom analysfel inte kan uteslutas. I jämförelse med 1987 års data har dock nickelhalten sjunkit med 24 % och sedan 1985 vanadinhalten med drygt 40 %.

Samtliga förändringar efter 1995 är större än de variationskoefficienter för respektive element som till följd av ytsedimentens (0–2 cm) inhomogenitet analyserats och beräknats för Bohuskusten (Cato 1977). Förändringarna kan därför betraktas som reella. Dock kan i flera fall konstateras att förändringarna är mindre (gäller Cd, Cr, Pb och Sn) än de minst 35 %, som baserat på blandningsfaktorn (se avsnitt 2.5, del 2 i denna

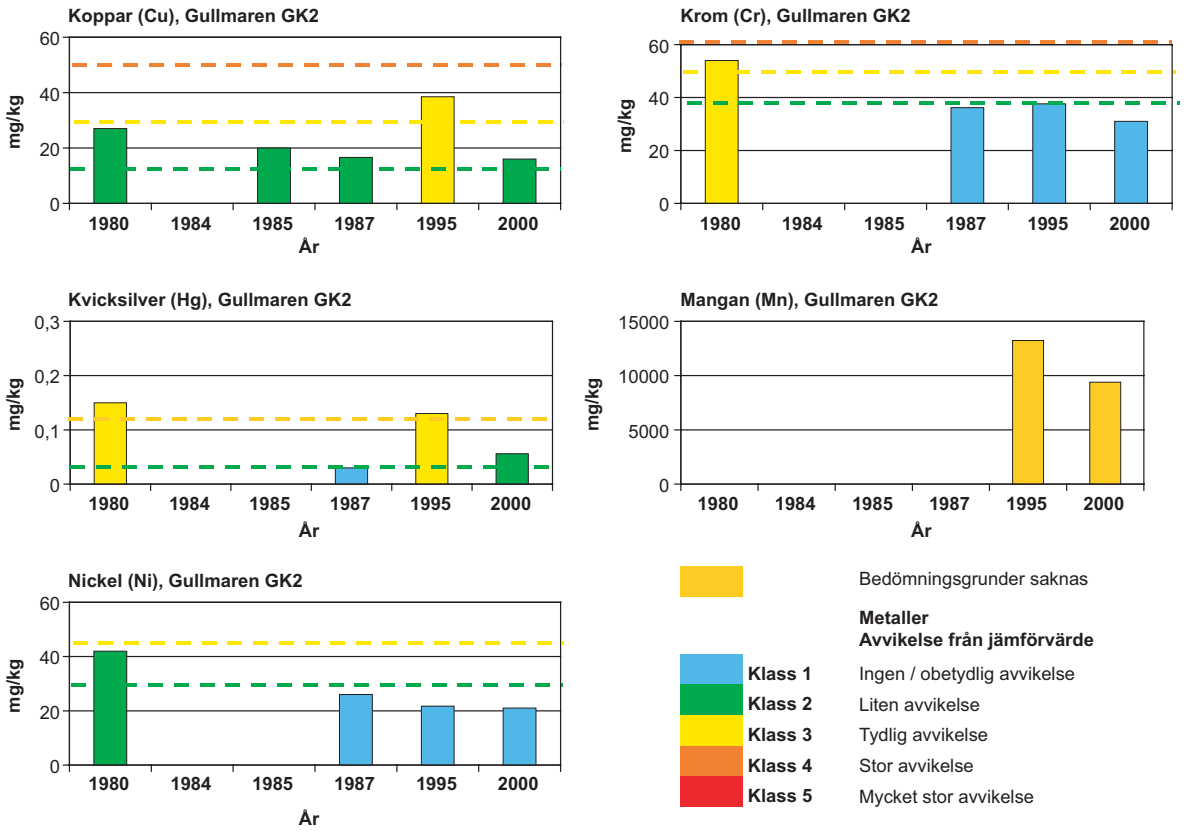


Fig. 6:12. Förändringen i koncentration och miljökvalitet mellan 1980 och 2000 av arsenik (As), kadmium (Cd), chromium (Cr), koppar (Cu), och kvicksilver (Hg), mangan (Mn) och nickel (Ni) i ytsedimenten (0–1 cm) på station GK2 i Gullmarsfjorden. Streckad linje motsvarar den övre gränsen för respektive klass i de svenska bedömningsgrunderna för kust- och hav (Naturvårdsverket 1999). Bedömningsgrunder saknas för Mn.

The change in concentration and environmental quality of arsenic (As), cadmium (Cd), chromium (Cr), copper (Cu) and mercury (Hg), manganese (Mn) and nickel (Ni) in the surficial sediments (0–1 cm) between 1980 and 2000 at the site GK2 in the Gullmarsfjord. The hatched line corresponds to the upper limit of respective class in the Swedish Quality criteria of sediments of the coast and sea (Naturvårdsverket 1999). Quality criteria does not exist for Mn.

samlingsvolym), krävs för att en förändring skall kunna detekteras vid ett femårigt provtagningsintervall. Sedan 1980 är förändringarna dock större än de minst 20 % , som baserat på blandningsfaktorn krävs för att en förändring skall kunna detekteras vid ett tioårigt provtagningsintervall.

Sammanfattningsvis kan konstateras att sedan börja av 1980 talet har samtliga tungmetallhalter (utom As, Mn och Sn) sjunkit kraftigt och successivt. Data från perioden före 1995 saknas för As, Mn och Sn.

Utvecklingstrenderna för de flesta metallerna visar att haltreduktionerna främst ägt rum under 1980-talets första hälft. Enda undantag är kadmium och zink som uppvisar en successiv reduktion under hela perioden 1980–2000.

Tabell 6:5. Klassning av ytsedimenten (0–1 cm) på station GK2 i Gullmarsfjorden med avseende på metallinnehåll 1980–2000. Klassning enligt svenska bedömningsgrunder (Naturvårdsverket 1999).

Classification of the surface sediments (0–1 cm) at the site GK2 with respect to metal content 1980–2000. Classification according to Swedish Environmental Quality Criteria (Naturvårdsverket 1999).

Station GK2

År	As mg/kg	Cd mg/kg	Cr mg/kg	Cu mg/kg	Hg mg/kg	Mn mg/kg	Ni mg/kg	Pb mg/kg	Sn mg/kg	V mg/kg	Zn mg/kg
1980	-	0,5	54	27	0,15	-	42	50	-	220	190
1984											
1985	-	0,4	-	20	-	-	-	26	-	45	-
1987	-	0,19	36,2	16,6	0,03	-	26	30	-	93	147
1995	11,1	0,16	37,6	38,5	0,13	13 240	21,7	32,9	2,4	87	123
2000	24	0,13	31	16	0,056	9 400	21	29	2,9	26	70

	Metaller Avvikelse från jämförvärde
Klass 1	Ingen obetydlig avvikelse
Klass 2	Liten avvikelse
Klass 3	Tydlig avvikelse
Klass 4	Stor avvikelse
Klass 5	Mycket stor avvikelse

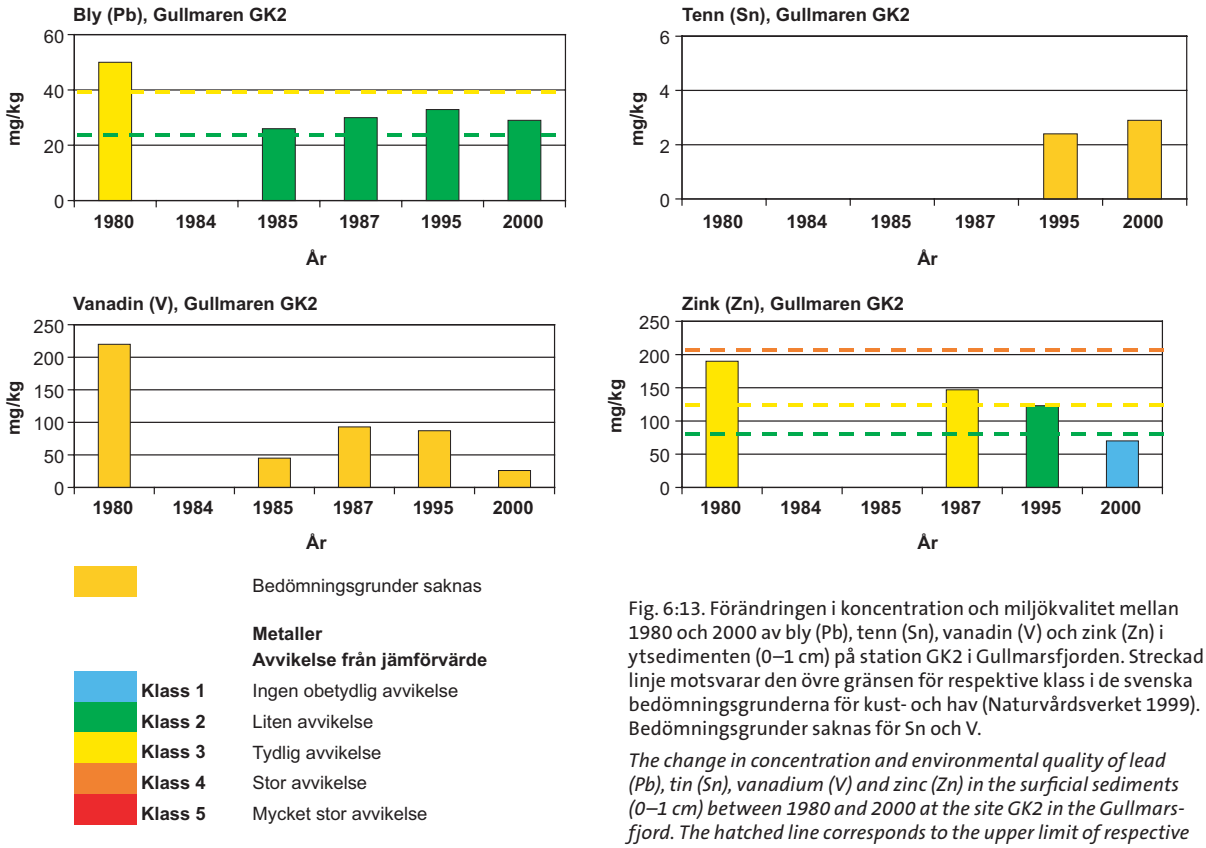


Fig. 6:13. Förändringen i koncentration och miljökvalitet mellan 1980 och 2000 av bly (Pb), tenn (Sn), vanadin (V) och zink (Zn) i ytsedimenten (0–1 cm) på station GK2 i Gullmarsfjorden. Streckad linje motsvarar den övre gränsen för respektive klass i de svenska bedömningsgrunderna för kust- och hav (Naturvårdsverket 1999). Bedömningsgrunder saknas för Sn och V.

The change in concentration and environmental quality of lead (Pb), tin (Sn), vanadium (V) and zinc (Zn) in the surficial sediments (0–1 cm) between 1980 and 2000 at the site GK2 in the Gullmarsfjord. The hatched line corresponds to the upper limit of respective class in the Swedish Quality criteria of sediments of the coast and sea (Naturvårdsverket 1999). Quality criteria does not exist for Sn and V.

6.5.10 TOTALKOLVÄTEN SAMT FÖRÄNDRINGAR EFTER 1984

Analysresultaten från 2000 års sedimentundersökning avseende totalkolväten (THC) på stationerna GK2 redovisas i tabell 6:6 tillsammans med motsvarande data från 1984 och 1985 års undersökningar. Ytsedimentens (0–1 cm) koncentration av totalkolväte på station GK2 år 2000 är 13 mg/kg ts.

Tabell 6:6. Totalkolväte (THC) i ytsedimentet (0–1 cm) på station GK2 i Gullmarsfjorden 1984–2000.
Total hydrocarbon (THC) in surfical sediments (0–1 cm) at the site GK2 in the Gullmarsfjord 1984–2000.

Station	År	THC mg/kg
GK2	1984	190
	1995	27,7
	2000	13

I tabell 2:37 i del 2, denna samlingsvolym redovisas THC-halter i ytsedimenten från några områden utmed Bohuskusten, Skagerrak och Kattegatt. En jämförelse med föreliggande undersökning visar att THC-halterna på station GK2 är mycket låga 2000. Svenska bedömningsgrunder för THC i kust- och havssediment saknas. Enligt norska miljöklassificeringskriterier för THC (jfr. Konieczny & Juliussen 1995) faller station GK2 år 2000, i likhet med 1995, i undre delen av tillståndsklass II (”mindre god”). 1990 däremot låg stationen i tillståndsklass III.

Förändringen av sedimetens THC innehåll på station GK2 mellan 1984 och 2000 är påtaglig. Totalkolvätehalten har sjunkit med 53 % sedan 1995 och med 93 % sedan 1984 (fig. 6:14). En förändring som är signifikant eftersom den är betydligt större än de minst 35 %, som baserat på blandningsfaktorn (se avsnitt 2.5, del 2 i denna samlingsvolym), krävs för att en förändring skall kunna detekteras vid ett femårigt provtagningsintervall.

GC/FID-kromatogrammet (redovisat i Alcontrol 2004) från station GK2 uppvisar en typisk sedimentprofil skild ifrån den typiska mineraloljeprofilen. Identifierade kolväten ligger i stort sett inom kokpunktsintervallet n-C_{15} till n-C_{40} alkaner (270–520 °C).Vid en direkt jämförelse mellan kromatogrammen från 1984 och1995 års undersökningar på station GK2 framkommer att klara skillnader råder mellan åren. Vid 1984 års undersökningar konstaterades en ”bulle” i kromatogrammet bestående av en ”unresolved complex mixture” (UCM), som utgörs av en stor mängd grenade, omättade, cykliska och aromatiska kolväten. Denna bulle bildas då det förekommer ett stort antal isomerer och molekyler med likartad strukturformel inom samma kokpunktsintervall (Rudling 1976, Clark & Brown 1977, Farrington 1980, Sletter m.fl. 1980) och indikerar petroleumursprung. Ingen UCM-bulle förekom 1995 och inte heller 2000, vilket antyder mindre tillförsel av petroleumprodukter till Alsbäcksdjupet.

6.5.11 POLYCYKLISKA AROMATISKA KOLVÄTEN SAMT FÖRÄNDRINGAR EFTER 1984

Analysresultaten från stationerna GK2 avseende summan av 16 identifierade polycykliska aromatiska kolväten (NPD + PAH) från den s.k. EPA-listan redovisas i tabell 6:7 tillsammans med 1984 och 1995 års data från station GK2. De två undersökningsomgångarnas dataset för station GK2 är dock inte helt jämförbara med varandra, eftersom 1984 års data endast omfattar summa ∑11 PAH. I tabell 6:7 redovisas därför ∑11 PAH separat för de båda undersökningsåren.

Halten i ytsedimentet på station GK2 från 2000 års undersökning vad avser ∑16 PAH är 1300 µg/kg ts. Motsvarande värden för de enskilda PAH-föreningarna redovisas i tabell 6:7. Den mest frekventa föreningen

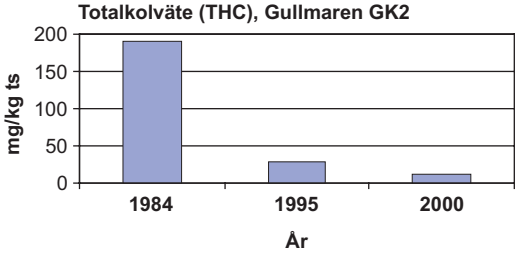


Fig. 6:14. Förändringen mellan 1984 och 2000 av totalkolväte (THC) i ytsedimenten (0–1 cm) på station GK2 i Gullmarsfjorden.

The change of total hydrocarbon (THC) in the surficial sediments (0–1 cm) between 1984and 2000 at the site GK2 in the Gullmarsfjorden.

år 2000 är liksom 1995 benzo(b+k)fluoranthen som i medeltal utgör 26 % av ∑16 PAH.

I figur 6:15 illustreras förändringen av ∑11 PAH mellan 1984 och 2000 på station GK2. Koncentrationen i ytsedimentet har ökat med 22 % sedan 1995, men är drygt 60 % lägre än 1984. Förändringarna mellan 1995 och 2000 är inte signifikant eftersom den är betydligt mindre än de minst 35 %, som baserat på blandningsfaktorn (se avsnitt 2.5, del 2 i denna samlingsvolym), krävs för att en förändring skall kunna detekteras vid ett femårigt provtagningsintervall. Förändringen mellan 1984 och 2000 däremot är större än de 20 % som krävs vid ett tioårigt provtagningsintervall.

Tabell 6:7. Enskilda polycykliska aromatiska kolväten i ytsedimenten (0–1 cm) på station GK2 i Gullmarsfjorden 1984–2000.
Individual polycyclic aromatic hydrocarbons in the surficial sediments (0–1 cm) of the site GK2 in the Gullmarsfjordt in 1984–2000.

Summaparameter/ /förening µg/kg	År	Station GK2	Medianvärde Väster-havet n = 92	Bakgrund Östersjön 200 cm (Cato 1997)	Bakgrund Färöarna Ref. 1 (Cato 1992)	Anrikningsfaktor Ref.1
∑16 (NPD + PAH)	1995	1360	-	-	-	
	2000	1300				
∑11 PAH	1984	3240	-	-	-	
”	1995	1035	-	-	-	
	2000	1262				
Naftalen	1995	43	-	-	-	
	2000	38				
Acenafthylen	1995	7	-	-	-	
	2000	<10				
Acenaften	1995	7	-	-	-	
	2000	<10				
Fluoren	1995	14	-	-	-	
	2000	14				
Fenantren	1984	110	-	-	-	
	1995	72	37	3	8	9
	2000	77				9,6
Antracen	1984	180	-	-	-	
	1995	16	7	<1	3	5
	2000	12				4
Fluoranten	1984	330	-	-	-	
	1995	166	84	2	21	7,9
	2000	130				6,2
Pyren	1984	340	-	-	-	
	1995	120	53	3	39	3
	2000	95				2,4
Benso(a)antracen	1984	260	-	-	-	
	1995	76	36	<4	11	6,9
	2000	53				4,8
Krysen	1984	140				
	1995	121	49	<5	13	9
	2000	87				6,6
Benso(b+k)fluoranten	1995	256	230	<2	55	4,7
	2000	335				6
Benso(a)pyren	1984	230	-	-	-	
	1995	83	64	<2	22	3,8
	2000	76				3,5
Benso(ghi)perylen	1984	320				
”	1995	147	120	<2	80	1,8
	2000	150				1,9
Indeno(1,2,3-cd)pyren	1984	430	-	-	-	
”	1995	143	170	<2	55	2,6
	2000	230				4,1
Dibenso(a,h)antracen	1984	160				
”	1995	91	-	-	-	
	2000	25				

Enligt svenska bedömningsgrunder för kust och hav (Naturvårdsverket 2005) faller station GK2 i klass 4, dvs. *hög halt* (fig. 6:15). Detta är en tydlig förbättring i miljökvalitet med avseende på PAH jämfört med 1984 då stationen föll i klass 5, dvs. *mycket hög halt*.

I tabell 2:49 del 2, denna samlingsvolym, redovisas koncentrationsdata för PAH i ytsediment från olika områden längs Bohuskusten, Skagerrak och Kattegatt. Station GK2 ligger i paritet med dessa.

I tabell 6:7 redovisas anrikningsfaktorn för respektive PAH-förening. Faktorerna baseras på en bakgrund hämtad från Färöarna. Anrikningen är som lägst 1,9 och som högst 9,6.

6.5.12 POLYKLORERADE BIFENYLER SAMT FÖRÄNDRINGAR EFTER 1995

Analysresultaten vad avser polyklorerade bifenyler (PCB) redovisas i tabell 6:8. Värdena avser summan av sju identifierade PCB:er (PCB 28, PCB 52, PCB 101, PCB 118, PCB 153, PCB 138 och PCB 180), vilka sammanförts under begreppet ∑7-PCB, samt därutöver total PCB (som Aroclor 1254).

Koncentrationen av ∑7-PCB och total PCB i ytsedimentet på station GK2 år 2000 var 2,2 respektive 4,4 µg/kg ts.

I figur 6:16 illustreras förändringen av ∑7-PCB mellan 1995 och 2000 på station GK2. Koncentrationen i ytsedimentet har minskat med 55 % sedan 1995. En förändring som är signifikant eftersom den är betydligt större än de minst 35 %, som baserat på blandningsfaktorn (se avsnitt 2.5, del 2 i denna samlingsvolym), krävs för att en förändring skall kunna detekteras vid ett femårigt provtagningsintervall. Före 1995 har PCB inte studerats inom ramen för Gullmarns kontrollprogram.

Enligt svenska bedömningsgrunder för kust och hav (Naturvårdsverket 2005) faller station GK2 i klass 3, dvs. *medelhög halt* (fig. 6:16). Detta är en tydlig förbättring i miljökvalitet med avseende på PCB jämfört med 1995 då stationen uppvisade en *hög halt* (klass 4).

Halterna ligger dock under medelvärdet (5,3 µg/kg ts) för öppna Kattegatt och Skagerrak samt i undre koncentrationsspannet för Bohuskustens sediment (tabell 49 i del 2, denna samlingsvolym), men något högre än vad som observerats (1,2 µg/kg ts) vid ett relativt opåverkat område som Färöarna (Cato 1992).

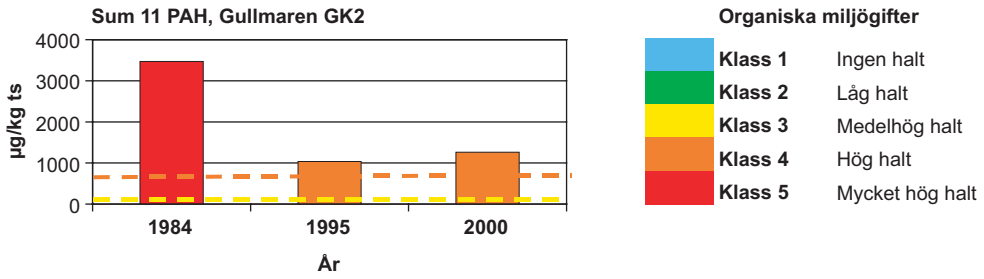


Fig. 6:15. Koncentrationen och miljökvaliteten med avseende på polyaromatiska kolväten (∑11 PAH) i ytsedimenten (0–1 cm) på station GK2 i Gullmarsfjorden. Klassning enligt Naturvårdsverkets bedömningsgrunder för kust och hav (Naturvårdsverket 2005).

The concentration and environmental Quality Criteria with respect to polycyclic aromatic hydrocarbons (∑11 PAH) in the surficial sediments (0–1 cm) at the site GK2 in the Gullmarsfjord. Classification according to Swedish Environmental Quality Criteria (Naturvårdsverket 2005).

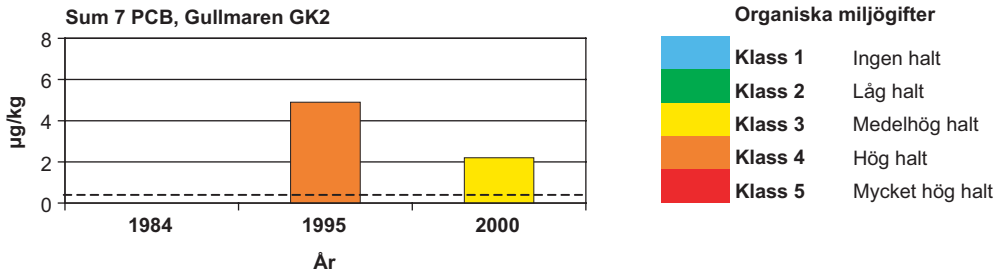


Fig. 6:16. Halten och miljökvaliteten med avseende på polyklorerade bifenyler (∑7 PCB) i ytsedimenten (0–1 cm) på station GK2 i Gullmarsfjorden. Klassning enligt Naturvårdsverkets bedömningsgrunder för kust och hav (Naturvårdsverket 2005). Streckad linje = detektionsgräns.

The concentration and environmental Quality Criteria with respect to polychlorinated biphenyls (∑7 PCB) in the surficial sediments (0–1 cm) at the site GK2 in the Gullmarsfjord. Classification according to Swedish Environmental Quality Criteria (Naturvårdsverket 2005).Hatched line = detection limit.

Tabell 6:8. Enskilda polyklorerade bifenyler (PCB), ∑7 PCB och total PCB i ytsedimenten (0–1 cm) på station GK2 1995 och 2000.
Individual polychloronated biphenyls, ∑7 PCB and total PCB in the surficial sediments (0–1 cm) of the site GK2 in 1995 and 2000.

Summaparameter/ /förening µg/kg	År	Station GK2
∑ 7 PCB	1995	4,9
	2000	2,2
Tot-PCB (Aroclor 1254)	1995	9,8*
	2000	4,4*
PCB 28	1995	0,4
	2000	<0,2
PCB 52	1995	-
	2000	<0,2
PCB 101	1995	0,7
	2000	0,36
PCB 118	1995	0,9
	2000	0,45
PCB 138	1995	1,2
	2000	0,60
PCB 153	1995	1,3
	2000	0,64
PCB 180	1995	0,4
	2000	0,15

- = Maskerat. Masked.
* = ∑ 7 PCB x 2

6.5.13 POLYBROMERADE DIFENYLETRAR

Analysresultaten från 2000 års sedimentundersökningar avseende polybromerade difenyletrar (PBDE) på station GK2 i Gullmarsfjorden redovisas i tabell 6:9 samt illustreras i figur 6:17. Av totalt 209 kongener analyserades åtta stycken. Av dessa kunde endast tetrabromdifenyleter (PBDE-47), pentabromdifenyleter (PBDE-99) och dekabromdifenyleter (DekaBDE) detekteras. Pentabromdifenyleter (PBDE-100) samt hexabromdifenyletrarna (PBDE-154. PBDE-153, PBDE-138) kunde således inte påvisas på station GK2 i Gullmaren. Inga data från GK2 föreligger från tidigare år.

Svenska bedömningsgrunder för PBDE i kust- och havssediment saknas. I tabellerna 2:82–2:85 i avsnitt 2 denna samlingsvolym redovisas koncentrationer av bromerade difenyletrar från några andra områden utmed Bohuskusten, Göta älv och Östersjön. Halterna vad avser PBDE-47 och PBDE-99 i Gullmaren ligger högre än motsvarande halter på kustvattenkontrollens stationer, i Stockholmsområdet och Bråviken, men lägre vad avser deka-BDE.

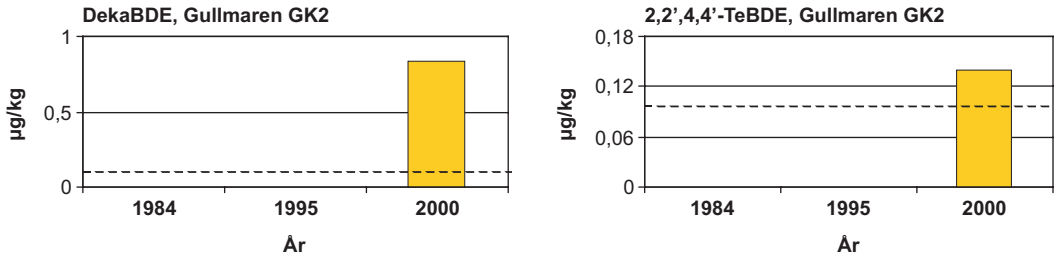


Fig. 6:17. Halten av två polybromerade difenyletrar PBDE) i ytsedimenten (0–1 cm) på station GK2 i Gullmarsfjorden. Streckad linje = detektionsgräns.

The concentration of polybrominated diphenylethers (PBDE) in the surficial sediments (0–1 cm) at the site GK2 in the Gullmarsfjord. Hatched line = detection limit.

Tabell 6:9. Polybromerade difenyletrar (PBDE) i ytsediment (0–1 cm) på station GK2 i Gullmarsfjorden år 2000.
Polybromined diphenylethers (PBDE) in 2000 in the surficial sediment (0–1 cm) at the site GK2 in the Gullmarsfjord.

Ämne	År	Gullmaren GK2 µg/kg
PBDE-47 (Teka-)	2000	0,14
PBDE-100 (Penta-)	2000	<0,1
PBDE-99 (Penta-)	2000	0,18
PBDE-85 (Penta-)	2000	<0,1
PBDE-154 (Hexa-)	2000	<0,1
PBDE-153 (Hexa-)	2000	<0,1
PBDE-138 (Hexa-)	2000	<0,1
DekaBDE-209	2000	0,84

6.6. Sammanfattning

Sedimenten i Gullmarsfjorden har på uppdrag av länsstyrelsen i Västra Götalands län undersökts år 2000 med avseende på vissa fysiska och kemiska parametrar. Drygt ett 50-tal ämnen, tungmetaller, organiska miljögifter och näringsämnen har studerats på en station (GK2) belägen i Alsbäcksdjupet. Sveriges geologiska undersökning (SGU) har svarat för provinsamling och Alcontrol för analys av sedimentproven samt avrapportering av denna fas, medan SGU har svarat för utvärdering, trendanalys och slutlig avrapportering. Studien ingår som ett led i Gullmarens kontrollprogram, omfattande bl.a. kontroll och bedömning av sedimentkvalitet vart femte år. De föregående studierna genomfördes 1980 (Joslin 1985), 1987 (Bornmalm 1988) och 1995 (Cato 1997a).

2000 års undersökning har omfattat provtagning av bl.a. det översta sedimentskiktet (0–1 cm) på 1980, 1987 och 1995 års station GK2. Under förutsättning att det översta sedimentskiktet till största delen utgörs av nysedimenterat material kan utvecklingen av miljökvaliteten i form av antropogent tillförda ämnen till Gullmarsfjorden avläsas genom s.k. trendanalys. I nedan redovisade och sammanfattande trendanalys återges trenden för varje enskild parameter, ämne eller förening på station GK2. Förhållandet på stationen visar sannolikt Lysekils och Fiskebäckskils påverkan på sedimentkvaliteten.

För att kunna bestämma belastningen av ett kemiskt ämne eller förening inom ett kustavsnitt eller i en recipient som Gullmarsfjorden måste i vissa fall hänsyn tas till effekten av den naturliga variationen av ämnet/föreningen som beror på variationer i halten organiskt material. Detta kan man göra genom den s.k. Gradientmetoden, där gradienten i sig utgör ett mått på belastningen. Detta förutsätter dock att ämnet/föreningen uppvisar en godtagbar och sannolik positiv korrelation (association) till sedimentens innehåll av totalt organiskt kol. Detta har inte kunnat avgöras enär endast en station i Gullmarsfjorden utgör ett alltför magert statistiskt underlag.

Halten av ler och silt, dvs. kornstorleksfraktionerna <63 µm, har bestämts i syfte att bl.a. utreda sedimentationsmiljön på de undersökta stationerna. Tillsammans med optisk och radiografisk analys samt vattenhaltsbestämningarna av sedimentet visar resultaten att station GK2 (Alsbäcksdjupet) tillhör en potentiellt god sedimentationsmiljö med reducerande bottenförhållanden.

Halten av organiskt kol (TOC), oorganiskt kol (OOC, huvudsakligen karbonatkol) och totalkol (TC) i sedimenten ligger inom ett för Bohuskusten normalt intervall. Efter 1980 har den organiska kolhalten i ytsedimentet varit mycket konstant runt 29 g/kg ts och endast varierat inom ett intervall på 1,3 %.

Kvävet (TN) i sedimenten är till största delen organiskt bundet och uppvisar därför ett fördelningsmönster snarlikt det för totalt organisk kol. Kvävehalten i sedimentet på stationen ökade 6 % medan C/N-kvoten sjönk med ca 26 % mellan 1980 och 2000. Mellan 1995 och 2000 har kvävehalten minskat med 10 % och C/N-kvoten ökat med 12 %. Förändringen efter 1995 kan tyda på att den tidigare ökningen inom området av andelen sedimenterat marin (kväverikt och cellulosafattigt) detritus nu börjat minska. Orsaken till förändringarna av C/N-kvoten fram till 1995 i Gullmarsfjorden kopplades samman med en eutrofiering av fjorden som gynnat produktionen av marint organiskt material relativt tillförseln av organiskt material från land. En motsvarande förändringar av C/N kvoten har tidigare konstaterats i Göteborgs skärgård mellan 1966 och 1982, i Brofjorden mellan 1972 och 1995, samt i Stenungsundsområdet mellan 1975 och 1995 (se Cato 1997a). Trenden mellan 1995 och 2000 kan emellertid tyda på att eutrofieringen av området börjat minska. Motsvarande observationer har under samma tidsperiod observerats i Göta älv, Stenungsundsområdet, Bro-

fjorden och i andra områden utmed Bohuskusten (se avsnitt 2–5 denna volym).

Sedimentens totalfosforhalt (tot P) i fjorden ligger i överkant av det intervall som år 2000 uppmätts i andra recipienter utmed Bohuskusten. Fosforhalten har mellan 1980 och 2000 ökat med 60 % på station GK2 i Alsbäcksdjupet. Ökningen beror sannolikt på att fosfor genom diagenetiska processer anrikas i sedimentytan till följd av en stabil reducerad bottenmiljö i Alsbäcksdjupet. Detta i sin tur hänger samman med under senare år minskat utbyte av bottenvattnet. Resultaten tyder därför inte på ökade fosforutsläpp till Gullmaren.

I figur 6:18 sammanfattas sedimentens miljökvalitet 2000 på station GK2 vad avser de ämnen/föreningar där svenska bedömningsgrunder finns att tillgå (Naturvårdsverket 1999, 2005). Stationerna har med avseende på varje ämne placerats in i tillämplig tillståndsklass. Resultatet visar att med avseende på kadmium (Cd), krom (Cr), nickel (Ni), bly (Pb), koppar (Cu), kvicksilver (Hg) och zink (Zn) är station GK2 inte förorenat, dvs. halterna är låga eller ligger på samma nivå som bakgrunden. Med avseende på arsenik (As) och polyklorerade bifenyler (PCB) är station GK2 moderat förorenat, dvs. medelhöga halter har uppmätts. Området är dock tydligt förorenat (hög halt) med avseende på polyaromatiska kolväten (PAH).

Polybromerade difenyletrar (PBDE) undersöktes för första gången i fjorden år 2000. Fyra föreningar kunde detekteras varav PBDE-47 och PBDE-99 förelåg i högre halter jämfört med andra områden utmed Bohuskusten, Stockholms skärgårdsområde och Bråviken.

Utvecklingstrenden mellan 1980 och 2000, vad avser station GK2, illustreras översiktligt i figur 6:19. Pilarna visar om koncentrationen för respektive ämne ökat, minskat eller är oförändrat under perioden. Förändringar under 10 % är inte statistiskt signifikanta till följd av sedimentens inhomogenitet. Hänsyn måste också tas till sedimentens omblandningsfaktor. Denna avgör hur stor procentuell förändring som krävs för att en förändring med säkerhet skall kunna detekteras vid ett tioårigt respektive femårigt provtagningsintervall. Förändringar över 20 respektive 35 % kan i detta fall anses säkra vid ett tioårigt respektive femårigt provtagningsintervall. I de fall dessa krav är uppfyllda har förändringarna markerats med grönt i figur 6:19.

Resultatet från trendanalysen visar en starkt signifikant ökning mellan 1995 och 2000 av As och en måttlig ökning av Sn, TN, C/N och PAH. Övriga tungmetaller (Cd, Cu, Cr, Hg, V och Zn), THC och PCB visar en tydlig nedgång, medan TOC, tot-P och Ni är oförändrade under samma period. I det långa perspektivet mellan 1980/84 och 2000 har samtliga tungmetaller, C/N och PAH minskat starkt medan tot-P ökat. Förändringar inom parentes markerar osäkerhet till följ av äldre osäkra analysdata.

GK2 **År 2000** **Ämne/förening**	**Klass 1** ***Bakgrund*** *Background*	**Klass 2** ***Låg halt*** *Low cont.*	**Klass 3** ***Medelhög halt*** *Medium cont.*	**Klass 4** ***Hög halt*** *High cont.*	**Klass 5** ***Mycket hög halt*** *Very high cont.*
Arsenik (As)			**GK2**		
Bly (Pb)		**GK2**			
Kadmium (Cd)	**GK2**				
Koppar (Cu)		**GK2**			
Krom (Cr)	**GK2**				
Kvicksilver (Hg)		**GK2**			
Nickel (Ni)	**GK2**				
Zink (Zn)	**GK2**				
Sum 11 PAH				**GK2**	
Sum 7PCB			**GK2**		
Tot PCB			**GK2**		
TOC*	**GK2**				
TN*		**GK2**			
THC*		**GK2**			

**** Enl norsk klassificering***

Fig. 6:18. Klassificering av miljökvaliteten i ytsedimenten (0–1 cm) år 2000 på sedimentstation GK2 som ingår i Gullmarens kontrollprogram. Klassificering enligt svenska bedömningsgrunder (Naturvårdverket 1999, 2005) utom I tre fall (markerade med *) där norskt klassificeringsschema efter SFT (Rygg & Thèlin 1993, Konieczny & Juliussen 1995) använts. ** Tot PCB = ca 2 x ∑7 PCB.

*Classification of environmental sediment quality in the surficial sediment (0–1 cm) in 2000 at station GK2 in the Gullmaren. Monitoring Programme. classification according to Swedish Environmental Quality Criteria (Naturvårdsverket 1999, 2005) except in three cases (marked with *) where the classification system after SFT in Norweig (Rygg & Thèlin 1993, Konieczny & Juliussen 1995) has been used.*
*** Tot PCB = c. 2 x ∑7 PCB.*

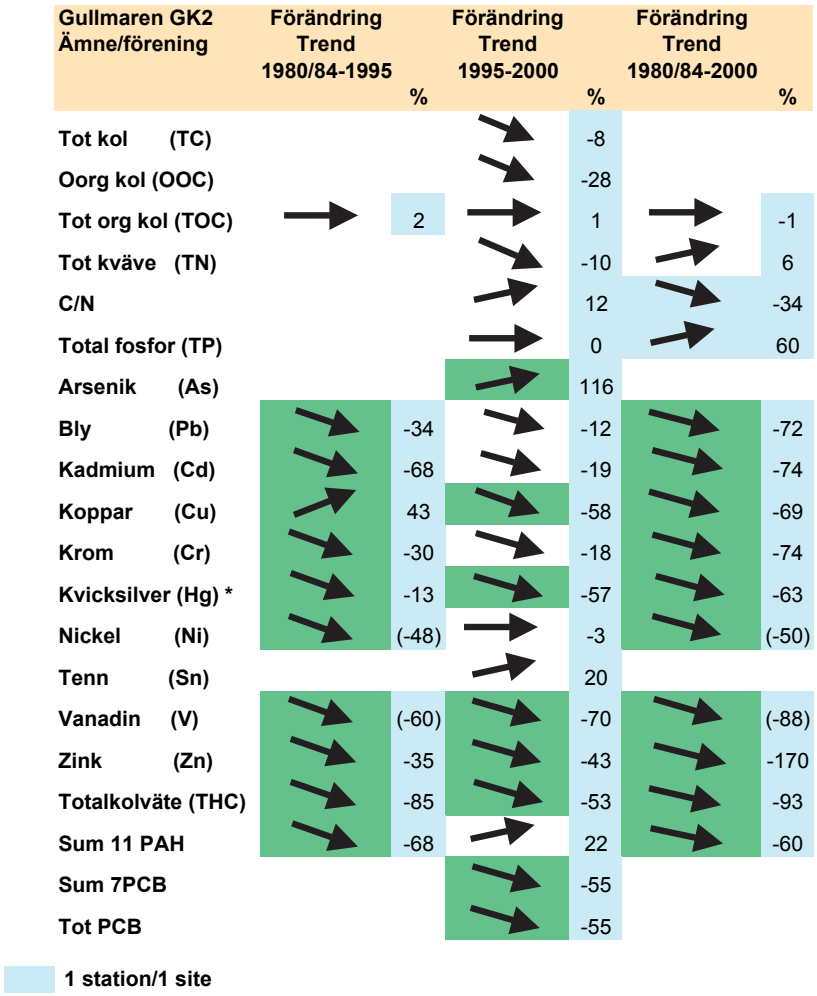


Fig. 6:19. Sammanställning över förändringen av koncentrationen för några ämnen och föreningar i ytsedimentet på station GK2 i Gullmarsfjorden mellan 1980 och 2000. Nedåtriktad pil betyde minskade halter och uppåtriktad pil ökande halter. Grönmarkerade fält markerar förändringar som är större än de minst 20 respektive 35 %, som baserat på sediments blandningsfaktor krävs för att en förändring med säkerhet skall kunna detekteras vid ett tioårigt respektive femårigt provtagningsintervall.

Compilation of the changes of the average concentrations of some elements and compound between 1980 and 1995 in the surficial sediments of the site GK2 in the Gullmarsfjorden. Arrow pointed downwards implies decreasing concentration and arrow pointed upwards implies increasing concentration. Green areas mark changes bigger than the minimum of 20 and 35 % needed to detect changes with a high significance in a ten- and five years sampling interval respectively.

6.7. Summary

At the request of the Western Götaland County, the bottom sediments of the Gullmarsfjorden, south-western Sweden, were examined with regards to certain physical and chemical parameters in 2000. Slightly more than 50 chemicals and compounds, heavy metals, organic micropollutants and nutritive substances were studied at one site (GK2) situated in the Alsbäck Depth. The Geological Survey of Sweden (SGU) was responsible for sampling procedures, Alcontrol for analyses of sediment samples and preliminary reporting, while SGU carried out the evaluation, trend analyses and final reporting. The study is part of the Monitoring Programme of Gullmarsfjorden, comprising inter alias control and evaluation of sediment quality every fifth year. The former study was carried out in 1980 (Joslin 1985), in 1987 (Bornmalm 1988) and in 1995 (Cato 1997a).

The investigations in 2000 comprised resampling of i.a. the superficial sediment layer (0–1 cm) at the sampling site of 1980, 1987 and 1995. By assuming that the main part of the superficial layer consists of recently deposited sediments, the trend of the environmental quality, expressed as the anthropogenic load of substances to the Gullmarsfjorden, could be determined by trend analysis. In the trend analysis summarized

below, the trend of each parameter, element or compound at the site GK2 is given. The condition at the site probably show the influence from Lysekil and Fiskebäckskil on the sediment quality.

To be able to determine the load of a certain chemical or compound within a coastal area or recipient like Gullmarsfjorden, consideration must, in some cases, be taken of the effect of the natuaral variation of the element/compound. This, in turn, depends on the variation of the concentration of organic matter. This can be done using the Gradient method, where the gradient itself expresses the degree of the anthropogenic load. However, this presupposes that the element/compound in question shows an acceptable and probable positive correlation (association) with the sedimentary organic carbon. It has not been possible to use the method in the Gullmarsfjorden, since it does not give a sufficient statistical base.

The content of clay and silt, i.e. the fraction <63 µm was determined as i.a. the environment of sedimentation at each site has to be examined. Together with the optical and radiographic analyses, and the water content determinations of the sediment the results show that the site GK2 (Alsbäcksdjupet) was placed in a potentially good deposition environment.

The content of organic carbon, inorganic carbon (OOC, mainly carbonate coal) and total carbon (TC) in the sediments falls within an interval that can be considered as normal for the Bohus coast. The concentration of organic carbon in the surficial sediment has been very constant around 29 g/kg d.m. with variations within an interval of 1,3% since 1984.

The majority of the nitrogen (TN) occurring in the sediments is organically bound and therefore displays a distribution pattern closely resembling that of total organic carbon. The nitrogen content in the sediment at the site has increased by 6% while the C/N ratio has decreased by c. 26% between 1980 and 2000. Between 1995 and 2000 the nitrogen content decreased by 10% and the C/N ratio increased by 12%. The changes after 1995 may indicate that the previously observed increase in the amount of deposited marine detritus (rich in nitrogen and poor in cellulose) within the period in question now has started to decrease. The change between 1980 and 1995 in the C/N ratio in the Gullmarsfjorden is probably due to the eutrophication of the fiord, which favours/favoured the production of marine organic matter viz. the supply of organic matter from land.

Corresponding changes of the C/N ratio have previously been reported in the Göteborg archipelago between 1966 and 1982, in the Brofjorden between 1972 and 1995, and in the Stenungsund area between 1975 and 1995 (Cato 1997a). The trend between 1995 and 2000 may indicate that the eutrophication of the area has started to decrease. Corresponding observations during the same period has been observed in Göta älv, in the Stenungsund area, the Brofjorden and in other areas along the Bohus Coast (se chapters 2–5 this volume).

The sediments' content of total phosphorus (tot-P) in the fiord lies in the upper part of that interval that in 2000 is typical of other recipients along the Bohus Coast. The phosphorus content has increased by 60% between 1980 and 2000 at site GK2, i.e. in the Alsbäck Depth. The increase is probably due to diagenetic processes which enrich phosphorous in the sediment surface as a consequence of steady state in the reduced bottom environment.

In Figure 6:18 the sediment quality at site GK2 is summarized with respect to each element/compound when suitable limit Swedish values are available (Naturvårdsverket 1999, 2005). With respect to each element/compound the sites have been placed in the suitable class of anthropogenic impact. The results imply that, with respect to cadmium (Cd), chromium (Cr), nickel (Ni), lead (Pb), copper (Cu), mercury (Hg) and zink (Zn) the site GK2 is not contaminated, i.e. the content is low or close to the natural background. With respect to arsenic (As) and polychloronated biphenyls (PCB) the site GK2 is moderately contaminated, i.e. medium high content has been measured. However, the area is contaminated (high content) with respect to polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH).

Polybrominated diphenylethers (PBDE) was for the first time investigated in the fjord in 2000. Four compounds were detected and of these PBDE-47 and PBDE-99 were found in higher concentrations than in any other areas along the Bohus coast, the Stockholm archipelago and the Bråviken Bay.

The trend of the sediment quality status at both sites between 1990 and 2000 is summarized in Table 6:19. The arrows show whether the concentration of each element or compound increased, decreased or is unchanged during the period. Changes less than 10% can not be considered as statistically significant. However, consideration has also to be taken to the bioturbation factor. This determinates how strong change that is needed, with a high probability, to detect changes at a ten- and five-years interval of sampling respectively.

In this case, changes of more than 20 and 35% respectively have to be considered. In those cases where this is fulfilled the changes has been marked with green colour in figure 6:19.

The results from the trend analysis demonstrated a moderate to strongly significant increase between 1995 and 2000 of As, and a moderate increase of Sn, TN, C/N and PAH. All other elements (Cd, Cu, Cr, Hg, V and Zn), THC and PCB showed a marked decrease, while TOC, tot-P and Ni is unchanged during the same period. In the long run between 1980/84 and 2000 all heavy metals, C/N and PAH has decreased while tot-P has strongly increased. Changes within brackets mark hesitance due to old uncertain data.

6.8 Referenser

Alcontrol, 2004: *Bohuskustens vattenvårdsförbund 2001–2002. Resultat från undersökningar av sediment och biologiskt material.* Rapport Alcontrol Laboratories 2004, 361 s.

Axe, P., Andersson, L., Håkansson, B., Sahlsten, E. & Ingemansson, A., 2004: Sammanställning och utvärdering av hydrografiska mätningar längs Bohuskusten. *SMHI Rapport 2004-57*, 144 s.

Bjerk,J.E. & Brevik, E.M., 1980: Organochlorine compounds in aquatic environments. *Arch. Environ. Contam. Toxical. 9*, 743–750.

Bornmalm, L., 1988: *Begränsad geokemisk undersökning i Gullmarsfjorden. I Gullmarsfjorden, Naturvårdsområde. Kontrollprogram och vårdåtgärder budgetåret 1986/87.* Länstyrelsen, naturvårdsenheten 1988:1, 15 s.

Cato, I., 1977: recent sedimentological and geochemical conditions and pollution problems in two marine areas in southwestern Sweden. *Striae 6*, 158 s.

Cato, I., 1986a: Sedimentens belastning av tungmetaller och närsalter i Göteborgs skärgård 1982, samt förändringar efter 1966. Göteborgs universitet, *Maringeologiska institutionen, Rapp. 2*. 95 s. Göteborg.

Cato, I., 1986b: Tungmetaller och petrogena (organiska) substanser i Stenungsundsområdets bottensediment 1985, samt förändringar efter 1975. *Naturvårdsverket Rapport 3152/Miljöutredningen för Stenungsund Rapport 25*, 49 s.

Cato, I., 1990: Sedimentundersökningar i Brofjorden särskilt Trommekilen 1989, samt förändringar efter 1972 och 1984. *Sveriges geologiska undersökning Rapporter & meddelanden 64*, 75 s.

Cato, I., 1992: Sedimentundersökningar längs Bohuskusten 1990 - Göteborgs och Bohus läns kustvattenkontroll. *Sveriges geologiska undersökning Rapporter & meddelanden 74*, 97 s.

Cato, I., 1997a: Sedimentundersökningar i Stenungsundsområdet 1995, samt förändringar under de senaste 20 åren. *I* I. Cato (red.): Sedimentundersökningar längs Bohuskusten 1995 samt nuvarande trender i kustsedimentens miljökvalitet – en rapport från fem kontrollprogram. *Sveriges geologiska undersökning Rapporter & meddelanden 95*, 193–266.

Cato, I., 1997b: Contaminants in the Skagerrak and Kattegat sediments. *I* I. Cato & F. Klingberg (red.): The proceedings of the fourth Marine Geological Conference - the Baltic. Uppsala 1995. *Sveriges geologiska undersökning Ca 95,* 23–36.

Cato, I., Mattsson, J. & Lindskog, A., 1986: Tungmetaller och petrogena kolväten i Brofjordens bottensediment 1984, samt förändringar efter 1972. Göteborgs Universitet. *Dep. of Marine Geology, Report No. 3*, 95 s.

Cato, I., Rindby, A. & Rudolfsson, J., 2000: Unik sedimentscanner utvecklad. *Geologiskt forum 25*, 13–15.

Clark, R.C. & Brown, D.W., 1977: Petroleum: properties and analyses in biotic and abiotic systems. *I* D.C. Malins (red.): *Effects of petroleum on arctic and subartic marine environments and organisms. Vol I.* Academic Press.

De Voogt, P. & Brinkman, U.A.T., 1989: Production, properties and usage of polychlorinated biphenyls. *I* R. Kimbrough & S. Jensen (red.): *Halogenated biphenyls, terphenyls, naphtalenes, dibenzodioxines and related products.* Elsivire Sci. Publ. B.V.

Farrington, J.W., 1980: An overview of the biogeochemistry of fossil fuel hydrocarbons in the marine environment. *I* Petrakis & F.T. Weiss (red.): *Petroleum in the Marine Environment.* American Chemical Society.

Helland, A., Brevik, E.M. & Godal, A., 1996: Sedimentudersøkelser i Göteborgs og Bohus läns kystvann 1995. *NIVA Rapport LNR 3499-96,* 66 s.

Jonasson, A. & Olausson, E., 1966: New devices for sedimentsampling. *Mar. Geol. 4*, 365–372.

Joslin, O., 1985: *Begränsad geokemisk undersökning i Gullmarsfjorden. I Gullmarsfjorden, Naturvårdsområde. Förstudier till kontrollprogram. Provtagningsresultat 1979/80–1982/83.* Länstyrelsen, naturvårdsenheten 1985:1, 15 s.

Knickmeyer,R. & Steinhart,H., 1988: The distribution of cyclic organochlorines in North Sea sediments. *Dt. Hydrogr. Z., 41*, 1–21.

Konieczny, R.M., 1994: Miljøgiftundersøkelser i Indre Oslofjord. Delrapport 4. Miljøgifter i sedimenter. *NIVA Rapport TA nr 1074/1994,* 124 s.

Konieczny, R.M. & Juliussen, A., 1995: Sonderende undersøkelser i Norske havner og utvalgte kystområder. Fase 1. Miljøgifter i sedimenter på strekningen Narvik Kragerø. *NIVA-Rapport 587/94.* 185 s.

Lohse, J., 1988: Ocean incineration of toxic wastes: a footprint in North Sea Sediments. *Mar. Pollut. Bull. 19*, 366–371.

Naturvårdsverket 1999: Bedömningsgrunder för miljökvalitet i Kust och hav. *Naturvårdsverket Rapport 4914*, 134 s.

Naturvårdsverket 2005: ://www.naturvardsverket.se/index.php3?main=/dokument/fororen/orggift/organisk.html.

Niemistö, L., 1974: A gravity corer for studies of soft sediments. *Havsforskningsinst., Skr. Helsinki, 238*, 33–38.

Olausson, E., Bäckman, E., Gustafsson, O., Karlsson, L.-K., Sundström, B. & Svensson, R., 1972: Sedimentundersökningar på Västkusten – förändringar och konstans. *Medd. Maringeol. Lab. Göteborg 4,* 25 s.

Petersson, H., 1943: *Den röda leran och dess mangankonkretioner*. Göteborgs Högskolas Årsskrift XLI, 3, 50 s. Wettergrens & Kebers Förlag. Göteborg.

Rodhe, J., 1973: Sediment transport and accumulation at the Skagerrak-Kattegat border. *University of Göteborg, Inst. of Oceanography Report 8,* pp. 1-32.

Rudling, L., 1976: Oil Pollution in the Baltic Sea. Statens Naturvårdsverk. *SNV PM 783*, 1–80.

Rygg, B. & Thélin, I., 1993: Klassificering av miiljøkvalitet i fjordar og kystfarvann. Kortversion. *SFT-veiledning nr 93:02*, 20 s.

Sleeter, T.D., Butler, J.N. & Barbash, J.E., 1980: Hydrocarbons in the sediments of the Bermuda region lagoonal to abyssal depths. *I* Petrakis & F.T. Weiss (red.): *Petroleum in the Marine Environment*. American Chemical Society.

Del 7

Föroreningar och miljökvalitet i biota längs Bohuskusten 1992–2001 – förändringar, belastning och samband

Contaminants and environmental quality in biota along the Bohus Coast 1992–2001 – trends, load and relationships

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

Abstract 379
7.1. Inledning 379
7.2. Undersökningsområde 380
7.3. Metoder 381
7.3.1 Provtagningsstationer 381
7.3.2 Insamlat och analyserat material 382
7.3.3 Utvärderingsmetodik 382
7.4. Resultat 383
7.4.1 Miljögifter i blåstång 384
7.4.1.1 Tungmetaller 384
7.4.1.2 Organiska tennföreningar 386
7.4.1.3 Metylnaftalener och polycykliska aromatiska kolväten 390
7.4.1.4 Polybromerade difenyletrar 392
7.4.1.5 Trendanalyser för blåstång 393
7.4.2 Miljögifter i tånglake 395
7.4.2.1 Tungmetaller 395
7.4.2.2 Metylnaftalener och polycykliska aromatiska kolväten 399
7.4.2.3 Polyklorerade bifenyler 402
7.4.2.4 Polybromerade difenyletrar 404
7.4.2.5 Trendanalyser för tånglake 405
7.4.3 Miljögifter i blåmussla 407
7.4.3.1 Tungmetaller 407
7.4.3.2 Organiska tennföreningar 411
7.4.3.3 Metylnaftalener och polycykliska aromatiska kolväten 412
7.4.3.4 Polyklorerade bifenyler 415
7.4.3.5 Toxafen, lindan och hexaklorbensen 418
7.4.3.6 Polybromerade difenyletrar 419
7.4.3.7 Polyklorerade dioxiner och furaner 421
7.4.3.8 Trendanalyser för blåmussla 423
7.4.4 Miljögifter i torsk 424
7.4.4.1 Tungmetaller 425
7.4.4.2 Organiska tennföreningar 427
7.4.4.3 Metylnaftalener och polycykliska aromatiska kolväten 428
7.4.4.4 Polyklorerade bifenyler 430
7.4.4.5 Polybromerade difenyletrar 434
7.4.4.6 Polyklorerade furaner och dioxiner 436
7.4.4.7 Toxafen 438
7.4.4.8 Trendanalyser för torsk 438
7.4.5 Miljögifter i krabbtaska 440
7.4.5.1 Polyklorerade bifenyler 440
7.4.5.2 Polyklorerade dioxiner och furaner 440
7.4.5.3 Toxafen 443
7.5. Sambandsanalyser 443
7.5.1 Sambandet mellan miljögifter i sediment och biota 443
7.5.1.1 Arsenik 449
7.5.1.2 Kadmium 450
7.5.1.3 Krom 450
7.5.1.4 Koppar 451
7.5.1.5 Kvicksilver 451
7.5.1.6 Nickel 453
7.5.1.7 Bly 453
7.5.1.8 Tenn 454

7.5.1.9 Vanadin 455
7.5.1.10 Zink 455
7.5.1.11 Organiska tennföreningar 456
7.5.1.12 Polycykliska aromatiska kolväten (PAH 457
7.5.1.13 Metylnaftalener 458
7.5.1.14 Polyklorerade bifenyler (PCB 459
7.5.1.15 Polybromerade difenyletrar (PBDE 459
7.5.1.16 Polybromerade dioxiner och furaner (PCCD/PCDF 461
7.6. Faktoranalys av kemiska ämnen i sediment och biota 462
7.7. Bohuskustens variation i miljögiftsbelastning 465
7.8. Sammanfattning 465
7.9. Summary 470
7.10. Referenser 472

Abstract

Investigations of environmentally harmful substances carried out on biota between 1992 and 2001 have been evaluated from areas along the Bohus Coast bordering the Skagerrak Sea on behalf of the Bohus Coast Water Conservation Association. Biological samples were collected five years apart at static sites. The biota investigated were blue mussel (*Mytilus edulis*), bladder wrack (*Fucus vesiculosus*), eel-pout (*Zoarces viviparus*) and cod (*Gadus morhua*); at two stations crab (*Cancer pagurus*) were also sampled. The different media were analysed for 11 metals, DBT, TBT, 16 PAHs, methylnaphtalenes, 7 PCBs, non-ortho-PCBs, 7 PBDEs, Deca-BDE, HCB, lindan, toxaphene and PCCDs/PCDFs. The evaluations were conducted to record dispersion of chemicals, changes over time, existing concentration relationships between various investigated media and environmental quality according to the Swedish criteria for coast and sea.

The results show that a number of elements and compounds are dispersed along the Swedish Bohus Coast, but that the concentrations of the different elements and compounds vary between different media and sites. Metals, PCBs and PBDEs were found in all media at all sites, while in general only a few PAHs seemed to be accumulated in biota., Toxaphene, TBT (not in bladder wrack), HCB, lindane and PCCDs/PCDFs were also found at all sites in those media analysed for these substances. The environmental quality (EQ) with respect to metals in biota along the coast varied from sites with good to sites with very bad conditions. The figures evidently showed an excess of harmful substances in the urbanized/industrialized areas for all studied media categories. The Kosterfjord area is in this respect least strained. The relationship between the concentration of the compounds in two different media was tested. Out of the 192 selected tests, relationships with P>95% were found in one third of the cases.

The trend analyses showed that the major trends are concordant between different media in the biological matrix studied, and with more than 90% probability they generally show decreasing average metal concentrations between 1992/93 and 2001. The only exceptions are tin (Sn) which increased during the period, as was the case of tributhyltin (TBT) and PCB in blue mussel and in the latter case also in eel-pout. In cod liver the average PCB concentrations have decreased. In summary, the conditions regarding environmentally harmful substances in biota, with a few exceptions, improved along the Bohus Coast during the 1990s.

7.1 Inledning

Bohuskustens (tidigare Göteborgs och Bohus läns) vattenvårdsförbund bildades 1988 med syfte att organisera den regionala miljöövervakningen av Bohuskustens marina vatten. Förbundets medlemmar utgörs bl.a. av samtliga kustkommuner inom Göteborgs och Bohus län, hamnar, petrokemisk industri, fisk- och konserv-industri m.fl., vilka samtliga på ett eller annat sätt kan påverka den Bohuslänska kustvattenmiljön.

Vattenvårdsförbundet genomför sedan 1990 löpande undersökningar, s.k. kustvattenkontroll, enligt ett av tillsynsmyndigheten länsstyrelsen fastställt program (1989-12-22). Programmet omfattar hydrografiska, biologiska inklusive fiskeribiologiska, sedimentologiska och miljökemiska undersökningar.

Vattenvårdsförbundets målsättning med undersökningarna är att erhålla kunskap om och följa miljöbelastningen i kustvattnet utmed Bohuskusten. Detta genomförs genom analys av utvalda miljögifter i sediment, flora och fauna. Miljögifterna har valts med utgångspunkt från de utsläpp som kan förväntas från förbundets medlemmar. Undersökningarna genomförs kontinuerligt med, allt efter undersökningens art, kortare eller längre intervall. Sediment- och miljögiftsundersökningar i biota genomförs vart femte år på fasta stationer. Resultaten från sedimentundersökningarna presenteras i avsnitt 2 (denna volym).

Undersökningar av miljögifter i biologiskt material utmed Bohuskusten utfördes 1992/93, 1997/98 och 2001 samt vad gäller blåmusslor också i ett särskilt program utanför Göteborg 1992, 1996, 1997 och 2001

(se avsnitt 8, denna volym) av AnalyCen Nordic AB. Åke Granmo och Rolf Ekelund, Göteborgs universitets marina forskningsstation Kristineberg, redovisade resultaten i den först nämnda undersökningen (Granmo & Ekelund 1993) medan AnalyCen Nordic AB svarade för redovisningen av undersökningarna 1993–1998 (Olsson 1993, 1998,). Sveriges geologiska undersökning (SGU) svarade för en samlad utvärdering av de biologiska och sedimentologiska undersökningarna 1993–1998 (Cato 2000).

Föreliggande rapport behandlar 2001 års biologiska undersökningar. För provtagning har HydroGIS svarat, analys och rapportering av analysdata har utförts av Alcontrol AB i Nyköping (Alcontrol 2004). I likhet med 1992/93 och 1997/98 års undersökningar svarar SGU för sammanställning och utvärdering av resultaten.

Använda metoder i dessa undersökningar kommer inte att upprepas i sin helhet i föreliggande rapport. Istället hänvisas den intresserade läsaren till dessa ovan angivna rapporter.

7.2 Undersökningsområde

Undersökningsområdet omfattar Bohusläns kustvatten från Strömstad i norr till 20 km söder om Göteborg (fig. 7:1). Området kan beskrivas som ett skärgårdslandskap med djupa fjordar, rikt på kalspolat berg och trånga dalgångar fyllda med lera, ställvis överlagrad av tunna sandskikt. Morän förekommer sporadiskt. Bottnarna domineras av postglaciala leror som utmed land och i vikarna ofta överlagras av mo och sand, däremellan uppstickande berg inom framför allt erosionsområden. Områden med glaciallera, utvisande erosion, återfinns framför allt i ett bälte väster om Orust och norrut längs Bohuskusten (Fält 1982).

Bohuskustens ytvatten påverkas till stor del av den s.k. Baltiska strömmen, som är ett bräckt vatten som kommer från Östersjön via Öresund och Bälten och som i Kattegatt blandats upp med underliggande saltare vatten (Svansson 1975). Den Baltiska strömmen följer den svenska västkusten norrut. I höjd med Skagen sker delvis en inblandning av ett pulsat tillskott av saltare vatten som kommer med Jutska strömmen från södra Nordsjön. Bottenvattnet i Skagerrak och Kattegatt utgörs av salt tungt Atlant- och Nordsjövatten (Rodhe 1996). Mellan det Östersjöpåverkade mindre salta ytvattnet och det tyngre och saltare bottenvattnet från Atlanten och Nordsjön utbildas ett mer eller mindre tydligt språngskikt, oftast inom djupintervallet 10 till 20 meter. I fjordarna och de inre skärgårdsområdena där vattenutbytet är begränsat sker dessutom en märkbar påverkan från de i Västerhavet utmynnande Bohuslänska vattendragen.

Sedan mitten av 1970-talet har ett antal rapporter om syrebrist i flera fjordsystems bottenvattnet redovisats (se t.ex. Rosenberg m.fl. 1991, 1996). Orsakerna till detta är ännu inte helt klarlagt, men vanligtvis har syrebristen kopplats till ökade närsaltsutsläpp, framför allt på kvävesidan, och därmed sammanhängande ökad produktion av biologiskt material (övergödning). Nya undersökningar har påvisat att en bidragande orsak också kan vara storskaliga förändringar i Nordatlanten. Man har funnit en stark korrelation mellan paleooceanografiska sedimentdata och det klimatrelaterade s.k. NAO-indexet (North Atlantic Oscillation Index), som bl.a. har lett

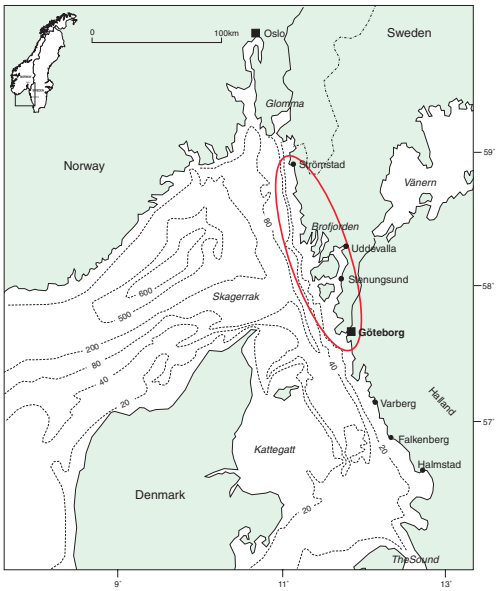


Fig. 7:1. Översiktskarta över Skagerrak och Kattegatt med undersökningsområdet markerat med en oval.

Outline map of the Skagerrak and Kattegat showing the location of the investigated area (oval).

till ökade västvindar i Skagerrak under de senaste decennierna. Ett förhållande som normalt försvårar bottenvattenutbytet i tröskelfjordar, t.ex. Gullmarsfjorden (Nordberg m.fl. 2000), och därmed syresättningen.

7.3 Metoder

7.3.1 PROVTAGNINGSSTATIONER

I föreliggande studie har analysdata från blåmusslor (*Mýlilus edúlis*), blåstång (*Fucus vesiculósus*), tånglake (*Zoárces vivíparus*), filé respektive lever av torsk (*Gádus morrhúa*) och krabbtaska (*Cancer pagurus*) utnyttjats. Analysdata har hämtats från olika resultatredovisningar av biologiskt material (Granmo & Ekelund 1993, Olsson 1993, 1998, Cato 2000, Alcontrol 2004).

I figur 7:2 redovisas den geografiska fördelningen av kustvattenkontrollens fasta provtagningsstationer för biologiskt material. Stationernas positionskoordinater redovisas i tabell 7:1.

Tabell 7:1. Provtagningsstationer vid 2001 års undersökningar av biota utmed Bohuskusten. DGPS-positioner i WGS 84 (HydroGIS 2001).
Sampling sites of the investigation of biota along the Bohus Coast in 2001. DGPS-positions are given in WGS 84 (HydroGIS 2001).

Station	Namn	År	Latitud N	Longitud E	Vattendjup (m)	Bottentyp
4	Danafjord, Lyngnholmen	2001	57°40,283'	11°40,373'	0,5–1	Klippor/Silt
10	Askeröfjorden, Galterö	2001	58°06,347'	11°47,910'	0,7	Sand/Sten
11	Kungsviken, Koljefjorden	2001	58°13,660'	11°35,046'	0,5	Skal/Sten
12	InreGullmaren, Gårvik	2001	58°24,283'	11°37,110'	0,3–0,5	Sand/Sten
12a	Yttre Gullmaren, Flatholmen	2001	58°15,633'	11°24,795'	0,5–1	Sten
13	Brofjorden, N. Lahälla	2001	58°21,623'	11°26,870'	0,2–0,5	Sten
17	Kungshamn, Fisketången	2001	58°21,343'	11°16,461'	0,5	Sand/Skal
16	Kosterfjorden, Saltö	2001	58°52,661'	11°06,905'	1,5	Grus/Skal

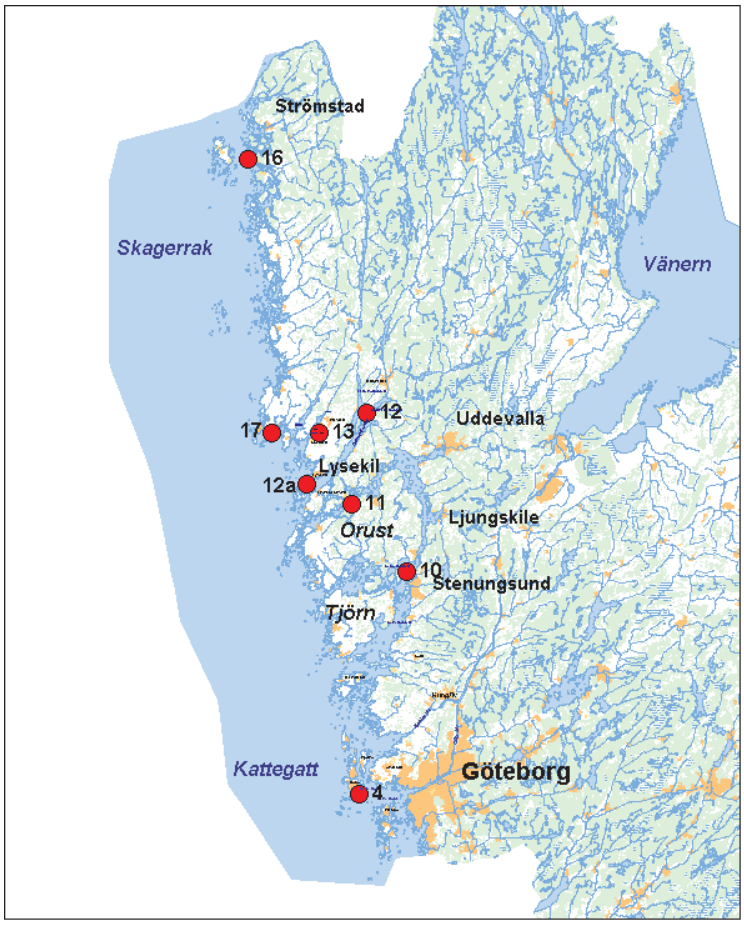


Fig. 7:2. Karta utvisande biologiska provtagningsstationer som utnyttjats i föreliggande studie. Stationerna ingår i Bohuskustens vattenvårdsförbunds kustvattenkontroll.

Map showing biological sampling sites used in this study. The sampling sites are part of the Coastal Water Monitoring Program of the Bohus Coast Water Conservation Association.

Av naturliga skäl sammanfaller koordinaterna för de olika provtagningarna inte exakt inom en och samma miljöövervakningsstation. Blåstång och blåmusslor har företrädesvis insamlats från klipp eller stenbottnar, tånglake och torsk från djupare vatten. Gemensamt för de olika provtagningspunkterna på en och samma station är att de tillhör samma område och påverkas av samma vatten. Habitatet och bottendynamiken varierar däremot mellan provtagningspunkterna inom stationsområdet beroende på den insamlade artens preferens eller krav på typ av botten/miljö.

7.3.2 INSAMLAT OCH ANALYSERAT MATERIAL

Nedan redovisas i korthet de typer av material som insamlats på respektive station. För en närmare beskrivning av proverna avseende längd, vikt, kön, tidpunkt för provtagning, m.m. hänvisas till Granmo & Ekelund (1993), Olsson (1998) och HydroGIS (2001).

Blåstång insamlades manuellt med hjälp av dykare enligt OSPAR. På varje station togs 5–10 toppskott (ca 50–60 mm långa) från 5–10 individuella plantor och sammanfördes till ett gemensamt prov för vidare analys. Insamlingarna utfördes 2001. Tidigare provtagningar har ägt rum1992 och 1997.

Även *blåmussla* insamlades med hjälp av dykare enligt OSPAR. Ca 50 musslor av 40–60 mm längd insamlades på respektive station. Ett samlingsprov av mjukdelarna från varje station analyserades. Insamlingarna utfördes 2001. Tidigare provtagningar har ägt rum1992 och 1997.

Tånglake fångades med ryssja. 13–14 exemplar, med en längd och vikt varierande mellan 15 och 30 cm, infångades från varje station. Ett samlingsprov av filén från varje station analyserades. Insamlingarna utfördes 2001. Tidigare provtagningar har ägt rum 1993 och 1998.

Torsk fångades med ryssjor. Insamlingen gjordes 2001. Vid undersökningarna 1992/93 och 2001 uttogs prov både från filén och levern. Proverna analyserades separat. Vid 1997/98 års undersökningar gick det inte att samla in torsk i tillräcklig mängd varför ett samlingsprov av levern från stationerna 2 (Skalkorgarna) och 10 (Stenungsund) sammanfördes i ett prov benämnt ”Syd”. Torsklever insamlades också från station 17 (Byttelocket).

Krabbtaska insamlades med hjälp av garn vid Saltö i Kosterfjorden och Danafjord utanför Göteborg. Krabbsmöret som analyserades som ett samlingsprov från krabborna utgjorde ca 25 g per individ. Undersökningarna utfördes 2001. Tidigare provtagningar har utförts 1998 vid Vinga utanför Göteborg.

För beskrivning av respektive provers förbehandling och analysmetodik hänvisas till Olsson (1998) och Alcontrol 2004.

7.3.3 UTVÄRDERINGSMETODIK

Trendanalyser, dvs. förändringen av halterna av metaller och organiska miljögifter i biologiskt material mellan de tre provtagningsomgångarna 1992/93, 1997/98 och 2001, har utförts på de stationer som omfattats av upprepad provtagning (i allmänhet stationerna 4, 10, 12, 13, 16 och 17). Medel- och medianvärden har beräknats och signifikansen för skillnaden mellan medelvärdena för respektive ämne och undersökningsomgång har testats statistiskt med hjälp av s.k. t-test med (n–1) frihetsgrader för matchade datapar (dvs. data från samma stationer men härrörande från olika år, 1992/93, 1997/98 respektive 2001) (Fowler & Cohen 1996).

Miljökvaliteten hos blåstång, blåmussla och tånglake har klassats enligt svenska bedömningsgrunder för miljökvalitet i kust och hav (Naturvårdsverket 1999). Bedömningsgrunder finns endast för metaller. Sambanden mellan koncentrationen av miljögifter i olika studerade medier (blåstång, blåmussla, tånglake, torsk och sediment) har vidare undersökts i föreliggande rapport. Analysvärdena för respektive ämne och från olika media på en och samma station har därmed parats ihop, dvs. betraktats som ett samhörande *x*- och *y*-värde. I tabell 7:2 ges en översikt över vilka stationer som parats ihop vid sambandsanalyserna för miljögifter.

Tabell 7:2. Matchningen av sedimentstationer mot respektive biologiska stationer.
Matching of sediment sites vs. biological sampling sites.

Biologisk station	Motsvarande sedimentstation
Station 4 (Lygnholmen, Danajord)	Station 4 (Danajord)
Station 10 (Galterön, askeröfjorden)	Station 10 (G2 Galerön, Askeröfjorden)
Station 11 (Kungsviken, Koljefjord)	Matchande sedimentstation saknas
Station 12 (Gårvik, inre Gullmaren)	Station 12 (Saltkällefjorden)
Station 12a (Flatholmen, yttre Gullmaren)	Matchande sedimentstation saknas
Station 13 (Lahälla, Brofjorden)	Station 324 (utanför Lahäll, Brofjorden)
Station 16 (Saltö, Kosterfjorden)	Station 16 (Kosterfjorden)
Station 17 (Kungshamn)	Station 17 (Kungshamn)

Sambandet (kovariansen) mellan förekomsten av ett ämne i olika media har för provtagningsomgångarna gemensamt testats, t.ex. halten av kvicksilver i blåmussla vs. halten i sediment, eller halten i blåmussla vs. halten i tånglake etc. Allt som allt har ca 200 parvisa (bivariata) kombinationer, plottats och studerats i 2D-diagram. I de redovisade plottdiagrammen anges en trendlinje för kovariansen. Linjen har beräknats, vid konfidensnivån 95 %, med hjälp av linjär regressionsanalys (typ: minsta kvadratmetoden). Statistiska metoder har sedan utnyttjats för att mäta det linjära förhållandet (korrelationen) för en och samma variabel i olika medier genom bestämning av Pearsons produktmoment-korrelationskoefficient (r). Denna kan variera från en perfekt negativ (–1) till en perfekt positiv (+1) korrelation. Som ett mått på variansen i y jämfört med i x redovisas i plottdiagrammen bestämningskoefficienten (r^2). Detta värde indikerar i vilken utsträckning andra faktorer influerar x- och y-värdena, t.ex. ett r^2-värde på 0,7 anger att 30 % av variationen inte kan förklaras av det studerade sambandet. De beräknade sambanden har sannolikhetstestats (Fowler & Cohen 1996).

Ett problem i sammanhanget har varit att sedimentundersökningarna och de biologiska undersökningarna inte sammanfallit i tiden. Sedimentkemiska data från 1990 och 1995 har därför fått testas mot biologiska data från 1992/1993 respektive 1997/1998. Detta har ansetts möjligt att göra eftersom ytsedimentdata från den översta centimetern av botten motsvarar en integrerad kemisk bild av ca 5 år. Tidpunkten för provtagningar av sediment 2000 och biota 2001 skiljer som mest 13 månader.

En svaghet i bakgrundsmaterialet är det lilla antalet stationer och bristen på stationer där kemiska data från både sediment och biota finns. Detta medför att korrelations- och sambandsanalyserna i många fall är osäkra. Med fler stationer skulle sannolikt fler samband varit möjliga att påvisa och flera samband hade dessutom varit starkare alternativt motsatsen.

Det är väsentligt att understryka att funna respektive icke funna samband inte får ses som absoluta utan att dessa endast ger en indikation om att samband kan, alternativt kan ej, finnas mellan halter i två eller flera olika media.

7.4 Resultat

I följande avsnitt redovisas analysdata över biologiskt material från de tre undersökningsomgångarna 1992/93, 1997/98 och 2001. Data har hämtats från Granmo & Ekelund (1993), Olsson (1998) och Alcontrol (2004). Utvecklingstrenden mellan undersökningsomgångarna redovisas för respektive station och respektive kemisk parameter i form av stapeldiagram. Skillnaden mellan medelvärdet för respektive ämne och år har också sannolikhetstestats.

När det gäller trendutvecklingen för torsk så har den till följd av bristen på torsk vid 1998 års undersökningsomgång begränsats till en jämförelse av medelvärdet på torsklever 1993 med motsvarande värde på samlingsprovet ”Syd” (från stationerna 2 (Skalkorgarna) och 10 (Stenungsund)) från 1998.

7.4.1 MILJÖGIFTER I BLÅSTÅNG

Blåstång, *Fucus vesiculosus*, (Ursing 1972)

Analysresultaten från 1992, 1997 (Cato 2000) och 2001 års undersökningar av blåstång redovisas i tabellerna 7:4–11. Den första undersökningsomgången omfattade ett betydligt större antal föreningar än i de två senare omgångarna, vilket bl.a. förklaras av att flertalet eller alla föreningar i vissa ämnesgrupper inte kunde påvisas eller låg under eller mycket nära detektionsgränsen vid det första undersökningstillfället 1992. Analyser av dessa föreningar upprepades därför inte vid 1997 och 2001 års undersökningar. Vilka specifika ämnen som analyserats vid respektive undersökningsomgång framgår av tabell 7:3.

Blåstång insamlades 1992 på stationerna 2, 4, 10, 12, 13 och 16 och 1997 på stationerna 4, 10, 13, 16 och 17. Antalet stationer utökades vid 2001 års undersökningar och kom att omfatta stationerna 4, 10, 11, 12a, 12, 13, 16 och 17. Detta innebär att stationsvisa jämförelsedata inte finns för alla stationer. Detta gäller också för de ämnesgrupper som enbart analyserats vid ett enda undersökningstillfälle.

För de metaller och organiska föreningar som analyserats vid minst två undersökningstillfällen på en och samma station (4, 10, 12, 13, 16 och 17) har det däremot varit möjligt att studera koncentrationsförändringarna mellan 1992, 1997 och 2001.

Tabell 7:3. Analyserade miljögifter i blåstång (*Fucus vesiculosus*) från Bohuskusten 1992, 1997 och 2001. Asterisk (*) markerar vad som analyserats respektive år.

Toxic elements and substances analysed in kelp (Fucus vesiculosus) collected at the Bohus Coast in 1992, 1997 and 2001. Asterisk (*) marks type of analyses carried out respective year.

Ämnesgrupper analyserade i blåstång	Specifikation	1992	1997	2001
Metaller	Al, As, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Sn, V, Zn,	*	*	*
Organiska tennföreningar	dibutyl Sn, tributyl Sn	*	*	*
Extraherbart org. Klor o brom	EOX, EOCl, EPOCl, EOBr, EPOBr	*		
Polycykl. aromatiska kolväten	16 PAH	*	*	*
Metylnaftalener	1-metylnaftalen, 2-metylnaftalen		*	*
Polyklorerade bifenyler	Dutch 7 PCB, tot PCB	*	*	
Polybromerade difenyletrar	7 st PBDE, DekaBDE			*
Diklordifenyltrikloretan	p,p-DDT, p,p-DDE. p,p-DDD, o,p-DDT	*		
Hexaklorbensen	HCB	*		
Klorerade aromater	7 st. klorbensener	*		
Halogenerade alifater	10 st. halogenerade alifater	*		
Monocykliska aromater	6 st. monocykliska aromater	*		
Ftalater	6 st. ftalater	*		
Fenoler	12 st.klorerade -, 5 st icke klorer. fenoler	*		

7.4.1.1 Tungmetaller

Analysresultaten från de tre undersökningstillfällena 1992, 1997 och 2001 redovisas för respektive station i tabell 7:4. Halten av kvicksilver (Hg) låg såväl 1992, 1997 som 2001 under detektionsgränsen på samtliga stationer. Detta gäller även för tenn (Sn) 1997. I det senare fallet beror det på att en betydligt högre detektionsgräns valts av laboratoriet vid analys av materialet från 1997. I tabell 7:5 redovisas medelvärden, medianvärden, standardavvikelse och spridning för respektive metall och år.

Utvecklingen av metallhalterna i blåstång illustreras i histogrammen i figur 7:3a–b. Dessa visar på en ökning av framför allt vanadin (V) och bly (Pb) men också av arsenik (As) på samtliga stationer mellan 1992 och 1997, men därefter har halterna sjunkit till 2001. Koncentrationen av kadmium (Cd), koppar (Cu), krom (Cr), kvicksilver (Hg), nickel (Ni) och zink (Zn) har minskat på samtliga stationer mellan 1992 och 2001. Tenn (Sn) uppvisar ett varierande mönster, men har i genomsnitt ökat sedan 1992 om data från 1997 undantas. Detektionsgränsen för tennanalyserna 1997 låg över motsvarande analysgräns 1992 och 2001, vilket skapar osäkerhet om successionen i utvecklingen. Den sammanlagda tendensen (tabell 7:5) tyder på en generell minskning av flertalet metaller medan halterna av tenn ökat i blåstång. Kvicksilver har inte detekterats i blåstång vid något av de tre undersökningstillfällena. Analyserna av vanadin (V) från 1997 är extremt höga på flera stationer och troligen felaktiga.

Vid en jämförelse mellan stationerna kan konstateras att belastningen, baserad på metallinnehållet i blåstång, varierar stationerna emellan beroende på vilken metall som avses. I allmänhet återfinns de högsta halterna på endera eller flera av stationerna 11 (Kungsviken i Koljefjorden), 12 och 12a (Gullmaren), 13 (Brofjorden) och 17 (Byttelocket vid Kungshamn). Station 4 (Danafjord utanför Göteborg) kan även räknas in i denna grupp vad avser arsenik (As).

Enligt svenska bedömningsgrunder för miljökvalitet i kust och hav (Naturvårdsverket 1999) visar analysresultaten från undersökningarna av blåstång att med avseende på Cr och Pb 2001 är dålig (klass 4) utmed Bohuskusten från Gullmaren i söder och vidare norrut till Kosterfjorden (figur 7:4). Med några få undantag är kvaliteten bra till mindre bra (klasserna I–III) med avseende på övriga metaller. Svenska bedömningsgrunder saknas för vissa metaller.

I allmänhet har miljökvaliteten med avseende på tungmetaller förbättrats från 1992 till 2001. Enda undantag utgör krom, där en viss försämring kan noteras (figur 7:4). Förbättringen gäller särskilt metallerna As, Cd och Pb.

Tabell 7:4. Koncentrationen (mg/kg ts) av tungmetaller i blåstång (*Fucus vesiculosus*) utmed Bohuskusten 1992–2001. Streck (-) = ej analyserat.

The concentration (mg/kg dw) of heavy metals in kelp (Fucus vesiculosus) along the Bohus Coast in 1992–2001. Line (-) = not analysed.

Station	År	Al mg/kg ts	As mg/kg ts	Cd mg/kg ts	Cr mg/kg ts	Cu mg/kg ts	Hg mg/kg ts	Mn mg/kg ts	Ni mg/kg ts	Pb mg/kg ts	Sn mg/kg ts	V mg/kg ts	Zn mg/kg ts
2	1992	451	27,8	0,97	1,74	9,02	<0,14	-	10,4	1,86	0,14	5,9	298
	1997	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	2001	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4	1992	25	25	1,49	0,53	2,45	<0,11	-	5,85	0,37	0,16	3,24	105
	1997	-	42	1,3	0,68	3,3	<0,1	-	5,1	3,4	<0,53	19	74
	2001	-	21	0,35	0,22	1,4	<0,0024	24	0,72	0,26	0,24	0,17	41
10	1992	41,5	21,9	0,93	0,22	2,4	<0,1	-	3,39	0,33	0,49	2,68	60,1
	1997	-	42	0,99	<0,39	2	<0,09	-	3,6	4,3	<0,43	19	43
	2001	-	12	0,53	0,59	1	<0,0088	12	2,8	0,59	0,37	1,1	26
11	1992	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	1997	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	2001	-	12	0,81	0,76	4	<0,0095	78	2,8	1	0,62	0,59	73
12a	1992	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	1997	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	2001	-	16	1,4	0,86	3,5	<0,0092	71	1,8	1,5	0,66	0,71	46
12	1992	206	21,3	1,3	1,38	3,5	<0,13	-	4,38	3,3	0,13	5,06	70,6
	1997	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	2001	-	16	0,88	1,1	4,7	<0,0098	210	2,2	1,9	0,39	1,4	54
13	1992	34,2	38,5	1,67	0,31	3,51	<0,1	-	6,25	0,89	0,52	3,23	189
	1997	-	39	0,98	1,2	2,7	<0,08	-	2,9	2,1	<0,39	18	105
	2001	-	21	0,83	0,81	2,2	<0,011	100	2,4	2	0,72	0,81	74
16	1992	17,2	24,7	1,13	1,59	2,85	<0,1	-	3,82	0,53	0,27	3,6	41,4
	1997	-	34	1,1	0,6	1,5	<0,07	-	2,6	1	<0,37	16	31
	2001	-	20	1,1	0,78	1,4	0,010	90	2,3	1,3	0,45	0,74	39
17	1992	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	1997	-	73	1,8	0,54	5,4	<0,1	-	4,5	4,4	<0,49	22	93
	2001	-	24	0,69	0,86	3,2	<0,0094	67	1,9	1,6	0,43	0,79	58

Tabell 7:5. Spridning och medelvärden (mg/kg ts) för metaller i blåstång (*Fucus vesiculosus*) utmed Bohuskusten 1992–2001.
Range and means (mg/kg dw) of metals in kelp (Fucus vesiculosus) along the Bohus Coast in 1992–2001.

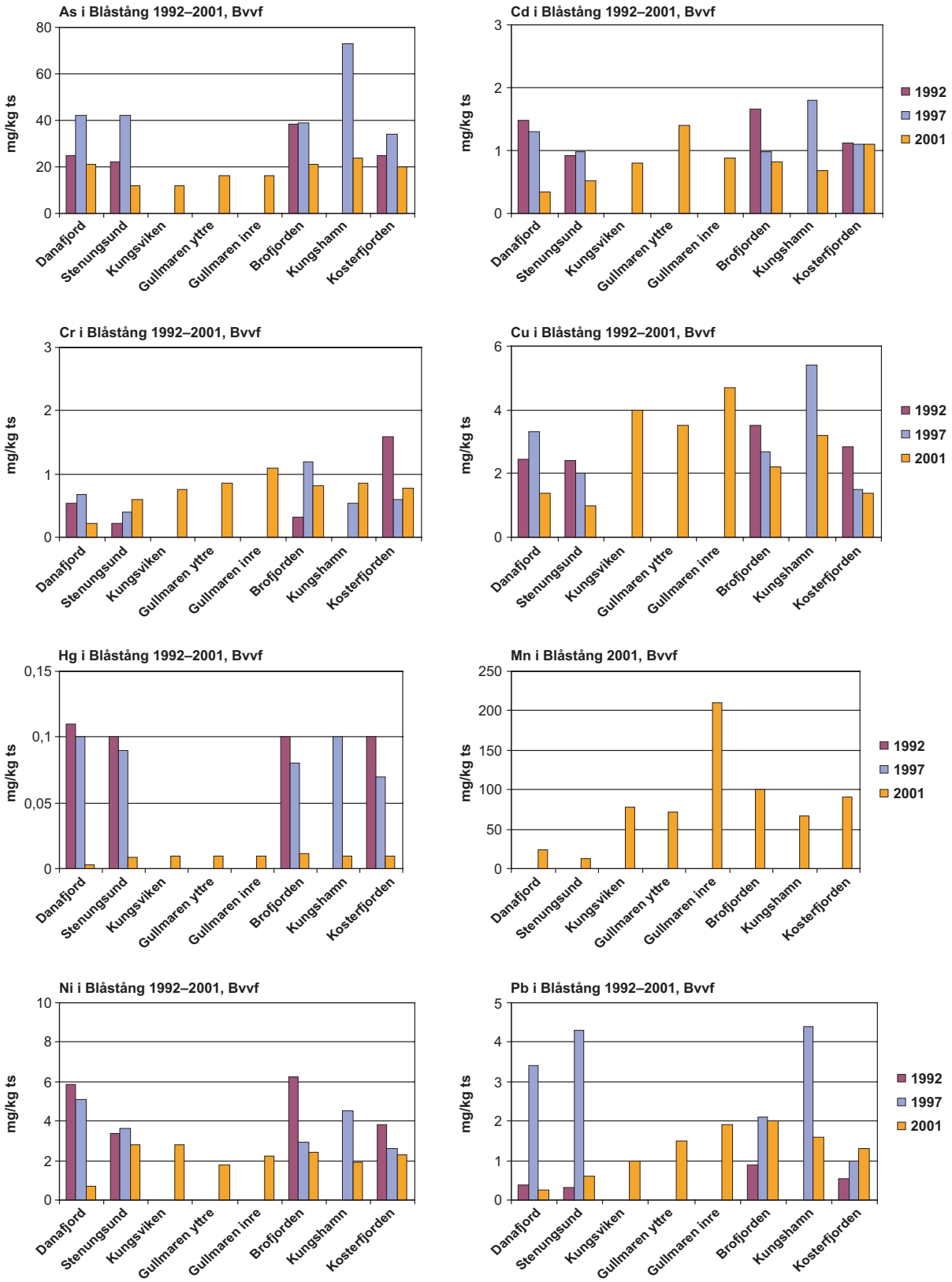
Blåstång	År	Antal stationer n	Intervall mg/kg ts	Medelvärde mg/kg ts	Medianvärde mg/kg ts	Standardavvikelse mg/kg ts
Al	1992	6	17–451	129	38	172
As	1992	6	21–39	27	25	6,3
	1997	5	34–73	46	42	15
	2001	8	12–24	18	18	4,4
Cd	1992	6	0,93–1,7	1,2	1,2	0,29
	1997	5	0,98–1,8	1,2	1,1	0,34
	2001	8	0,35–1,4	0,82	0,82	0,33
Cr	1992	6	0,31–1,7	0,96	0,96	0,68
	1997	5	<0,39–1,2	0,68	0,6	0,31
	2001	8	0,22–1,1	0,75	0,8	0,26
Cu	1992	6	2,4–9,0	4	3,2	2,5
	1997	5	1,5–5,4	3	2,7	1,5
	2001	8	1–4,7	2,7	2,7	1,4
Hg	1992	6	<0,1	–	–	–
	1997	5	<0,07	–	–	–
	2001	8	<0,011	–	–	–
Mn	2001	8	12–210	82	75	60
Ni	1992	6	3,4–10	5,7	5,1	2,6
	1997	5	2,6–5,1	3,7	3,6	1,1
	2001	8	0,72–2,8	2,1	2,3	0,67
Pb	1992	6	0,33–1,9	1,4	0,89	1,2
	1997	5	1–4,4	3	3,4	1,5
	2001	8	0,26–2	1,3	1,4	0,62
Sn	1992	6	0,13–0,52	0,29	0,22	0,18
	1997	5	<0,37	–	–	–
	2001	8	0,24–0,72	0,49	0,44	0,17
V	1992	6	2,7–5,9	4	3,4	1,2
	1997	5	16–22	19	19	2,2
	2001	8	0,17–1,4	0,79	0,77	0,36
Zn	1992	6	41–300	115	124	33
	1997	5	31–105	69	74	32
	2001	8	26–74	51	50	17

7.4.1.2 Organiska tennföreningar

Analysresultaten från de tre undersökningstillfällena 1992, 1997 och 2001 redovisas för respektive station i tabell 7:6. Organiska tennföreningar studerades på fyra respektive fem stationer 1992 och 1997 och på åtta stationer 2001. Dibutyltenn (DBT) detekterades inte på någon station 1992 och 2001 men väl 1997. Tributyltenn (TBT) kunde konstateras i blåstång vid de två första undersökningstillfällena men inte vid det sista. I tabell 7:7 redovisas medelvärden, medianvärden, standard-avvikelse och spridning för respektive organisk tennförening och undersökningsår.

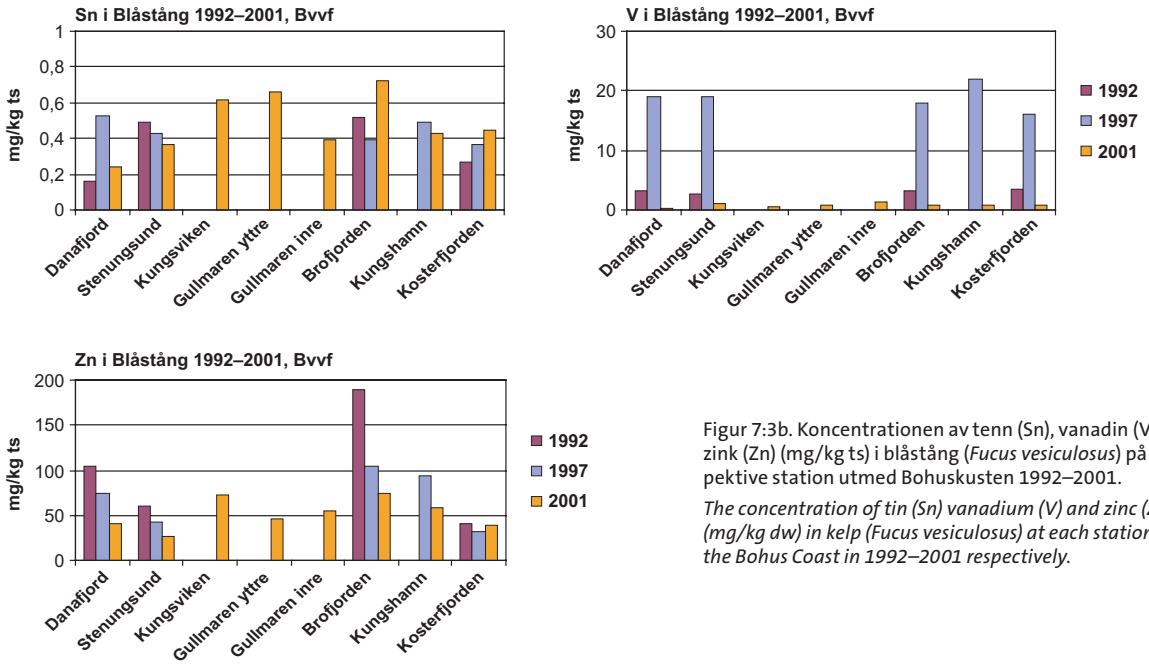
Förändringarna mellan de två undersökningstillfällena i halten av organiska tennföreningar illustreras i figur 7:5. Resultaten visar att halten av DBT är mer eller mindre oförändrat låg (under eller mycket nära detektionsgränsen) mellan 1992 och 2001. Enda undantag utgör station 16 i Kosterfjorden där en kraftigt förhöjd halt noterades 1997. Förändringarna för TBT mellan 1992 och 1997 varierade, men sjönk I genomsnitt med 22 %. Utvecklingen därefter kan inte avgöras till följd av för hög detektionsgräns (0,05 mg/kg ts) 2001.

Svenska bedömningsgrunder saknas för dess föreningar.



Figur 7:3a. Koncentrationen av arsenik (As), kadmium (Cd), krom (Cr), koppar (Cu), mangan (Mn), nickel (Ni), bly (Pb) och tenn (Sn) (mg/kg ts) i blåstång (*Fucus vesiculosus*) på respektive station utmed Bohuskusten 1992–2001.

The concentration of arsenic (As), cadmium (Cd), chromium (Cr), copper (Cu), manganese (Mn), nickel (Ni), lead (Pb) and tin (Sn) (mg/kg dw) in kelp (Fucus vesiculosus) at each station along the Bohus Coast in 1992–2001 respectively.



Figur 7:3b. Koncentrationen av tenn (Sn), vanadin (V) och zink (Zn) (mg/kg ts) i blåstång (*Fucus vesiculosus*) på respektive station utmed Bohuskusten 1992–2001.

The concentration of tin (Sn) vanadium (V) and zinc (Zn) (mg/kg dw) in kelp (Fucus vesiculosus) at each station along the Bohus Coast in 1992–2001 respectively.

Blåstång	As mg/kg ts 1992	As mg/kg ts 1997	As mg/kg ts 2001	Cd mg/kg ts 1992	Cd mg/kg ts 1997	Cd mg/kg ts 2001	Cr mg/kg ts 1992	Cr mg/kg ts 1997	Cr mg/kg ts 2001
Danafjord	25	42	21	1,49	1,3	0,35	0,53	0,68	0,22
Stenungsund	21,9	42	12	0,93	0,99	0,53	0,22	0,39	0,59
Kungsviken			12			0,81			0,76
Gullmaren yttre			16			1,4			0,86
Gullmaren inre			16			0,88			1,1
Brofjorden	38,5	39	21	1,67	0,98	0,83	0,31	1,2	0,81
Kungshamn		73	24		1,8	0,69		0,54	0,86
Kosterfjorden	24,7	34	20	1,13	1,1	1,1	1,59	0,6	0,78

	Cu mg/kg ts 1992	Cu mg/kg ts 1997	Cu mg/kg ts 2001	Ni mg/kg ts 1992	Ni mg/kg ts 1997	Ni mg/kg ts 2001	Pb mg/kg ts 1992	Pb mg/kg ts 1997	Pb mg/kg ts 2001
Danafjord	2,45	3,3	1,4	5,85	5,1	0,72	0,37	3,4	0,26
Stenungsund	2,4	2	1	3,39	3,6	2,8	0,33	4,3	0,59
Kungsviken			4			2,8			1
Gullmaren yttre			3,5			1,8			1,5
Gullmaren inre			4,7			2,2			1,9
Brofjorden	3,51	2,7	2,2	6,25	2,9	2,4	0,89	2,1	2
Kungshamn		5,4	3,2		4,5	1,9		4,4	1,6
Kosterfjorden	2,85	1,5	1,4	3,82	2,6	2,3	0,53	1	1,3

	Zn mg/kg ts 1992	Zn mg/kg ts 1997	Zn mg/kg ts 2001
Danafjord	105	74	41
Stenungsund	60	43	26
Kungsviken			73
Gullmaren yttre			46
Gullmaren inre			54
Brofjorden	189	105	74
Kungshamn		93	58
Kosterfjorden	41	31	39

Bedömningsgrunder enl. Naturvårdsverket (1999)		Avvikelse från jämförvärdet
	Klass 1	Ingen/obetydlig avvikelse
	Klass 2	Liten avvikelse
	Klass 3	Tydlig avvikelse
	Klass 4	Stor avvikelse
	Klass 5	Mycket stor avvikelse

Figur 7:4 Blåstångens (*Fucus vesiculosus*) miljökvalitet utmed Bohuskusten 1992–2001 med avseende på metallinnehåll. Klassning enligt svenska bedömningsgrunder (Naturvårdsverket 1999).

The environmental quality of the bladder wrack (Fucus vesiculosus) along the Bohus Coast with respect to the metal content 1992–2001. Classification according to Swedish Environmental Quality Criteria (Naturvårdsverket 1999).

Tabell 7:6. Koncentrationen (mg/kg ts) av organiska tennföreningar i blåstång (*Fucus vesiculosus*) utmed Bohuskusten 1992–2001. Streck (-) = ej analyserat, n.d. = ej detekterat.

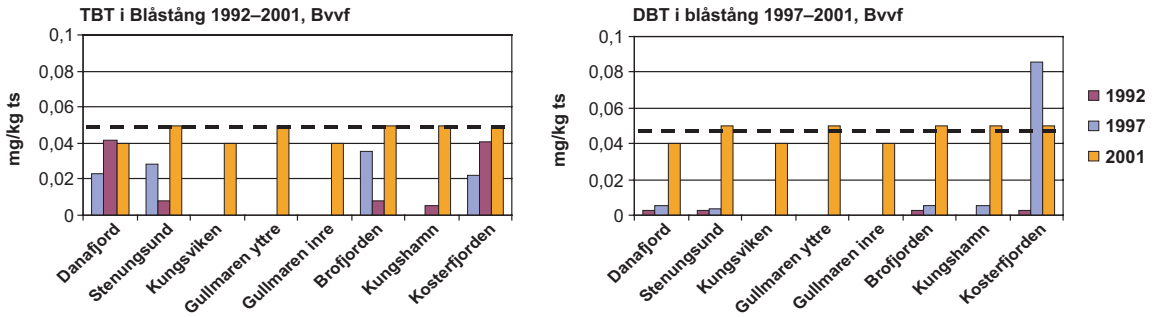
The concentration (mg/kg dw) of organic tin compounds in bladde wrack (Fucus vesiculosus) along the Bohus Coast in 1992–2001. Line (-) = not analysed, n.d. = not detected.

Station	År	Dibutyltenn (DBT) mg/kg ts	Tributytenn (TBT) mg/kg ts
4	1992	n.d.	0,023
	1997	0,005	0,042
	2001	<0,04	<0,04
10	1992	n.d.	0,028
	1997	0,004	0,008
	2001	<0,05	<0,05
11	2001	<0,04	<0,04
12a	2001	<0,05	<0,05
12	2001	<0,04	<0,04
13	1992	n.d.	0,035
	1997	<0,005	0,008
	2001	<0,05	<0,05
16	1992	n.d.	0,022
	1997	0,086	0,041
	2001	<0,05	<0,05
17	1992	n.d.	-
	1997	<0,005	0,005
	2001	<0,05	<0,05

Tabell 7:7. Spridning och medelvärden (mg/kg ts) för tennorganiska föreningar i blåstång (*Fucus vesiculosus*) utmed Bohuskusten 1992–2001.

Range and means (mg/kg dw) of organic tin compounds in kelp (Fucus vesiculosus) along the Bohus Coast in 1992–2001.

Blåstång	År	Antal stationer n	Intervall mg/kg ts	Medelvärde mg/kg ts	Medianvärde mg/kg ts	Standardavvikelse mg/kg ts
Dibutyl-Sn (DBT)	1992	4	n.d.	-	-	-
	1997	5	<0,005–0,086	0,021	0,005	0,036
	2001	8	<0,05	-	-	-
Tributyl-Sn (TBT)	1992	4	0,022–0,035	0,027	0,026	0,0059
	1997	5	0,005–0,042	0,021	0,008	0,019
	2001	8	<0,05	-	-	-



Figur 7:5. Koncentrationen av några organiska tennföreningar (mg/kg ts) i blåstång (*Fucus vesiculosus*) på respektive station utmed Bohuskusten 1992 2001. Streckad linje = detektionsgräns 2001.

The concentration of some organic tin compounds (mg/kg dw) in kelp (Fucus vesiculosus) at each station along the Bohus Coast in 1992–2001 respectively. Broken line = detection limit in 2001.

7.4.1.3 Metylnaftalen och polycykliska aromatiska kolväten

Analysresultaten över metylnaftalener och polycykliska aromatiska kolväten (PAH) i blåstång från 2001 redovisas jämte motsvarande data från 1992 och 1997 i tabell 7:8. I tabell 7:9 redovisas medelvärden, medianvärden, standardavvikelse och spridning för respektive förening och år.

Inga polycykliska aromatiska kolväten (PAH) kunde påvisas i blåstång 1992. Detektionsgränsen för analyserna låg då mellan 5 och 20 µg/kg ts. Vid 1997 och 2001 års undersökningar låg detektionsgränsen lägre (2–5 µg/kg ts) vilket resulterade i att naftalen, 2-metylnaftalen, 1-metylnaftalen, fenantren, antracen, fluoranten och pyren kunde påvisas i små mängder 1997. Vid 2001 års undersökningar kunde naftalen och metylnaftalener påvisas, men därutöver endast acenaften och fluoren. Den senare endast i Stenungsund. I Danafjord låg naftalen- och fluorenhalterna under detektionsgränsen.

De högsta halterna 1997 återfanns i blåstång från Brofjorden (station 13). Stationen ligger nära Preemraff Lysekils produkthamn. Detta var inte fallet 2001, då de högsta halterna påträffades i Gullmaren, Kungshamn och Kosterfjorden. Resultaten indikerar att förhållandena med avseende på dessa föreningar avsevärt förbättrats i Brofjorden. Svenska bedömningsgrunder saknas för PAH i blåstång.

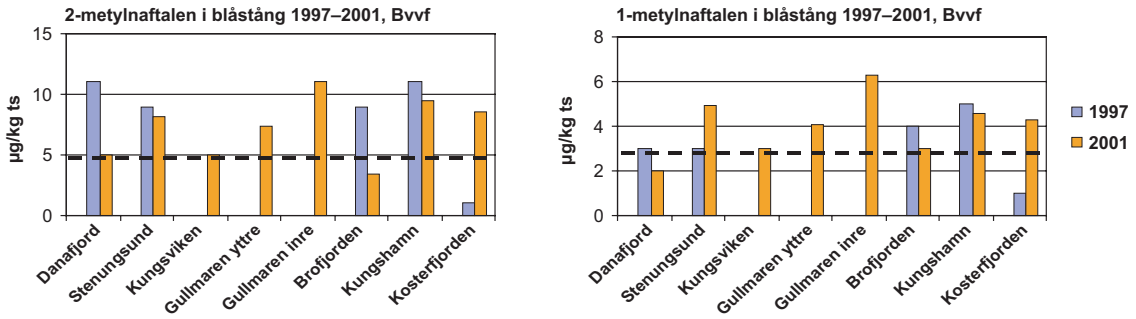
Tabell 7:8. Koncentrationen (µg/kg ts) av metylnaftalener och polycykliska aromatiska kolväten i blåstång (*Fucus vesiculosus*) på respektive station utmed Bohuskusten 1997–2001.

The concentration (µg/kg dw) of methylnaphtalenes and polycyclic aromatic hydrocarbons in kelp (Fucus vesiculosus) at respective site along the Bohus Coast in 1997–2001.

Blåstång µg/kg ts	År	4	10	11	12a	12	13	16	17
Naftalen	1997	14	20				22	<1	18
	2001	<10	30	22	32	37	19	41	41
Acenaftylen	2001	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2
Acenaften	2001	<2	8,3	4,8	6,2	13	11	4,5	19
Fluoren	2001	<2	3	<2	<2	<2	<2	<2	<2
Fenantren	1997	13	12				6	8	7
	2001	<5	<10	<2	<2	<2	<2	<2	<2
Antracen	1997	<1	12				38	<1	6
	2001	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2
Fluoranten	1997	3	4				<1	11	2
	2001	<5	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2
Pyren	1997	<1	4				<1	7	<1
	2001	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2
Benso(a)antracen	2001	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2
Krysen/Trifenylen	2001	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2
Benso(b)fluoranten	2001	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2
Benso(k)fluoranten	2001	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2
Benso(a)pyren	2001	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2
Indeno(1,2,3-cd)peylen	2001	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2
Benso(g,h,i)perylen	2001	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2
Dibenso(a,h)antracen	2001	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2
Sum 5 PAH	**1997**	**16**	**31**				**44**	**26**	**15**
Sum 16 PAH	**2001**	**<10**	**41**	**27**	**39**	**50**	**29**	**46**	**60**
2-metylnaftalen	1997	11	9				9	<1	11
	2001	<5	8,2	<5	7,4	11	3,4	8,5	9.5
1-metylnaftalen	1997	3	3				4	<1	5
	2001	<2	4,9	<3	4,1	6,3	<3	4,3	4,6

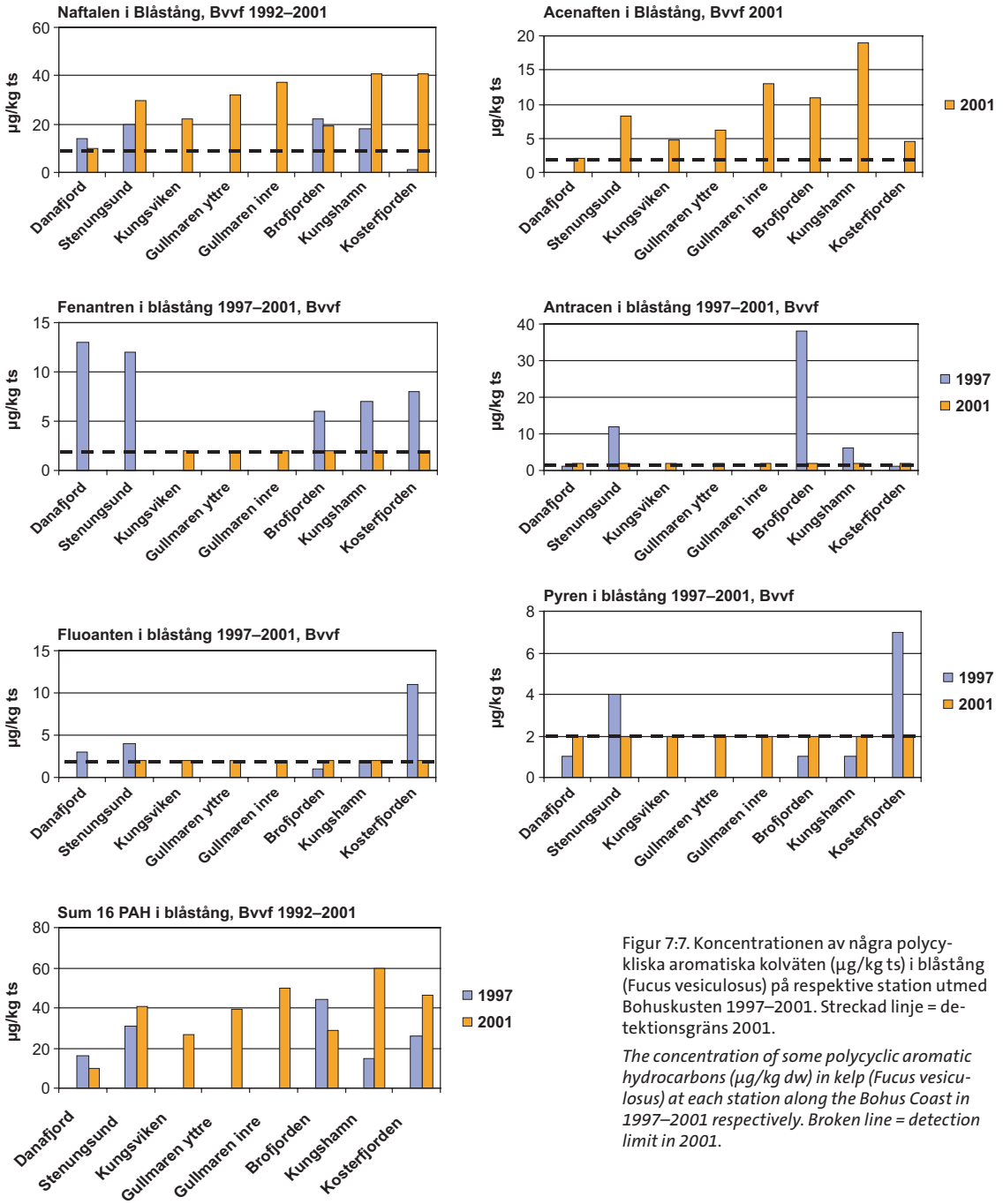
Utvecklingen mellan de olika undersökningsåren 1997 och 2001 illustreras i figurerna 7:6 och 7:7. I figurerna har detektionsgränsen 2001 för respektive förening markerats med en streckad linje, samtidigt som halter under detektionsgränsen har satts lika med detektionsgränsen i syfte att tydligare illustrera utvecklingen.

Metylnaftalenerna visar med undantag för Stenungsund och Kosterfjorden på en sjunkande trend mellan 1992 och 2001. Förhållandena är med undantag för naftalen desamma för övriga polycykliska aromatiska föreningar (PAH). Summa 16 PAH visar med några få undantag en ökad trend, men denna är i detta fall till största delen styrd av förändringarna i naftalenkoncentrationen i blåstången.



Figur 7:6. Koncentrationen av några metylnaftalener (µg/kg ts) i blåstång (*Fucus vesiculosus*) på respektive station utmed Bohuskusten 1997–2001. Streckad linje = detektionsgräns 2001.

The concentration of some methyl naphtalenes (µg/kg dw) in kelp (Fucus vesiculosus) at each station along the Bohus Coast in 1997–2001 respectively. Broken line = detection limit in 2001.



Figur 7:7. Koncentrationen av några polycykliska aromatiska kolväten (µg/kg ts) i blåstång (Fucus vesiculosus) på respektive station utmed Bohuskusten 1997–2001. Streckad linje = detektionsgräns 2001.

The concentration of some polycyclic aromatic hydrocarbons (µg/kg dw) in kelp (Fucus vesiculosus) at each station along the Bohus Coast in 1997–2001 respectively. Broken line = detection limit in 2001.

Tabell 7:9. Spridning och medelvärden (µg/kg ts) för metylnaftalener och polycykliska aromatiska kolväten i blåstång (*Fucus vesiculosus*) utmed Bohuskusten 1997–2001.

Range and means (µg/kg dw) of methylnaphtalenes and polycyclic aromatic hydrocarbons in kelp (Fucus vesiculosus) along the Bohus Coast in 1997–2001.

Blåstång	År	Antal stationer n	Intervall µg/kg ts	Medelvärde µg/kg ts	Medianvärde µg/kg ts	Standardavvikelse µg/kg ts
Naftalen	1997	5	<1–22	15	18	8,4
	2001	8	<10–41	29	31	11
Acenaftylen	2001	8	<2	–	–	–
Acenaften	2001	8	<2–19	8,6	7,3	5,5
Fluoren	2001	8	<2	–	–	–
Fenantren	1997	5	6–13	9,2	8	3,1
	2001	8	<2–10	3,4	<2	2,9
Antracen	1997	5	<1–38	12	6	15
	2001	8	<2	–	–	–
Fluoranten	1997	5	<1–11	4,2	3	4
	2001	8	<2	–	–	–
Pyren	1997	5	<1–7	2,8	1	2,7
	2001	8	<2	–	–	–
Benso(a)antracen	2001	8	<2	–	–	–
Krysen/Trifenylen	2001	8	<2	–	–	–
Benso(b)fluoranten	2001	8	<2	–	–	–
Benso(k)fluoranten	2001	8	<2	–	–	–
Benso(a)pyren	2001	8	<2	–	–	–
Indeno(1,2,3-cd)peylen	2001	8	<2	–	–	–
Benso(g,h,i)perylen	2001	8	<2	–	–	–
Dibenso(a,h)antracen	2001	8	<2	–	–	–
Sum 5 PAH	1997	5	15–44	26	26	12
Sum 16 PAH	**2001**	**8**	**10–60**	**38**	**40**	**16**
2-metylnaftalen	1997	5	<1–11	8,2	9	4,1
	2001	8	3,4–11	7,3	7,8	2,6
1-metylnaftalen	1997	5	<1–5	3,2	3	1,5
	2001	8	<2–6,3	4	4	1,3

4.4.4.4 Polybromerade difenyletrar

Inom ramen för kustvattenkontrollen undersöktes polybromerade difenyletrar (PBDE) i blåstång för första gången 2001. Analysresultaten samt medel- och medianvärden redovisas i tabellerna 7:10 och 7:11. Av åtta undersökta kongener kunde två (PBDE-85 och PBDE-138) inte påvisas på någon av stationerna, medan PBDE-47, PBDE-99 och DekaBDE kunde detekteras på samtliga stationer utmed kusten (figur 7:8).

Tabell 7:10. Koncentrationen (µg/kg ts) av polybromerade difenyletrar i blåstång (*Fucus vesiculosus*) utmed Bohuskusten 2001.

The concentration (µg/kg dw) of polybrominated diphenylethers in bladder wrack (Fucus vesiculosus) along the Bohus Coast in 2001.

Station	År	PBDE-47 µg/kg ts	PBDE-100 µg/kg ts	PBDE-99 µg/kg ts	PBDE-85 µg/kg ts	PBDE-154 µg/kg ts	PBDE-153 µg/kg ts	PBDE-138 µg/kg ts	DekaBDE µg/kg ts
4	2001	0,35	<0,05	0,27	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	0,63
10	2001	0,32	<0,05	0,27	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	0,54
11	2001	0,24	0,10	0,63	<0,05	0,079	0,074	<0,05	<0,1
12a	2001	0,21	0,077	0,49	<0,05	0,068	0,062	<0,05	2,4
12	2001	0,18	0,065	0,34	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	0,15
13	2001	0,26	0,11	0,71	<0,05	0,068	0,076	<0,05	0,13
16	2001	0,14	<0,05	0,18	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	0,14
17	2001	0,22	0,061	0,39	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	0,23

Tabell 7:11. Spridning och medelvärden (µg/kg ts) för polybromerade difenyletrar i blåstång (*Fucus vesiculosus*) utmed Bohuskusten 2001.

Range and means (µg/kg dw) of polybrominated diphenylethers in bladder wrack (Fucus vesiculosus) along the Bohus Coast in 2001.

Blåstång	År	Antal stationer n	Intervall µg/kg ts	Medelvärde µg/kg ts	Medianvärde µg/kg ts	Standardavvikelse µg/kg ts
PBDE-47	2001	8	0,14–0,35	0,24	0,23	0,069
PBDE-100	2001	8	<0,05–0,11	0,070	0,063	0,023
PBDE-99	2001	8	0,18–0,71	0,41	0,37	0,19
PBDE-85	2001	8	<0,05	-	-	-
PBDE-154	2001	8	<0,05–0,079	0,058	<0,05	0,012
PBDE-153	2001	8	<0,05–0,076	0,058	<0,05	0,011
PBDE-138	2001	8	<0,05	-	-	-
DekaBDE	2001	8	<0,1–2,4	0,54	0,19	0,78

Övriga polybromerade difenyletrar (PBDE-100, PBDE-154 och PBDE-153) kunde endast detekteras på stationerna 11 (Kungsviken i Koljöfjorden), 12a (inre Gullmaren) och 13 (Brofjorden) samt i vissa fall på stationerna 12 (yttre Gullmaren) och 17 (Kungshamn).

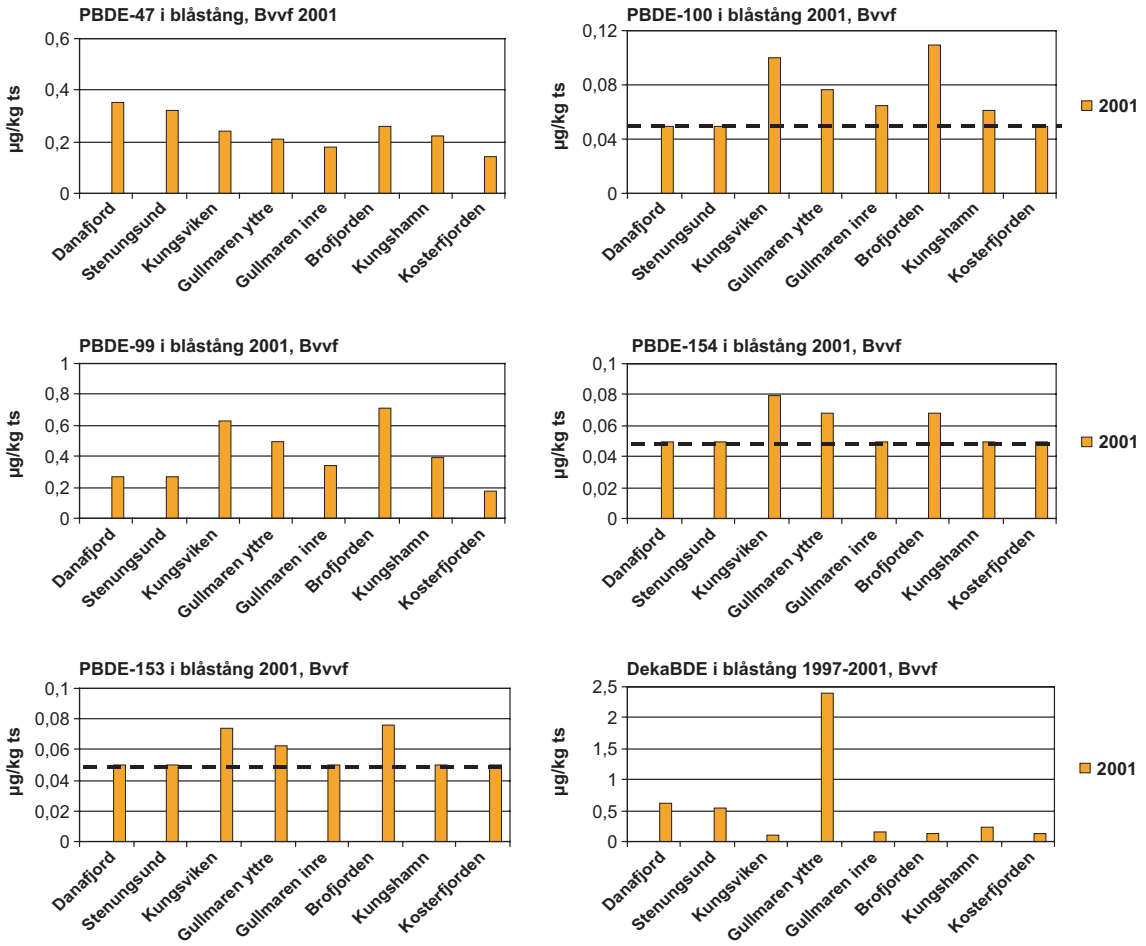
De högsta halterna av PBDE-47 förekom i Danafjord och vid Stenungsund medan övriga PBDE (DekaBDE undantaget) var högst i Brofjorden och Kungsviken (Koljefjorden). DekaBDE däremot var högst i yttre Gullmaren där halterna låg mer än fem gånger högre än på övriga stationer utmed Bohuskusten (figur 7:8). Svenska bedömningsgrunder saknas för PBDE i blåstång.

Ingen utvecklingstrend har varit möjlig att påvisa till följd av avsaknad av data från tidigare år. Svenska bedömningsgrunder för PBDE i blåstång saknas.

7.4.1.5 TRENDANALYSER FÖR BLÅSTÅNG

I de föregående avsnitten har presentationen av analysresultaten för blåstång främst varit inriktad på att presentera den stationsvisa koncentrationsförändringen över tiden av respektive undersökt ämne/substans, samt att med hjälp av medel- och medianvärdesförändringen för samma period ge en generell bild av utvecklingen utmed Bohuskusten.

Sannolikheten för att de ovan beskrivna medelvärdesförändringarna är reella har dessutom testas statistiskt (enl. Fowler & Cohen 1996) med hjälp av s.k. t-test med (n–1) frihetsgrader för matchade datapar (dvs. data från samma stationer men härrörande från olika år i detta fall 1992, 1997 och 2001). Härigenom har den statistiska sannolikheten (*p*) för respektive medelvärdesförändring kunnat fastläggas.



Figur 7:8. Koncentrationen av några polybromerade difenyletrar (µg/kg ts) i blåstång (*Fucus vesiculosus*) på respektive station utmed Bohuskusten 2001. Streckad linje = detektionsgräns.

The concentration of some polybrominated diphenylethers (µg/kg dw) in kelp (Fucus vesiculosus) at each station along the Bohus Coast in 2001 respectively. Broken line = detection limit.

Testen omfattar dels en matchning där 1992 och 1997 års data ställts mot varandra, dels motsvarande för 1997 och 2001 års data samt för 1992 och 2001 års data. Dessa s.k. trendanalyser ger med större eller mindre sannolikhet svar på hur säker en observerad förändring över tiden (trend) är.

Trenderna för blåstång illustreras översiktligt i figur 7:9 där också den procentuella förändringen mellan åren anges. Pilarna visar om medelkoncentrationen för respektive ämne ökat, minskat eller är oförändrad. Resultaten av testen för matchade datapar visas med olika färger för olika sannolikhetsnivåer. Förändringar under 10 % betraktas inte som statistiskt signifikanta mot bakgrund av reproducerbarheten av ett prov i det kemiska analysarbetet.

Testen visar att med mellan 95 % och 99 % sannolikhet har halterna av koppar (Cu), kvicksilver (Hg), och vanadin (V) minskat med 33 %, 91 % respektive 80 %, medan sannolikheten för att halterna av arsenik (As), kadmium (Cd), nickel (Ni) och zink (Zn) minskat med mellan 31 och 63 % ligger mellan 90 och 95 %, dvs. något lägre.

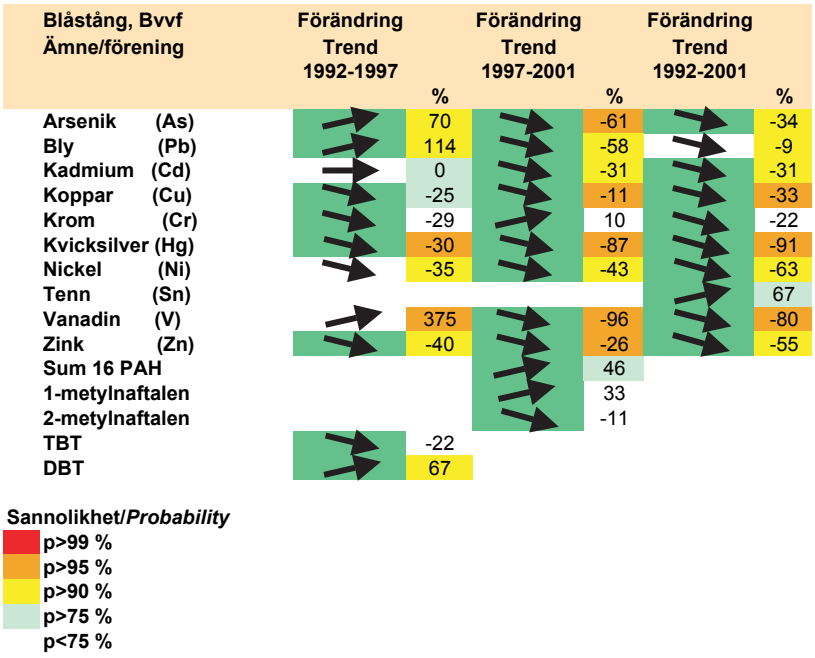
Sannolikheten för att tennhalten (Sn) skall ha ökat med 67 % under samma period ligger mellan 75 % och 90 %, dvs. ännu lägre och därmed är trenden mer osäker.

Trenderna för perioderna 1992-1997 respektive 1997–2001 är de samma som för hela perioden 1992–2001. Enda undantag utgör vanadin (V) och krom (Cr) som ökade under den första respektive den andra perioden samt TBT som minskade något mellan 1992 och 1997. Sannolikheten för förändringarna under dessa perioder av metylnaftalener, Cr och TBT är dock mindre än 75 %.

Mellan 1998 och 2001 har med 75–90 % sannolikhet PAH-halterna i genomsnitt ökat med 46 %.

Trender under 10 % ligger inom felmariginalen. Data för Sn, PAH, och metylnaftalener saknas för vissa år. DBT och TBT låg under detektionsgränsen 2001, varför inga trender efter 1997 varit möjliga att påvisa.

Det skall dock understrykas att dataunderlaget för medelvärdesförändringarna utmed Bohuskusten är litet för åren 1992 och 1997, fyra respektive fem stationer, vilket innebär att resultaten mer skall betraktas som indikationer på åt vilket håll förändringarna går.



Figur 7:9. Sammanställning över förändringen av medelvärdeskoncentrationen för några ämnen och föreningar i Blåstång utmed Bohuskustens mellan 1992 och 2001. Nedåtriktad pil betyder minskad halt och uppåtriktad pil ökad halt. Grönmarkerade fält markerar förändringar som är större än de minst 10 % som baserat på reproducerbarheten vid den kemiska analysen krävs för att en förändring med säkerhet skall kunna bedömas.

Compilation of the changes of the average concentrations of some elements and compounds between 1992 and 2001 in bladder wrack from the Bohus Coast. Arrow pointed downwards implies decreasing concentration and arrow pointed upwards implies increasing concentration. Green areas mark changes bigger than the minimum of 10 % due to the precision of chemical analyses .

7.4.2 MILJÖGIFTER I TÅNGLAKE

Analysresultaten från 1993, 1998 och 2001 års undersökningar av tånglake redovisas i tabellerna 7:13–7:19. Den första undersökningsomgången omfattade ett betydligt större antal föreningar än i den senare omgångarna, vilket bl.a. förklaras av att flertalet eller alla föreningar i vissa ämnesgrupper inte kunde påvisas eller låg under eller mycket nära detektionsgränsen vid det första undersökningstillfället 1993. Analyser av dessa föreningar upprepades därför inte vid 1998 och 2001 års undersökningar. Vilka specifika ämnen det gäller framgår av tabell 7:12.

Tånglake, *Zoarces viviparus*, (Ursing 1956).

Tabell 7:12. Analyserade miljögifter i tånglake (*Zoarces viviparus*) från Bohuskusten 1993, 1998 och 2001. Stjärna (*) markerar vad som analyserats respektive år.

Toxic elemenst and substances analysed in eel-pout (Zoarces viviparus) collected at the Bohus Coast in 1993, 1998 and 2001. Asterisk (*) marks type of analyses carried out respective year.

Ämnesgrupper analyserade i tånglake	Specifikation	1993	1998	2001
Metaller	Al, As, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Sn, V, Zn,	*	*	*
Organiska tennföreningar	dibutyl Sn, tributyl Sn	*	*	
Extraherbart org. klor o brom	EOX, EOCl, EPOCl, EOBr, EPOBr	*		
Polycykl. aromatiska kolväten	16 PAH	*	*	*
Metylnaftalener	2-metylnaftalen, 1-metylnaftalen		*	*
Polyklorerade bifenyler	Dutch 7 PCB, tot PCB	*	*	*
Polybromerade difenyletrar	7 st PBDE, DekaBDE			*
Diklordifenyltrikloretan	p,p-DDT, p,p-DDE. p,p-DDD, o,p-DDT	*		
Hexaklorbensen	HCB	*		
Klorerade aromater	7 klorbensener	*		
Halogenerade alifater	10 halogenerade alifater	*		
Monocykliska aromater	6 monocykliska aromater	*		
Ftalater	6 ftalater	*		
Fenoler	12 klorerade -, 5 icke klorerade fenoler	*		

Tånglake fångades 1993 på stationerna 2, 4, 10, 12, 13 och 16 och 1998 och 2001 på stationerna 4, 10, 13, 16 och 17. Detta innebär att stationsvisa jämförelsedata inte finns för alla stationer (2 och 12). Detta gäller också för de ämnesgrupper som enbart analyserats vid ett enda undersökningstillfälle.

För de metaller och organiska föreningar som analyserats vid båda undersökningstillfällena på en och samma station (4, 10, 13, 16 och 17) har det varit möjligt att studera koncentrationsförändringarna i tånglakefilé mellan 1993, 1998 och 2001.

7.4.2.1 Tungmetaller

Analysresultaten från de tre undersökningstillfällena 1993, 1998 och 2001 redovisas för respektive station i tabell 7:13. I tabell 7:14 redovisas medelvärden, medianvärden, standardavvikelse och spridning för respektive metall och år. Halten av tenn (Sn) låg såväl 1993 som 1998 under detektionsgränsen (0,5 mg/kg ts) på samtliga stationer. Detsamma gällde för kadmium (Cd) 1998 och vanadin 1998. I dessa fall låg detektionsgränsen på 0,02 respektive 0,05 mg/kg ts. Vid 2001 års undersökningar kunde samtliga metaller utom kadmium detekteras. Detektionsgränsen för kadmium låg då så lågt som 0,002 mg/kg ts. Korrektheten i halterna för As från 1993 måste ifrågasättas.

Resultatet av trendanalysen illustreras i diagrammen i figur 7:10a och b. Dessa visar på en kraftig ökning av arsenik (As) och krom (Cr) samt en måttlig ökning av tenn (Sn) i tånglake på samtliga stationer mellan 1997 och 2001. Koppar (Cu), nickel (Ni), bly (Pb), vanadin (V) och zink (Zn) däremot har minskat på samtliga stationer under samma period och i vissa fall från 1993.

Mellan 1993 och 1998 minskade halten av kvicksilver (Hg) på station 4 (Danafjord) för att sedan inte nämnvärt förändras mellan 1998 och 2001. Även i Stenungsund är halten oförändrad sedan 1998. På övriga

stationer låg halterna under en relativt hög detektionsgräns 1993 och 1998, varför ingen absolut jämförelse kan göras med 2001 års låga halter. Förhållandet är detsamma för kadmium (Cd), dock med den skillnaden att halterna 2001 låg under en betydligt lägre detektionsgräns. Detektionsgränserna för Cd 1993 och 2001 representeras av staplarna i Cd-diagrammet i figur 10a.

Den sammanlagda trenden tyder på en generell och ofta successiv minskning av koncentrationen för flera metaller (Cu, Ni, Pb, V och Zn) sedan 1993. Sannolikt kan Hg också räknas dit, medan osäkerhet råder för Cd. Tenn och krom däremot har ökat sedan 1998. Orsaken till de ökade kromhalterna kan vara skillnader i analysmetodik mellan de olika åren, medan de ökade tennhalterna kan vara en effekt av båtbottenfärger.

Vid en jämförelse mellan stationerna kan konstateras att belastningen varierar dem emellan beroende på vilken metall som avses. Danafjord uppvisar dock de högsta halterna av Hg, Sn och Zn.

Enligt svenska bedömningsgrunder för miljökvalitet i kust och hav (Naturvårdsverket 1999) visar analysresultaten från undersökningarna av tånglake attmed avseende på As 2001 är kvaliteten mycket dålig (klass 5) utmed Bohuskusten från Danafjord i söder och vidare norrut till Kosterfjorden (figur 7:11). Med några få undantag är kvaliteten bra till mindre bra (klasserna 1–3) med avseende på övriga metaller (Cd, Cu, Ni, Pb). Kvicksilver utgör dock ett troligt undantag (osäkerhet p.g.a. de före 2001 högre detektionsgränserna.

Bedömingsgrunder för Hg finns enbart för tånglake från Östersjön. Dessa bedömningsgrunder har här applicerats på västkustmaterialet. Resultatet visar att miljökvaliteten med avseende på Hg dålig till mycket dålig (klasserna 3–5). Svenska bedömningsgrunder saknas för vissa metaller.

I allmänhet har miljökvaliteten i tånglake med avseende på tungmetaller förbättrats från 1993 till 2001. Enda undantag utgör As, där en tydlig (men osäker, se ovan) försämring kan noteras (figur 7:11).

Tabell 7:13. Koncentrationen (mg/kg ts) av tungmetaller i tånglake (Zoarces viviparus) utmed Bohuskusten 1993–2001. Streck (-) = ej analyserat.

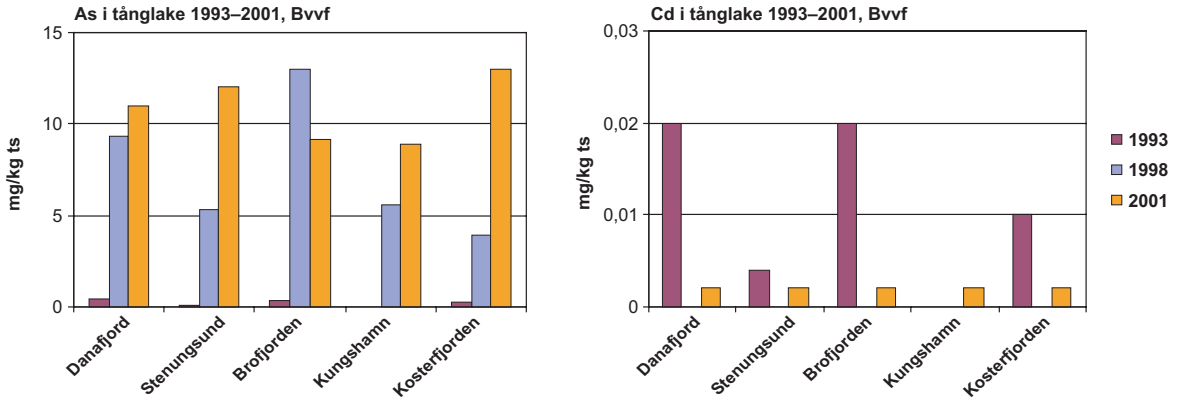
The concentration (mg/kg dw) of heavy metals in eel-pout (Zoarces viviparus) along the Bohus Coast in 1993–2001. Line (-) = not analysed.

Station	År	Al mg/kg ts	As mg/kg ts	Cd mg/kg ts	Cr mg/kg ts	Cu mg/kg ts	Hg mg/kg ts	Mn mg/kg ts	Ni mg/kg ts	Pb mg/kg ts	Sn mg/kg ts	V mg/kg ts	Zn mg/kg ts
2	1993	1,33	0,27	0,03	0,27	7,11	0,8	-	0,36	0,13	<0,4	2	57,8
	1998	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4	1993	1,55	0,45	0,02	0,41	3,64	0,55	-	0,64	0,27	<0,5	1,5	54,6
	1998	-	9,3	<0,03	0,10	1,8	0,28	-	1,7	0,06	<0,49	<0,49	59
	2001	-	11	<0,002	0,24	0,96	0,31	0,28	0,081	0,039	1,3	0,031	57
10	1993	0,83	0,13	0,004	0,22	1,66	<0,44	-	0,31	0,13	<0,4	1,13	52,4
	1998	-	5,3	<0,02	0,53	2,8	0,11	-	3,7	<0,05	<0,48	<0,48	58
	2001	-	12	<0,002	1,2	0,81	0,12	0,77	0,081	<0,043	0,62	0,35	39
12	1993	4,52	0,27	0,009	0,22	0,63	<0,45	-	0,41	0,23	<0,5	1,72	49,8
	1998	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	2001	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
13	1993	4,06	0,31	0,02	0,42	1,14	<0,52	-	1,95	0,63	<0,5	1,98	67,7
	1998	-	13	<0,02	0,14	1,2	<0,10	-	2,3	0,06	<0,49	<0,49	56
	2001	-	9,2	<0,002	1,1	0,66	0,075	0,88	0,34	<0,04	0,62	0,3	49
16	1993	3,03	0,28	0,01	0,28	0,79	<0,47	-	1	0,37	<0,5	1,59	60,7
	1998	-	3,9	<0,02	0,31	4,1	<0,09	-	4,6	0,10	<0,46	<0,46	53
	2001	-	13	<0,002	1,1	0,69	0,091	0,27	0,069	<0,042	0,53	0,31	46
17	1993	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	1998	-	5,6	<0,02	0,31	1,2	<0,09	-	2,2	0,07	<0,47	<0,47	54
	2001	-	8,9	<0,002	0,95	0,54	0,095	0,39	0,043	<0,045	0,54	0,26	50

Tabell 7:14. Spridning och medelvärden (mg/kg ts) för metaller och tennorganiska föreningar i tånglake (*Zoarces viviparus*) utmed Bohuskusten 1993–2001.

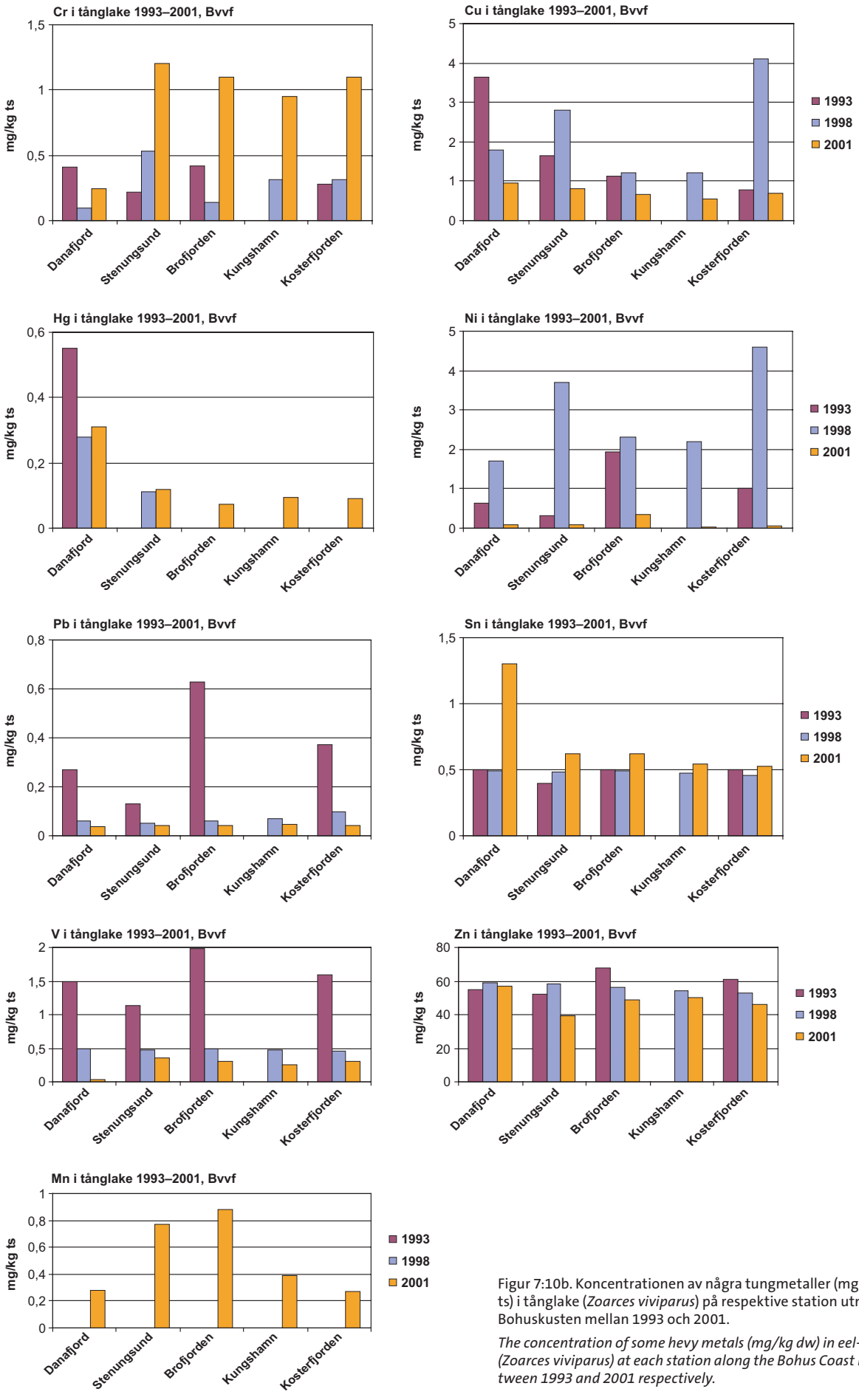
Range and means (mg/kg dw) of metals and organic tin compounds in eel-pout (Zoarces viviparus) along the Bohus Coast in 1993–2001.

Tånglake	År	Antal stationer n	Intervall mg/kg ts	Medelvärde mg/kg ts	Medianvärde mg/kg ts	Standardavvikelse mg/kg ts
Al	1993	6	0,83–4,5	2,6	2,3	1,5
As	1993	6	0,13–0,45	0,29	0,28	0,1
	1998	5	3,9–13	7,5	5,6	3,7
	2001	5	8,9–13	10,8	11	1,8
Cd	1993	6	0,004–0,03	0,016	0,015	0,0095
	1998	5	<0,02	–	–	–
	2001	5	<0,002	–	–	–
Cr	1993	6	0,22–0,42	0,3	0,28	0,09
	1998	5	0,1–0,53	0,28	0,31	0,17
	2001	5	0,24–1,2	0,92	1,1	0,39
Cu	1993	6	0,63–7,1	2,5	1,4	2,5
	1998	5	1,2–4,1	2,2	1,8	1,2
	2001	5	0,54–0,96	0,73	0,69	0,16
Hg	1993	6	<0,44–0,8	0,54	0,5	0,13
	1998	5	<0,09–0,28	0,13	0,1	0,082
	2001	5	0,075–0,31	0,14	0,095	0,097
Mn	2001	5	0,27–0,88	0,52	0,39	0,29
Ni	1993	6	0,31–2	0,78	0,53	0,63
	1998	5	1,7–4,6	2,9	2,3	1,2
	2001	5	0,043–0,34	0,12	0,081	0,12
Pb	1993	6	0,23–0,63	0,29	0,25	0,19
	1998	5	<0,05–0,1	0,068	0,06	0,019
	2001	5	0,039–0,045	0,042	0,042	0,0024
Sn	1993	6	<0,4	–	–	–
	1998	5	<0,46	–	–	–
	2001	5	0,53–1,3	0,72	0,62	0,33
V	1993	6	1,1–2	1,7	1,7	0,33
	1998	5	<0,46	–	–	–
	2001	5	0,031–0,35	0,25	0,3	0,13
Zn	1993	6	50–68	57	56	6,5
	1998	5	53–59	56	56	2,5
	2001	5	39–57	48	49	6,5



Figur 7:10a. Koncentrationen av några tungmetaller (mg/kg ts) i tånglake (*Zoarces viviparus*) på respektive station utmed Bohuskusten mellan 1993 och 2001.

The concentration of some hevy metals (mg/kg dw) in eel-pout (Zoarces viviparus) at each station along the Bohus Coast between1993 and 2001 respectively.



Figur 7:10b. Koncentrationen av några tungmetaller (mg/kg ts) i tånglake (*Zoarces viviparus*) på respektive station utmed Bohuskusten mellan 1993 och 2001.

The concentration of some hevy metals (mg/kg dw) in eel-pout (Zoarces viviparus) at each station along the Bohus Coast between 1993 and 2001 respectively.

Tånglake	As			Cd			Cu		
	mg/kg 1993	mg/kg 1998	mg/kg 2001	mg/kg 1993	mg/kg 1998	mg/kg 2001	mg/kg 1993	mg/kg 1998	mg/kg 2001
Danafjord	0,45	9,3	11	0,02	<0,03	<0,002	3,64	1,8	0,96
Stenungsund	0,13	5,3	12	0,004	<0,02	<0,002	1,66	2,8	0,81
Brofjorden	0,31	13	9,2	0,02	<0,02	<0,002	1,14	1,2	0,66
Kungshamn		5,6	8,9		<0,02	<0,002		1,2	0,54
Kosterfjorden	0,28	3,9	13	0,01	<0,02	<0,002	0,79	4,1	0,69

	Hg*			Ni			Pb		
	mg/kg 1993	mg/kg 1998	mg/kg 2001	mg/kg 1993	mg/kg 1998	mg/kg 2001	mg/kg 1993	mg/kg 1998	mg/kg 2001
Danafjord	0,55	0,28	0,31	0,64	1,7	0,081	0,27	0,06	0,039
Stenungsund	<0,44	0,11	0,12	0,31	3,7	0,081	0,13	<0,05	<0,043
Brofjorden	<0,52	<0,1	0,075	1,95	2,3	0,34	0,63	0,06	<0,04
Kungshamn		<0,09	0,095		2,2	0,043		0,07	<0,045
Kosterfjorden	<0,47	<0,09	0,091	1	4,6	0,069	0,37	0,10	<0,042

Bedömningsgrunder enl. Naturvårdsverket (1999)	Avvikelse från jämförvärdet
Klass 1	Ingen/obetydlig avvikelse
Klass 2	Liten avvikelse
Klass 3	Tydlig avvikelse
Klass 4	Stor avvikelse
Klass 5	Mycket stor avvikelse

Figur 7:11. Tånglakens (*Zoarces viviparus*) miljökvalitet utmed Bohuskusten 1993–2001 med avseende på metallinnehåll. Klassning enligt svenska bedömningsgrunder (Naturvårdsverket 1999). * = kriterier för tånglake i Östersjön.

*The environmental quality of the eel-pout (Zoarces viviparus) along the Bohus Coast with respect to the metal content 1993–2001. Classification according to Swedish Environmental Quality Criteria (Naturvårdsverket 1999). * = criteria for Baltic eel-pout.*

7.4.2.2 Metylnaftalen och polycykliska aromatiska kolväten

Analysresultaten över metylnaftalener och polycykliska aromatiska kolväten (PAH) i tånglake från 2001 redovisas jämte motsvarande data från 1998 i tabell 7:15. I tabell 7:16 redovisas medelvärden, medianvärden, standardavvikelse och spridning för respektive förening och år.

Inga polyaromatiska kolväten (PAH) kunde påvisas i tånglake 1993. Detektionsgränsen låg mellan 5 och 20 µg/kg ts. Vid 1998 års undersökningar låg detektionsgränsen lägre (2–5 µg/kg ts) vilket resulterade i att naftalen, 2-metylnaftalen, 1-metylnaftalen, fluoren, fenantren, fluoranten och pyren kunde påvisas i små mängder 1997. Vid 2001 års undersökningar kunde två bicykliska föreningar (naftalen och 1-metylnaftalen) påvisas, men därutöver endast acenaften och fluoren. De högsta halterna för de detekterade föreningarna naftalen, 1-metylnaftalen och fluoren återfanns i tånglake från Kosterfjorden, medan halten av acenaft var högst vid Stenungsund.

Koncentrationsförändringarna mellan 1998 och 2001 illustreras i figurerna 7:12 och 7:13 för 1-metylnaftalen respektive övriga polycykliska aromatiska föreningar som detekterats vid endera av de två undersökningstillfällena.

Halterna av 1-metylnaftalen, fluoren och fenantren har minskat i tånglake i såväl Kungshamn som Kosterfjorden och även fluoranten i det senare området mellan 1998 och 2001. Halten av naftalen har minskat på samtliga stationer.

Fluoren däremot har ökat i Danafjord, Stenungsund och Brofjorden. Sammantaget har dock halterna för summan av de 5 PAH som identifierats minskat kraftigt i Brofjorden, Kungshamn och Kosterfjorden medan förändringarna är små i Danafjord och Stenungsund.

Svenska bedömningsgrunder för PAH i tånglake saknas.

Tabell 7:15. Koncentrationen (µg/kg ts) av metylnaftalener och polycykliska aromatiska kolväten i tånglake (*Zoarces viviparus*) utmed Bohuskusten 1998–2001.

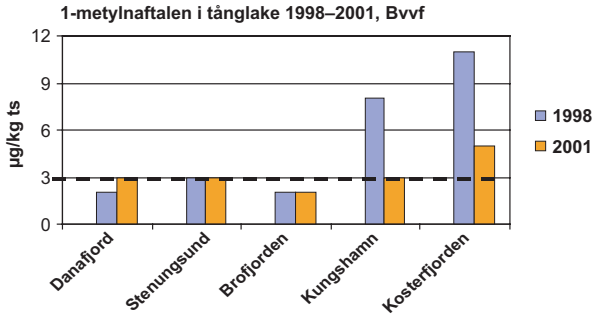
The concentration (µg/kg dw) of methylnaphtalenes and polycyclic aromatic hydrocarbons in eel-pout (Zoarces viviparus) along the Bohus Coast in 1998–2001.

Tånglake µg/kg ts	**År**	**4**	**10**	**13**	**16**	**17**
Naftalen	1998	5	21	73	56	21
	2001	<10	10	10	14	11
Acenaftylen	2001	<2	<2	<2	<2	<2
Acenaften	2001	<2	5,5	<2	4	<2
Fluoren	1998	2	1	1	6	5
	2001	2,4	2,9	2,6	4,2	2,6
Fenantren	1998	6	5	7	11	19
	2001	<10	<10	<10	<10	<10
Antracen	1998	<1	<1	<1	<1	<1
	2001	<2	<2	<2	<2	<2
Fluoranten	1998	2	3	4	<1	7
	2001	<2	<2	<2	<2	<2
Pyren	1998	2	<1	1	<1	2
	2001	<2	<2	<2	<2	<2
Benso(a)antracen	2001	<2	<2	<2	<2	<2
Krysen/Trifenylen	2001	<2	<2	<2	<2	<2
Benso(b)fluoranten	2001	<2	<2	<2	<2	<2
Benso(k)fluoranten	2001	<2	<2	<2	<2	<2
Benso(a)pyren	2001	<2	<2	<2	<2	<2
Indeno(1,2,3-cd)peylen	2001	<2	<2	<2	<2	<2
Benso(g,h,i)perylen	2001	<2	<2	<2	<2	<2
Dibenso(a,h)antracen	2001	<2	<2	<2	<2	<2
Sum 5 PAH	1998	12	9	13	15	33
	2001	12	13	13	18	14
Sum 16 PAH	**2001**	**26**	**27**	**27**	**32**	**28**
2-metylnaftalen	1998	4	2	2	6	11
	2001	<1	<1	<1	<1	<1
1-metylnaftalen	1998	2	3	2	11	8
	2001	<3	3	<2	<3	<5

Tabell 7:16. Spridning och medelvärden (µg/kg ts) för bicykliska och polyaromatiska kolväteföreningar (PAHer) i tånglake (*Zoarces viviparus*) utmed Bohuskusten 1998–2001.

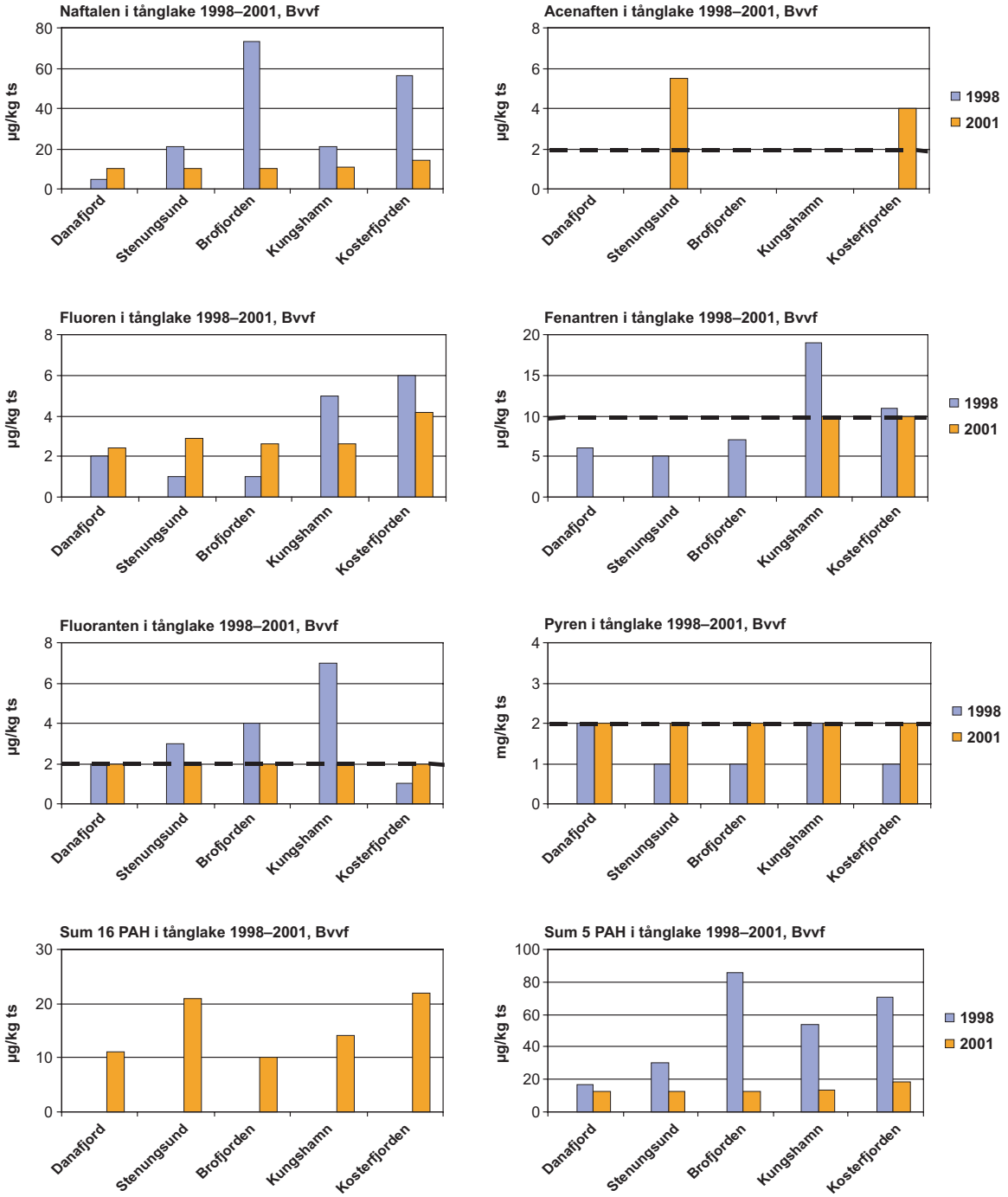
Range and means (µg/kg dw) of bicyclic and polyaromatic hydrocarbones (PAHs) in eel-pout (Zoarces viviparus) along the Bohus Coast in 1998–2001.

Tånglake	**År**	**Antal stationer n**	**Intervall µg/kg ts**	**Medelvärde µg/kg ts**	**Medianvärde µg/kg ts**	**Standardavvikelse µg/kg ts**
Naftalen	1998	5	5–73	35	21	28
	2001	5	<10–14	11	10	1,7
Acenaftylen	2001	5	<2	–	–	–
Acenaften	2001	5	<2–5,5	3	<2	1,6
Fluoren	2001	5	<2	–	–	–
Fenantren	1998	5	5–19	9,6	7	5,7
	2001	5	<10	–	–	–
Antracen	1998	5	<2	–	–	–
	2001	5	<2	–	–	–
Fluoranten	1998	5	<1–7	3,4	3	2,3
	2001	5	<2	–	–	–
Pyren	1998	5	<1–2	1,4	1	0,55
	2001	5	<2	–	–	–
Benso(a)antracen	2001	5	<2	–	–	–
Krysen/Trifenylen	2001	5	<2	–	–	–
Benso(b)fluoranten	2001	5	<2	–	–	–
Benso(k)fluoranten	2001	5	<2	–	–	–
Benso(a)pyren	2001	5	<2	–	–	–
Indeno(1,2,3-cd)peylen	2001	5	<2	–	–	–
Benso(g,h,i)perylen	2001	5	<2	–	–	–
Dibenso(a,h)antracen	2001	5	<2	–	–	–
Sum 5 PAH	1998	5	9–33	16	13	9,5
	2001	5	12–18	14	13	2,4
Sum 16 PAH	**2001**	**5**	**<10–22**	**16**	**14**	**5,6**
2-metylnaftalen	1998	5	2–11	5	4	3,7
	2001	5	<10	–	–	–
1-metylnaftalen	1998	5	2–11	5,2	3	4
	2001	5	2–5	3,2	3	1



Figur 7:12. Koncentrationen av 1-metylnaftalen (µg/kg ts) i tånglake (*Zoarces viviparus*) på respektive station utmed Bohuskusten mellan 1998 och 2001. Streckad linje = detektionsgränsen 2001.

The concentration of 1-methylnaphtalene (µg/kg dw) in eel-pout (Zoarces viviparus) at each station along the Bohus Coast betwwen 1998 and 2001 respectively. Broken line = detection limit in 2001.



Figur 7:13. Koncentrationen av några polycykliska aromatiska kolväten (µg/kg ts) i tånglake (*Zoarces viviparus*) på respektive station utmed Bohuskusten mellan 1998 och 2001. Streckad linje = detektionsgränsen 2001.

The concentration of some polycyclic aromatic hydrocarbons (µg/kg dw) in eel-pout (Zoarces viviparus) at each station along the Bohus Coast betwwen 1998 and 2001 respectively. Broken line = detection limit in 2001.

7.4.2.3 Polyklorerade bifenyler

Sju polyklorerade bifenyler (Dutch 7 PCB) samt total PCB (som Aroclor) analyserades i tånglake 2001. Analysresultaten redovisas i tabell 7:17 tillsammans med motsvarande data från 1993 och 1998 års undersökningar. I tabell 7:18 redovisas medelvärden, medianvärden, standardavvikelse och spridning för respektive förening. Av de studerade PCB-erna kunde inte kongenerna PCB 28 och PCB 52 påvisas i halter över detektionsgränsen 1993 och 1998 med undantag för station 4 (Danafjord) 1998. Vid 2001 års undersökningar var förhållandena desamma dock med den skillnaden att den enda station där dessa två kongener kunde detekteras var station 10 (Stenungsund). Övriga kongener (PCB 101, PCB 118, PCB 153, PCB 138 och PCB 180) kunde påvisas på samtliga stationer vid alla tre undersökningstillfällena med undantag för PCB 101 och PCB 180 på fyra respektive tre stationer (4, 10, 12 och 16) 1993.

Av diagrammen i figurerna 7:14a–b framgår att halterna av detekterade PCB-kongener, ∑7 PCB och total-PCB sjönk i tånglake mellan 1993 och 1998 för att sedan öka till en nivå år 2001 som ligger över nivån från 1998. Enda undantag är Danafjord som uppvisar en omvänd trend där halterna först ökade mellan 1993 och 1998 för att därefter minska fram till 2001. I sedimenten har halten PCB successivt sjunkit mellan 1990 och 2000, dvs. i sedimenten är trenden den omvända (se del 2 denna volym).

Baserat på ∑7 PCB har halterna ökat med 110 % sedan 1998 och med 68 % sedan 1993. Svenska bedömningsgrunder saknas för PCB i tånglake.

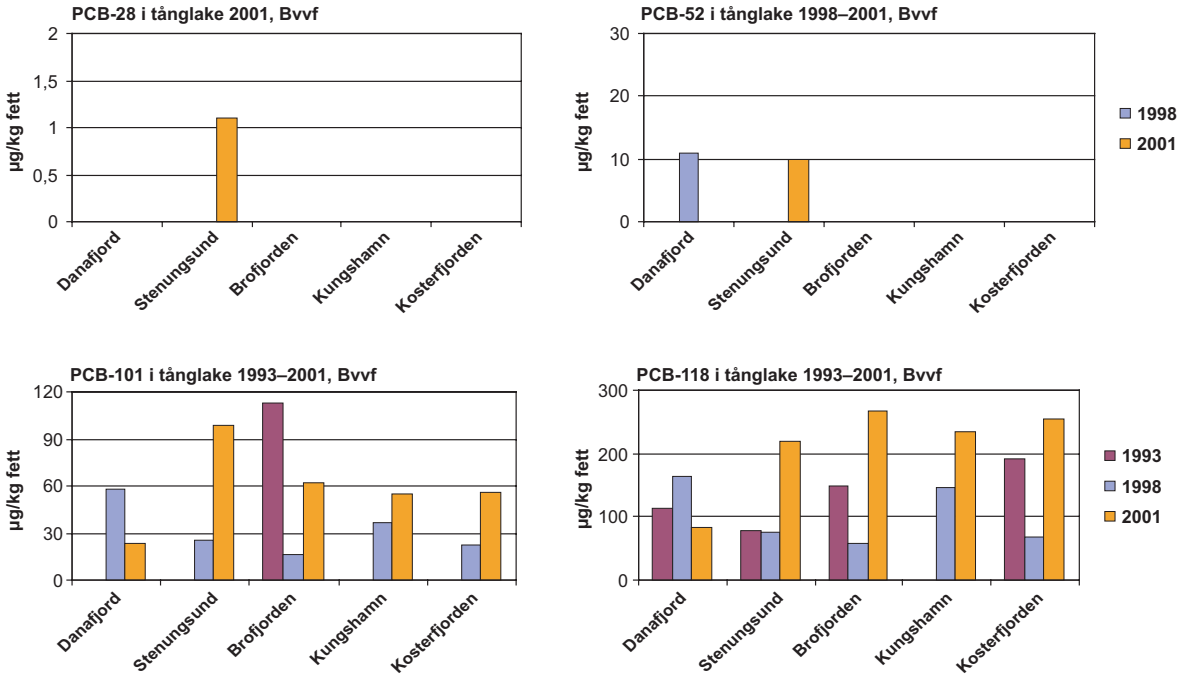
Tabell 7:17. Koncentrationen (µg/kg fett) av PCBer i tånglake (*Zoarces viviparus*) utmed Bohuskusten 1993–2001.
The concentration (µg/kg fat) of PCBs in eel-pout (Zoarces viviparus) along the Bohus Coast in 1993–2001.

Station	År	PCB 28 µg/kg fett	PCB 52 µg/kg fett	PCB 101 µg/kg fett	PCB 118 µg/kg fett	PCB 138 µg/kg fett	PCB 153 µg/kg fett	PCB 180 µg/kg fett	Sum 7 PCB µg/kg fett	Sum PCB som aroklor 1254 µg/kg fett
2	1993	<57	<57	75	126	299	425	98	1024	-
	1998	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	2001	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4	1993	<46	<46	<46	113	203	242	71	629	-
	1998	<10	11	58	165	311	350	107	1010	3530
	2001	<5,3	<5,3	23,7	84,2	158	258	63,2	579	1947
10	1993	<71	<71	<71	77	114	120	<71	311	-
	1998	<8	<8	25	76	109	126	34	380	1330
	2001	1,1	10	99	220	330	510	130	1300	4600
12	1993	<64	<64	<64	<64	138	150	<64	288	-
	1998	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	2001	-	-	-	-	-	-	-	-	-
13	1993	<74	<74	113	148	228	264	<74	754	-
	1998	<8	<8	16	57	89	106	24	300	1050
	2001	<23,3	<23,3	61,6	267	326	465	198	1279	4302
16	1993	<71	<71	<71	191	250	322	78	847	-
	1998	<8	<8	22	67	82	90	22	290	1.02
	2001	<9,1	<18,2	56,4	255	327	464	164	1182	4273
17	1993	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	1998	<7	<7	37	147	169	176	44	580	2030
	2001	<10,6	<10,6	55,3	234	277	436	128	1064	3723

Tabell 7:18. Spridning och medelvärden (µg/kg fett) för PCBer i tånglake (*Zoarces viviparus*) utmed Bohuskusten 1993 and 1998.

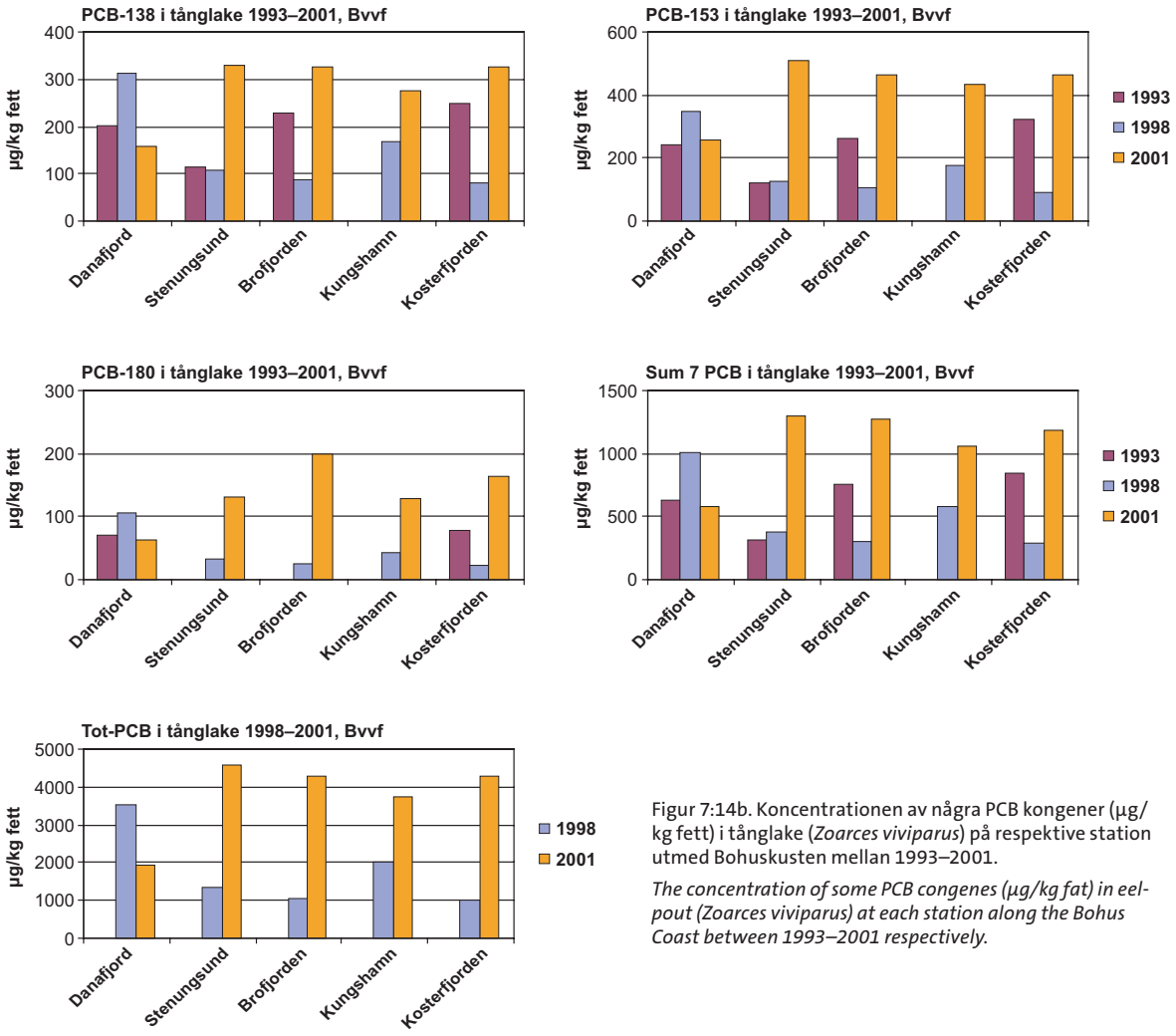
Range and means (µg/kg fat) of PCBs in eel-pout (Zoarces viviparus) along the Bohus Coast in 1993 and 1998.

Tånglake	År	Antal stationer n	Intervall µg/kg fett	Medelvärde µg/kg fett	Medianvärde µg/kg fett	standardavvikelse µg/kg fett
PCB 28	1993	6	<71	–	–	–
	1998	5	<10	–	–	–
	2001	5	<10	–	–	–
PCB 52	1993	6	<71	–	–	–
	1998	5	<8–11	8.4	8	1.5
	2001	5	<13	–	–	–
PCB 101	1993	6	<46–113	73	71	22
	1998	5	16–58	15	16	15
	2001	5	24–99	59	56	27
PCB 118	1993	6	<64–191	120	120	47
	1998	5	57–165	102	76	50
	2001	5	84–267	212	234	73
PCB 153	1993	6	120–425	254	253	112
	1998	5	90–350	170	126	106
	2001	5	258–510	427	464	98
PCB 138	1993	6	114–299	205	216	70
	1998	5	82–311	152	109	95
	2001	5	158–330	284	326	74
PCB 180	1993	6	<64–98	76	73	12
	1998	5	22–107	46	34	35
	2001	5	63–198	137	130	50
Sum 7 PCB	1993	6	288–1020	642	692	295
	1998	5	290–1010	512	380	302
	2001	5	579–1300	1081	1182	296
Tot PCB	2001	5	1947–4600	3769	4273	1067



Figur 7:14a. Koncentrationen av några PCB kongener (µg/kg fett) i tånglake (*Zoarces viviparus*) på respektive station utmed Bohuskusten mellan 1993 och 2001.

The concentration of some PCB congener (µg/kg fat) in eel-pout (Zoarces viviparus) at each station along the Bohus Coast between 1993 and 2001 respectively.



Figur 7:14b. Koncentrationen av några PCB kongener (µg/kg fett) i tånglake (*Zoarces viviparus*) på respektive station utmed Bohuskusten mellan 1993–2001.

The concentration of some PCB congenes (µg/kg fat) in eel-pout (Zoarces viviparus) at each station along the Bohus Coast between 1993–2001 respectively.

7.4.2.4 Polybromerade difenyletrar

Inom ramen för kustvattenkontrollen undersöktes polybromerade difenyletrar (PBDE) i tånglake för första gången 2001. Analysresultaten samt medel- och medianvärden redovisas i tabellerna 7:19 och 7:20. Av åtta undersökta kongener kunde fyra (PBDE-85 och PBDE-138, PBDE-153 och PBDE-154) inte påvisas på någon av stationerna, medan PBDE-100 och DekaBDE kunde detekteras på en station (Danafjord respektive Kungshamn). PBDE-47 och PBDE-99 kunde däremot påvisas på samtliga fem stationer utmed kusten (figur 7:15).

De högsta halterna av PBDE-47 förekom i Danafjord och vid Stenungsund medan övriga PBDE-99 var högst i Brofjorden.

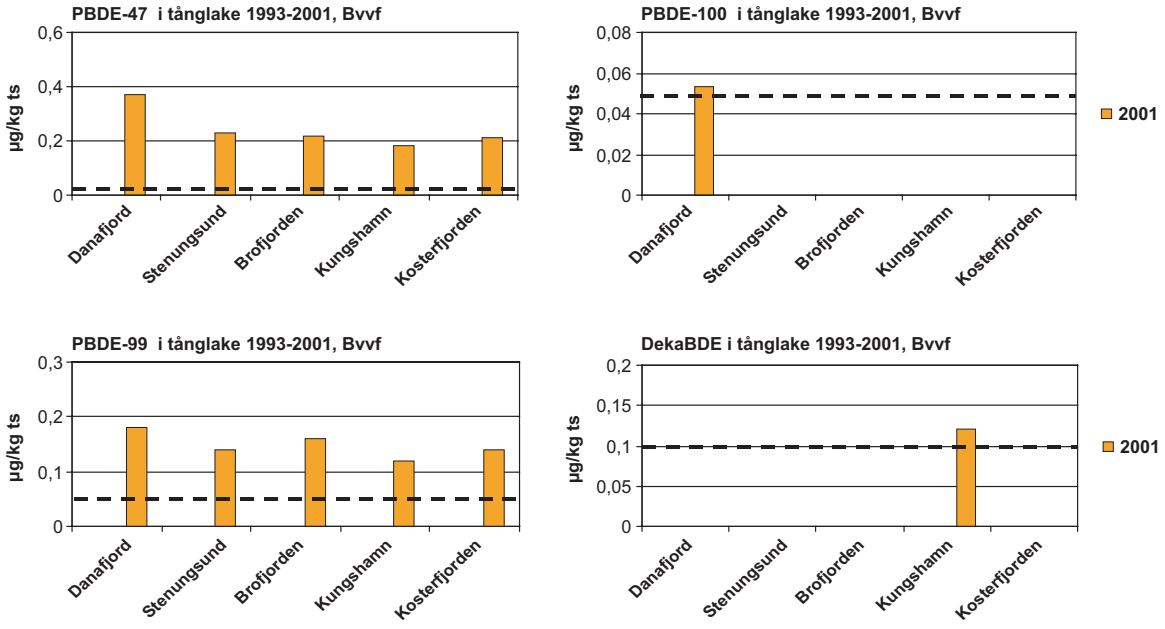
Ingen utvecklingstrend har varit möjlig att påvisa till följd av avsaknad av data från tidigare år. Svenska bedömningsgrunder för PBDE i tånglake saknas.

Tabell 7:19. Koncentrationen (µg/kg ts) av polybromerade difenyletrar i tånglake (Zoarces viviparus) utmed Bohuskusten 2001.
The concentration (mg/kg dw) of polybrominated diphenylethers in eel-pout (Zoarces viviparus) along the Bohus Coast in 2001.

Station	År	PBDE-47 µg/kg ts	PBDE-100 µg/kg ts	PBDE-99 µg/kg ts	PBDE-85 µg/kg ts	PBDE-154 µg/kg ts	PBDE-153 µg/kg ts	PBDE-138 µg/kg ts	DekaBDE µg/kg ts
4	2001	0,37	0,053	0,18	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,1
10	2001	0,23	<0,05	0,14	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,1
13	2001	0,22	<0,05	0,16	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,1
16	2001	0,21	<0,05	0,14	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,1
17	2001	0,18	<0,05	0,12	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	0,12

Tabell 7:20. Spridning och medelvärden (mg/kg ts) för polybromerade difenyletrar i tånglake (*Zoarces viviparus*) utmed Bohuskusten 2001.
Range and means (mg/kg dw) of polybrominated diphenylethers in eel-pout (Zoarces viviparus) along the Bohus Coast in 2001.

Blåstång	År	Antal stationer n	Intervall µg/kg ts	Medelvärde µg/kg ts	Medianvärde µg/kg ts	Standardavvikelse µg/kg ts
PBDE-47	2001	5	0,18–0,37	0,24	0,22	0,074
PBDE-100	2001	5	<0,05–0,053	0,051	<0,05	0,013
PBDE-99	2001	5	0,12–0,18	0,15	0,14	0,022
PBDE-85	2001	5	<0,05	–	–	–
PBDE-154	2001	5	<0,05	–	–	–
PBDE-153	2001	5	<0,05	–	–	–
PBDE-138	2001	5	<0,05	–	–	–
DekaBDE	2001	5	<0,1–0,12	0,10	0,10	0,0089



Figur 7:15. Koncentrationen av några PBDE kongener (µg/kg ts) i tånglake (*Zoarces viviparus*) på respektive station utmed Bohuskusten 2001. Streckad linje = detektionsgränsen 2001.
The concentration of some PBDE congenes (µg/kg fat) in eel-pout (Zoarces viviparus) at each station along the Bohus Coast in 2001. Broken line = detection limit in 2001.

7.4.2.5 Trendanalyser för tånglake

I de föregående avsnitten har presentationen av analysresultaten för tånglake främst varit inriktad på att presentera den stationsvisa koncentrationsförändringen över tiden av respektive undersökt ämne/substans, samt att med hjälp av medel- och medianvärdesförändringen för samma period ge en generell bild av utvecklingen utmed Bohuskusten.

Sannolikheten för att de ovan beskrivna medelvärdesförändringarna är reella har dessutom testas statistiskt (enl. Fowler & Cohen 1996) med hjälp av s.k. t-test med (n–1) frihetsgrader för matchade datapar (dvs. data från samma stationer men härrörande från olika år i detta fall 1993, 1998 och 2001). Härigenom har den statistiska sannolikheten (p) för respektive medelvärdesförändring kunnat fastläggas.

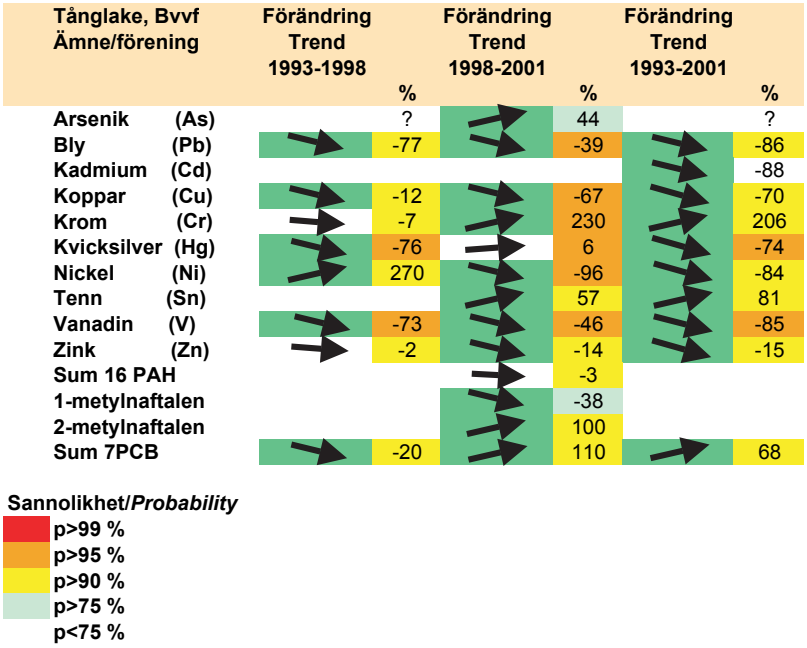
Testen omfattar dels en matchning där 1993 och 1998 års data ställts mot varandra, dels motsvarande för 1998 och 2001 års data samt för 1993 och 2001 års data. Dessa s.k. trendanalyser ger med större eller mindre sannolikhet svar på hur säker en observerad förändring över tiden (trend) är.

Trenderna för tånglake illustreras översiktligt i figur 7:16 där också den procentuella förändringen mellan åren anges. Pilarna visar om medelkoncentrationen för respektive ämne ökat, minskat eller är oförändrad. Resultaten av testen för matchade datapar visas med olika färger för olika sannolikhetsnivåer. Förändringar under 10 % betraktas inte som statistiskt signifikanta mot bakgrund av reproducerbarheten av ett prov i det kemiska analysarbetet.

Testen visar att med mellan 95 % och 99 % sannolikhet har halterna av kvicksilver (Hg) och vanadin (V) minskat med 74 % respektive 85 % mellan 1993 och 2001. Med 90–95 % sannolikhet har Bly (Pb), koppar (Cu) och nickel (Ni) minskat med mellan 70 och 86 % och zink (Zn) med 15 % under samma tidsperiod. Halterna av krom (Cr), tenn (Sn) och TBT har däremot med samma sannolikhet ökat med 206 %, 81 % respektive 68 %.

Förändringarna för arsenik mellan 1993 och 2001 har lämnats utan avseende mot bakgrund av att analysdata från 1993 med största sannolikhet är felaktiga.

Trenderna för perioderna 1992–1997 respektive 1997–2001 är för de flesta ämnen de samma som för hela perioden 1992–2001. Enda undantag utgör nickel (Ni) som ökade och TBT som minskade något mellan 1992 och 1997. Sannolikheten för förändringarna under denna period av Ni och TBT är 90–95 %. De avvikande trenderna för bly (Pb), zink (Zn), kvicksilver (Hg) och PAH under dessa delperioder är mindre än 10 %, dvs. förändringen ligger inom felmariginalen.



Figur 7:16. Sammanställning över förändringen av medelvärdeskoncentrationen för några ämnen och föreningar i tånglake utmed Bohuskustens mellan 1993 och 2001. Nedåtriktad pil betyder minskad halt och uppåtriktad pil ökad halt. Grönmarkerade fält markerar förändringar som är större än de minst 10 % som baserat på reproducerbarheten vid den kemiska analysen krävs för att en förändring med säkerhet skall kunna bedömas.

Compilation of the changes of the average concentrations of some elements and compounds between 1993 and 2001 in eel-pout from the Bohus Coast. Arrow pointed downwards implies decreasing concentration and arrow pointed upwards implies increasing concentration. Green areas mark changes bigger than the minimum of 10 % due to the precision of chemical analyses .

7.4.3 MILJÖGIFTER I BLÅMUSSLA

Analysresultaten av blåmussla från 2001 redovisas tillsammans med 1992 och 1997 års undersökningar i tabellerna 7:22–7:35. Den första och den tredje undersökningsomgången omfattade något fler föreningar än undersökningarna 1997, vilket bl.a. förklaras av att flertalet eller alla föreningar i vissa ämnesgrupper inte kunde påvisas eller låg under eller mycket nära detektionsgränsen vid första undersökningstillfället 1992. Analyser av dessa föreningar upprepades därför inte vid 1997 och 2001 års undersökningar. Ytterligare ämnen har tillkommit i 2001 års undersökningar Vilka specifika ämnen det gäller framgår av tabell 7:21.

Blåmussla (*Mytilus edulis*)

Tabell 7:21. Analyserade miljögifter i blåmussla från Bohuskusten 1992, 1997 och 2001. * markerar vad som analyserats respektive år.

Toxic elemenst and substances analysed in blue mussel from the Bohus Coast in 1992, 1997 and 2001.

Ämnesgrupper undersökt i Blåmussla 1992 och 1997	Specifikation	1992	1997	2001
Metaller	Al, As, Cd, Cr, Cu, Hg, Mn, Ni, Pb, Sn, V, Zn,	*	*	*
Organiska tennföreningar	dibutyl Sn, tributyl Sn	*	*	*
Extraherbart org. Klor o brom	EOX, EOCl, EPOCl, EOBr, EPOBr	*		
Polycykl. aromatiska kolväten	16 PAH	*	*	*
Methylnaftalener	2-metylnaftalen, 1-metylnaftalen		*	*
Polyklorerade bifenyler	Dutch 7 PCB, tot PCB	*	*	*
Polybromerade difenyletrar	7 st PBDE, DekaBDE			*
Diklordifenyltrikloretan	p,p-DDT, p,p-DDE. p,p-DDD, o,p-DDT	*		
Hexaklorbensen	HCB	*		
Lindan	γ-HCH			*
Toxafen				*
Dioxiner	PCDD/PCDF			*

Blåmussla fångades 1992 på stationerna 2, 4, 10, 12, 12a, 12b, 13 och 16 och 1997 och 2001 på stationerna 4, 10, 11, 12, 12a, 13, 16 och 17. Detta innebär att stationsvisa jämförelsedata inte finns för alla stationer från 1992. Detta gäller också för de ämnesgrupper som enbart analyserats vid ett undersökningstillfälle.

För de metaller och organiska föreningar som analyserats vid samtliga undersökningstillfällen på en och samma station (4, 10, 13 och 16 och för tungmetaller även på stationerna 12 och 12a) har det varit möjligt att studera koncentrationsförändringarna i blåmussla mellan 1992, 1997 och 2001.

7.4.3.1 Tungmetaller

Analysresultaten från 2001 års undersökningar av blåmussla redovisas för varje station tillsammans med motsvarande data från 1992 och 1997 i tabell 7:22. I tabell 7:23 redovisas medelvärden, medianvärden, standardavvikelse och spridning för respektive metall och år.

Arsenik (As), krom (Cr), vanadin (V) och zink (Zn) undersöktes inte i blåmussla 1992 men väl 1997 och 2001. Aluminium (Al) undersöktes endast 1992. I övrigt undersöktes samma metaller vid alla tre undersökningstillfällena. Vid det första (1992) och senaste (2001) undersökningstillfället kunde samtliga tio studerade tungmetaller (As, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, V, Zn och Sn) detekteras. Vid undersökningarna 1997 däremot kunde inte tenn (Sn) detekteras. I det senare fallet berodde detta på att detektionsgränsen låg betydligt högre för Sn 1997 (0,8 mg/kg ts) jämfört med 1992 (ca 0,2 mg/kg ts) och 2001. Cr detekterades på samtliga stationer 2001och uppvisade en mycket hög halt i Kungsviken (79 mg/kg). I detta fall kan inte analysfel uteslutas.

Förändringen av metallkoncentrationerna under perioden 1992 och 2001 illustreras i diagrammen i figurerna 7:17a–b. Med undantag för station 4 (Danafjord) har halten av Cr ökat med i genomsnitt 47 % sedan 1997 och Sn med 190 % sedan 1992. Halten av V och Zn har minskat på samtliga stationer med i genomsnitt 84 respektive 21 % sedan 1997 och As med 42 %. I det senare fallet har halten dock ökat något på två sta-

tioner (Danafjord och Brofjorden). Även halterna av Cu och Pb har minskat med i genomsnitt 2 respektive 15 % sedan 1997, men en ökning har skett på några stationer, bl.a. inre Gullmaren och Brofjorden. Halten av Cd har sjunkit på fem stationer, men ökat i Stenungsund, Kungsviken och Brofjorden, medan Ni är relativt oförändrad under samma period. Sedan 1992 har dock samtliga metaller, om Sn undantags, sjunkit mer eller mindre starkt; Cd med 41 %, Cu med 41 %, Hg med 94 %, Ni med 6 % och Pb med 27 %.

Vid en jämförelse mellan stationerna kan konstateras att belastningen varierar dem emellan beroende på vilken metall som avses. Danafjord uppvisar dock de högsta halterna av As, Cu, Hg, Pb och Zn. Höga halter för Cr, Cu och Hg föreligger även i Stenungsund, medan halterna av Cd är högst i Brofjorden och Kungshamn. I Kungsviken i Koljefjorden sticker Sn-halten ut kraftigt. Den är mer än dubbelt så hög där som på andra ställen. Pb och Ni uppvisar starkt avvikande värden i inre Gullmaren respektive Kungshamn. I dessa två fall kan inte analysfel uteslutas.

Tabell 7:22. Koncentrationen (mg/kg ts) av tungmetaller i blåmussla (*Mytilus edulis*) utmed Bohuskusten mellan 1992 och 2001. Streck (-) = ej analyserat.

The concentration (mg/kg dw) of heavy metals in blue mussel (Mytilus edulis) along the Bohus Coast between 1992 and 2001. Line (-) = not analysed.

Station	År	Al mg/kg ts	As mg/kg ts	Cd mg/kg ts	Cr mg/kg ts	Cu mg/kg ts	Hg mg/kg ts	Mn mg/kg ts	Ni mg/kg ts	Pb mg/kg ts	Sn mg/kg ts	V mg/kg ts	Zn mg/kg ts
2	1992	138	-	2,93	-	13	1,3	-	2,93	6,99	0,32	-	-
	1997	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	2001	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4	1992	57	-	1,35	-	7,77	0,67	-	1,14	1,86	0,26	-	-
	1997	-	9,8	1,3	1,5	6,1	0,24	-	1,7	2,4	<1,2	15	107
	2001		19	0,85	1,3	6,3	0,06	7,7	1,3	1,6	0,61	8,9	100
10	1992	41,7	-	1,28	-	9,63	0,64	-	1,22	0,86	0,26	-	-
	1997	-	15	0,69	0,81	6,7	<0,16	-	0,97	1,0	<0,81	16	97
	2001		10	1,1	1,9	6,2	0,065	6,5	1,3	1,1	0,25	0,89	95
11	1992	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	1997	-	20	0,87	0,84	6,8	<0,22	-	1,1	1,9	<1,1	22	110
	2001		6,4	0,69	79	5,1	0,054	5,1	0,87	0,99	1,7	0,76	79
12	1992	80,5	-	2,59	-	8,05	0,86	-	1,84	1,32	0,23	-	-
	1997	-	15	0,89	0,56	4,2	<0,16	-	0,96	0,96	<0,8	14	71
	2001		7,6	0,74	1,3	4,9	0,035	7,7	0,59	5,2	0,89	0,84	55
12a	1992	34,1	-	1,24	-	8,76	0,78	-	0,92	1,06	0,14	-	-
	1997	-	14	0,85	0,55	5,1	<0,17	-	1,1	1,8	<0,85	16	102
	2001		8,1	0,81	1,4	5	0,031	8,7	0,97	0,61	0,61	0,66	69
12b	1992	21	-	1,82	-	12,5	0,85	-	1,76	1,82	0,4	-	-
	1997	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	2001	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
13	1992	24,4	-	1,31	-	8,14	0,47	-	1,58	1,27	0,36	-	-
	1997	-	8,1	0,61	0,39	4,1	0,15	-	0,89	1,7	<0,74	13	96
	2001		11	1,3	1,4	6	0,036	5,5	1	0,89	0,81	0,72	70
16	1992	40,6	-	1,32	-	8,36	0,51	-	1,78	1,42	0,2	-	-
	1997	-	41	1,7	0,51	4,0	0,17	-	1,4	1,6	<0,85	18	110
	2001		16	0,9	1,5	6,2	0,03	8,6	1,2	0,64	0,92	7,8	80
17	1992	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	1997	-	13	0,83	0,83	8,3	<0,17	-	0,74	2,9	<0,83	19	133
	2001		0,39	1,6	1,6	4,8	0,045	7,3	4,8	1,2	0,39	1	100

Enligt svenska bedömningsgrunder för miljökvalitet i kust och hav (Naturvårdsverket 1999) visar analysresultaten från undersökningarna av blåmussla att med avseende på Sn är kvaliteten 2001 mycket dålig (klass 5) utmed Bohuskusten från Gullmaren i söder och vidare norrut till Kosterfjorden (figur 7:18).

Enda undantag är Stenungsund där kvaliteten är mindre bra (klass 2) och Kungshamn där den är dålig (klass 4) med avseende på tenn.

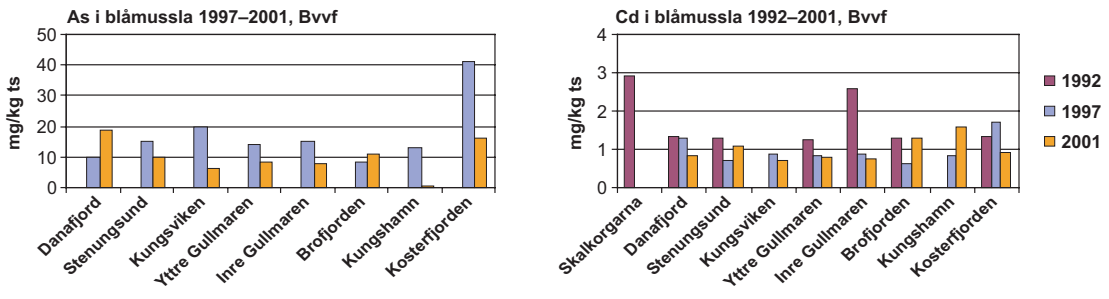
Med några få undantag är kvaliteten bra till mindre bra (klasserna 1-2) med avseende på övriga metaller (Cd, Cu, Ni, Pb och Hg). Kvaliteten med avseende på Pb och Ni är dock dålig (klass 4) till mycket dålig (klass 5) i inre Gullmaren respektive Kungshamn, men som nämnts tidigare kan analysfel inte uteslutas i dessa fall.

Svenska bedömningsgrunder saknas för övriga metaller.

I allmänhet har miljökvaliteten i blåmussla med avseende på tungmetaller förbättrats från 1992 till 2001. Enda undantag utgör Sn, där en tydlig försämring kan noteras (figur 7:18).

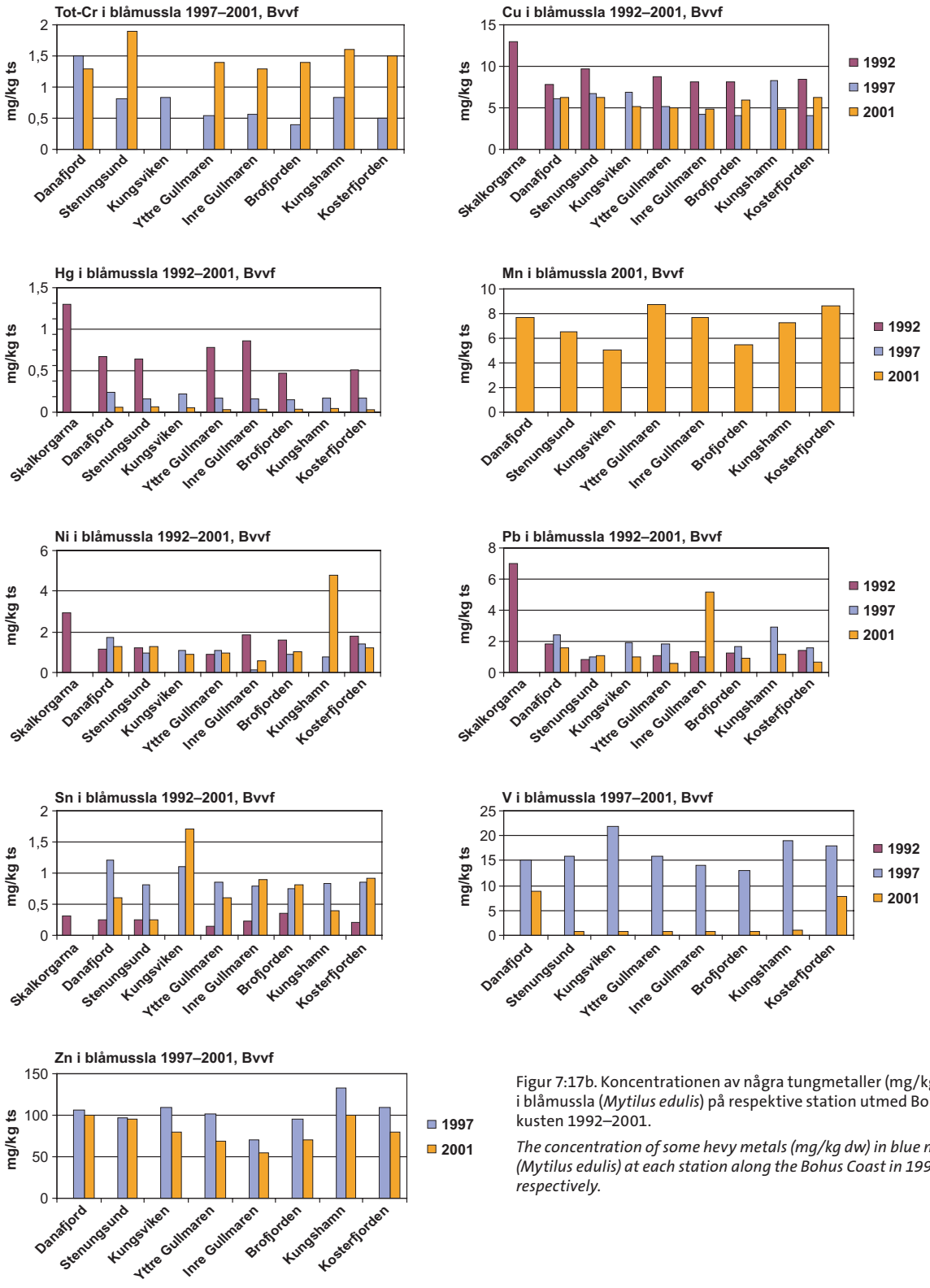
Tabell 7:23. Spridning och medelvärden (mg/kg ts) för metaller i blåmussla (*Mytilus edulis*) utmed Bohuskusten 1992, 1997 och 2001.
Range and means (mg/kg dw) of metals in blue mussel (Mytilus edulis) along the Bohus Coast in 1992, 1997 and 2001.

Blåmussla	År	Antal stationer n	Intervall mg/kg ts	Medelvärde mg/kg ts	Medianvärde mg/kg ts	Standardavvikelse mg/kg ts
Al	1992	8	21–138	55	41	39
As	1997	8	8,1–41	17	15	10
	2001	8	0,39–19	9,8	9,1	5,8
Cd	1992	8	1,2–2,9	1,7	1,3	0,67
	1997	8	0,61–1,7	0,97	0,86	0,36
	2001	8	0,69–1,6	1	0,89	0,31
Cr	1997	8	0,39–1,5	0,75	0,69	0,35
	2001	8	1,3–79	1,1	1,5	27
Cu	1992	8	7,8–13	9,5	8,6	2,1
	1997	8	4–8,3	5,7	5,6	1,6
	2001	8	4,8–6,3	5,6	5,6	0,67
Hg	1992	8	0,47–1,3	0,76	0,73	0,26
	1997	8	<0,15–0,24	0,18	0,17	0,032
	2001	8	0,030–0,65	0,045	0,041	0,014
Mn	2001	8	5,1–8,7	7,1	7,5	1,3
Ni	1992	8	0,92–2,9	1,6	1,7	0,62
	1997	8	0,74–1,7	1,1	1,0	0,31
	2001	8	0,59–4,8	1,5	1,1	1,4
Pb	1992	8	0,86–7	2,1	1,4	2
	1997	8	0,96–2,9	1,8	1,8	0,65
	2001	8	0,61–5,2	1,5	1,0	1,5
Sn	1992	8	0,14–4,0	0,26	0,26	0,085
	1997	8	<0,74–1,2	0,90	0,84	0,16
	2001	8	0,25–1,7	0,77	0,71	0,44
V	1997	8	13–22	17	16	2,9
	2001	8	0,66–8,9	2,7	0,87	3,5
Zn	1997	8	71–133	103	105	17
	2001	8	55–100	81	80	16



Figur 7:17a. Koncentrationen av några tungmetaller (mg/kg ts) i blåmussla (*Mytilus edulis*) på respektive station utmed Bohuskusten 1992–2001.

The concentration of some hevy metals (mg/kg dw) in blue mussel (Mytilus edulis) at each station along the Bohus Coast in 1992–2001 respectively.



Figur 7:17b. Koncentrationen av några tungmetaller (mg/kg ts) i blåmussla (*Mytilus edulis*) på respektive station utmed Bohuskusten 1992–2001.

The concentration of some hevy metals (mg/kg dw) in blue mussel (Mytilus edulis) at each station along the Bohus Coast in 1992–2001 respectively.

Blåmussla	Cd mg/kg 1992	Cd mg/kg 1997	Cd mg/kg 2001	Cu mg/kg 1992	Cu mg/kg 1997	Cu mg/kg 2001	Hg mg/kg 1992	Hg mg/kg 1997	Hg mg/kg 2001
Skalkorgarna	2,93			13			1,3		
Danafjord	1,35	1,3	0,85	7,77	6,1	6,3	0,67	0,24	0,06
Stenungsund	1,28	0,69	1,1	9,63	6,7	6,2	0,64	0,16	0,065
Kungsviken		0,87	0,69		6,8	5,1		0,22	0,054
Yttre Gullmaren	1,24	0,85	0,81	8,76	5,1	5	0,78	0,17	0,031
Inre Gullmaren	2,59	0,89	0,74	8,05	4,2	4,9	0,86	0,16	0,035
Brofjorden	1,31	0,61	1,3	8,14	4,1	6	0,47	0,15	0,036
Kungshamn		0,83	1,6		8,3	4,8		0,17	0,045
Kosterfjorden	1,32	1,7	0,9	8,36	4	6,2	0,51	0,17	0,03

	Ni mg/kg 1992	Ni mg/kg 1997	Ni mg/kg 2001	Pb mg/kg 1992	Pb mg/kg 1997	Pb mg/kg 2001	Sn mg/kg 1992	Sn mg/kg 1997	Sn mg/kg 2001
Skalkorgarna	2,93			6,99			0,32		
Danafjord	1,14	1,7	1,3	1,86	2,4	1,6	0,26	1,2	0,61
Stenungsund	1,22	0,97	1,3	0,86	1	1,1	0,26	0,81	0,25
Kungsviken		1,1	0,87		1,9	0,99		1,1	1,7
Yttre Gullmaren	0,92	1,1	0,97	1,06	1,8	0,61	0,14	0,85	0,61
Inre Gullmaren	1,84	0,096	0,59	1,32	0,96	5,2	0,23	0,8	0,89
Brofjorden	1,58	0,89	1	1,27	1,7	0,89	0,36	0,74	0,81
Kungshamn		0,74	4,8		2,9	1,2		0,83	0,39
Kosterfjorden	1,78	1,4	1,2	1,42	1,6	0,64	0,2	0,85	0,92

Bedömningsgrunder enl. Naturvårdsverket (1999)	Avvikelse från jämförvärdet
Klass 1	Ingen/obetydlig avvikelse
Klass 2	Liten avvikelse
Klass 3	Tydlig avvikelse
Klass 4	Stor avvikelse
Klass 5	Mycket stor avvikelse

Figur 7:18. Blåmusslans (Mytilus edulis) miljökvalitet utmed Bohuskusten 1992–2001 med avseende på metallinnehåll. Klassning enligt svenska bedömningsgrunder (Naturvårdsverket 1999).

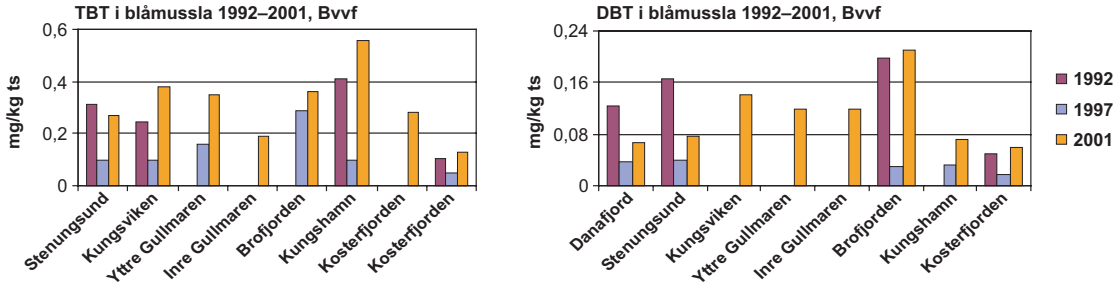
The environmental quality of the blue mussel (Mytilus edulis) along the Bohus Coast with respect to the metal content 1992–2001. Classification according to Swedish Environmental Quality Criteria (Naturvårdsverket 1999).

7.4.3.2 Organiska tennföreningar

Analysresultaten från de tre undersökningstillfällena 1992, 1997 och 2001 redovisas för varje station i tabell 7:24. I tabell 7:25 redovisas medelvärden, medianvärden, standardavvikelse och spridning för respektive organisk tennförening och år. Organiska tennföreningar studerades på fyra respektive fem stationer 1992 och 1997 och på åtta stationer 2001. Dibutyltenn (DBT) och tributyltenn (TBT) detekterades på samtliga stationer vid samtliga undersökningstillfällen.

Den högsta halterna påträffades 2001 i Brofjorden, Stenungsund och inre Gullmaren.

Förändringar i halten av organiska tennföreningar mellan undersökningstillfällena illustreras i diagrammen i figur 7:19. Analysdata från 1997 förefaller att inte vara korrekta, varför dessa lämnas utan avseende. En jämförelse av resultaten från 1992 och 2001 visar att halten av tributyltenn har ökatat kraftigt sedan 1992. Ökningen är i genomsnitt 17 %. Halten av dibutyltenn har i vissa fall minskat eller är oförändrad under samma period.



Figur 7:19. Koncentrationen av några organiska tennföreningar (mg/kg ts) i blåmussla (*Mytilus edulis*) på respektive station utmed Bohuskusten 1992–2001.

The concentration of some organic tin compounds (mg/kg dw) in blue mussel (Mytilus edulis) at each station along the Bohus Coast in 1992–2001 respectively.

Tabell 7:24. Koncentrationen (mg/kg ts) av organiska tennföreningar i blåmussla (*Mytilus edulis*) utmed Bohuskusten 1992–2001. Streck (-) = ej analyserat, n.d. = ej detekterat.

The concentration (mg/kg dw) of organic tin compounds in blue mussel (Mytilus edulis) along the Bohus Coast in 1992–2001. Line (-) = not analysed, n.d. = not detected.

Station	År	Dibutyltenn (DBT) mg/kg ts	Tributyltenn (TBT) mg/kg ts
4	1992	0,124	0,31
	1997	0,037	0,073
	2001	0,067	0,27
10	1992	0,166	0,247
	1997	0,04	0,081
	2001	0,077	0,38
11	2001	0,14	0,35
12a	2001	0,12	0,19
12	2001	0,12	0,36
13	1992	0,199	0,411
	1997	0,03	0,052
	2001	0,21	0,56
16	1992	0,049	0,102
	1997	0,017	0,051
	2001	<0,06	0,13
17	1992	-	-
	1997	0,033	0,008
	2001	0,071	0,28

Tabell 7:25. Spridning och medelvärden (mg/kg ts) för tennorganiska föreningar i blåmussla (*Mytilus edulis*) utmed Bohuskusten 1992–2001.

Range and means (mg/kg dw) of organic tin compounds in blue mussel (Mytilus edulis) along the Bohus Coast in 1992–2001.

Blåmussla	År	Antal stationer n	Intervall mg/kg ts	Medelvärde mg/kg ts	Medianvärde mg/kg ts	Standardavvikelse mg/kg ts
Dibutyl-Sn (DBT)	1992	4	0,049–0,2	0,13	0,15	0,065
	1997	5	0,017–0,04	0,031	0,033	0,0089
	2001	8	0,06–0,21	0,11	0,099	0,051
Tributyl-Sn (TBT)	1992	4	0,10–0,41	0,27	0,28	0,13
	1997	5	0,008–0,081	0,053	0,052	0,028
	2001	8	0,13–0,56	0,32	0,32	0,13

7.4.3.3 Metylnaftalener och polycykliska aromatiska kolväten

Inga polycykliska aromatiska kolväten (PAH) kunde påvisas i blåmussla 1992. Detektionsgränsen låg mellan 0,02 och 0,06 mg/kg ts. Vid 1997 års undersökningar låg detektionsgränsen lägre vilket resulterade i att naftalen, 1-metylnaftalen och 2-metynaftalen, fenantren, antracen, fluoranten, pyren, bens(a)antracen och krysen/trifenylen kunde påvisas i små mängder på några stationer. Vid 2001 års undersökningar var detektionsgränsen i nivå med 1997 års gräns. Vid den senare undersökningen kunde, av de bicykliska föreningarna, endast naftalen detekteras (station 12 i inre Gullmaren). Av övriga PAH-föreningar detekterades endast fluoren, fluoranten, pyren, krysen/trifenylen och benso(b)fluoranten.

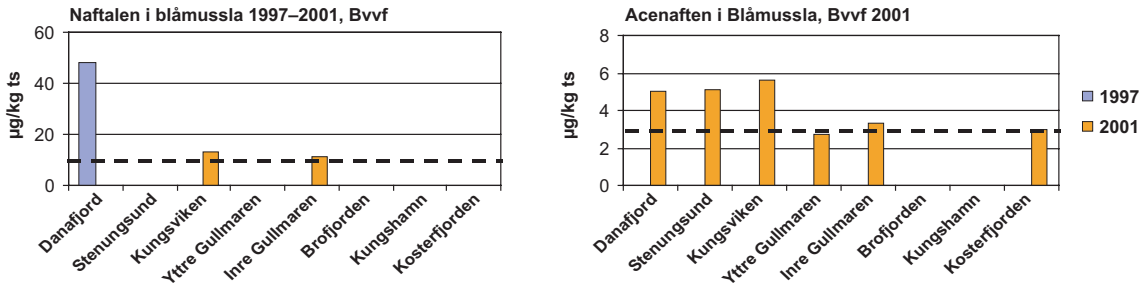
Analysresultaten redovisas i tabell 7:26. I tabell 7:27 redovisas medelvärden, medianvärden, standardavvikelse och spridning för respektive förening.

I allmänhet återfanns de högsta halterna av de flesta PAHer 1997 i Brofjorden och utanför Göteborg i Danafjord. År 2001 var mönstret detsamma för Danafjord men inte för Brofjorden där halterna minskat kraftigt. Förhöjda halter noterades också i Kungsviken, yttre Gullmaren och Kungshamn.

Koncentrationutvecklingen mellan 1997 och 2001 illustreras i figur 7:20a–b. I samtliga fall har koncentrationen minskat mellan 1997 och 2001. Eftersom endast 7 PAH kunde detekteras 1997 måste en jämförelse mellan 1997 och 2001 basera sig på dessa sju uppmätta föreningar. Betraktar man utvecklingen för ∑7 PAH, har halten i blåmussla minskat med 86 % mellan 1997 och 2001. Den i särklass största koncentrationsminskningen uppvisar blåmusslor från Brofjorden. 1997 var halterna högst på denna station som ligger nära Preemraff Lysekils produkthamn. Resultatet indikerar att emissionen från raffenaderiet/fartygen har minskat till följd av sannolikt förbättrade rutiner/reningsåtgärder. Svenska bedömningsgrunder för PAH i blåmussla saknas, men enligt norskt system (SFT 1993) faller alla stationer i klass 1 (”god” status).

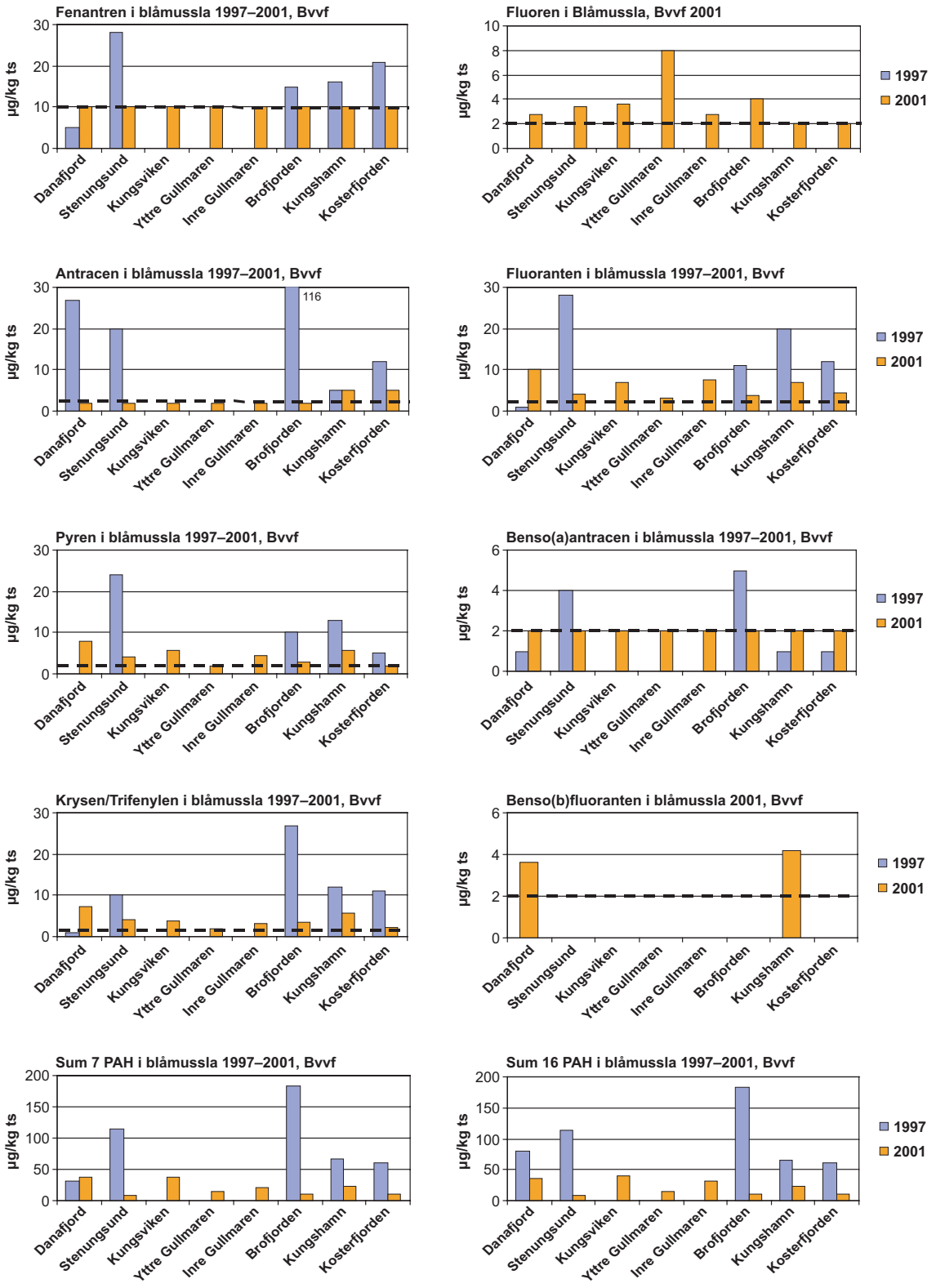
Tabell 7:26. Koncentrationen (µg/kg ts) av polycykliska aromatiska kolväten i blåmussla (*Mytilus edulis*) utmed Bohuskusten 1997–2001.
The concentration (µg/kg dw) of polycyclic aromatic hydrocarbons in blue mussel (Mytilus edulis) along the Bohus Coast in 1997–2001.

Blåmussla µg/kg ts	År	4	10	11	12a	12	13	16	17
Naftalen	1997	48	<1	-	-	-	<1	<1	2
	2001	<30	<10	13	<10	11	<10	<10	<10
Acenaftylen	2001	<2	<2	<4	<2	<2	<2	<5	<2
Acenaften	2001	5	5,1	5,6	2,7	3,3	<4	<3	3
Fluoren	2001	2,8	3,4	3,6	8	2,8	<4	<2	<2
Fenantren	1997	5	28	-	-	-	15	21	16
	2001	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10
Antracen	1997	27	20	-	-	-	116	12	5
	2001	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2
Fluoranten	1997	<1	28	-	-	-	11	12	20
	2001	10	<4	6.9	3,1	7,6	3,8	6,8	4,5
Pyren	1997	<1	24	-	-	-	10	5	13
	2001	7,8	<4	5,6	<2	4,4	2,8	5,8	<2
Benso(a)antracen	1997	<1	4	-	-	-	5	<1	<1
	2001	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2
Krysen/Trifenylen	1997	<1	10	-	-	-	27	11	12
	2001	7,2	<4	3,9	<2	3,3	3,4	5,8	2.2
Benso(b)fluoranten	2001	3,6	<4	<5	<2	<2	<4	<4,2	<2
Benso(k)fluoranten	2001	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2
Benso(a)pyren	2001	<2	<2	<2	<2	<2	<4	<10	<2
Indeno(1,2,3-cd)peylen	2001	<2	<2	<2	<2	<2	<5	<3	<2
Benso(g,h,i)perylen	2001	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2
Dibenso(a,h)antracen	2001	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2
Sum 7 PAH	1997	80	114	-	-	-	184	61	68
	2001	25	<4	29,4	3,1	15,3	10	18,4	6,7
Sum 16 PAH	**2001**	**37**	**85**	**38**	**13,8**	**21**	**10**	**23**	**9,7**
2-metylnaftalen	1997	23	<1	-	-	-	<1	<1	<1
	2001	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5
1-metylnaftalen	1997	9	<1	-	-	-	<1	<1	<1
	2001	<2	<2	<3	<2	<3	<2	<3	<2



Figur 7:20a. Koncentrationen av några polycykliska aromatiska kolväteföreningar (µg/kg ts) i blåmussla (Mytilus edulis) på respektive station utmed Bohuskusten 1997–2001. Streckad linje = detektionsgränsen 2001.

The concentration of some polycyclic aromatic hydrocarbons (µg/kg dw in blue mussel (Mytilus edulis) at each station along the Bohus Coast in 1997–2001 respectively. Broken line = detection limit in 2001.



Figur 7:20b. Koncentrationen av några polycykliska aromatiska kolväteföreningar (µg/kg ts) i blåmussla (*Mytilus edulis*) på respektive station utmed Bohuskusten 1997–2001. Streckad linje = detektionsgränsen 2001.

The concentration of some polycyclic aromatic hydrocarbons (µg/kg dw) in blue mussel (Mytilus edulis) at each station along the Bohus Coast in 1997–2001 respectively. Broken line = detection limit in 2001.

Tabell 7:27. Spridning och medelvärden (µg/kg ts) för bicykliska och polyaromatiska kolväteföreningar (PAHer) i blåmussla (*Mytilus edulis*) utmed Bohuskusten 1997 och 2001.

Range and means (µg/kg dw) of bicyclic and polyaromatic hydrocarbones (PAHs) in blue mussel (Mytilus edulis) along the Bohus Coast in 1997 and 2001.

Blåmussla	År	Antal stationer n	Intervall µg/kg ts	Medelvärde µg/kg ts	Medianvärde µg/kg ts	Standardavvikelse µg/kg ts
Naftalen	1997	5	<1–48	11	1	21
	2001	8	<10–30	13	10	6,9
Acenaftylen	2001	8	2,8–5	2,6	2	1,2
Acenaften	2001	8	2,7–5,6	4	3,7	1,1
Fluoren	2001	8	<2–8	3,6	3,1	1,9
Fenantren	1997	5	5–28	17	16	8.5
	2001	8	<10	–	–	–
Antracen	1997	5	5–116	36	20	45
	2001	8	<2–<5	–	–	–
Fluoranten	1997	5	<1–28	14	12	10
	2001	8	3,1–10	5,8	5,7	2,4
Pyren	1997	5	<1–24	11	10	8.8
	2001	8	<2–7,8	4,3	4,2	2
Benso(a)antracen	1997	5	<1–5	2.4	1	1.9
	2001	8	<2	–	–	–
Krysen/Trifenylen	1997	5	<1–27	12	11	9.4
	2001	8	<2–7,2	4	3,7	1,8
Benso(b)fluoranten	2001	8	<2–4,2	3,4	3,8	1,2
Benso(k)fluoranten	2001	8	<2	–	–	–
Benso(a)pyren	2001	8	<2–<10	–	–	–
Indeno(1,2,3-cd)peylen	2001	8	<2–<5	–	–	–
Benso(g,h,i)perylen	2001	8	<2–<5	–	–	–
Dibenso(a,h)antracen	2001	8	<2	–	–	–
Sum 7 PAH	1997	5	61–184	111	114	49,5
	2001	8	<2–29	15	14	11
Sum 16 PAH	**2001**	**8**	**10–38**	**22**	**18**	**12**
2-metylnaftalen	1997	5	<1–23	5.4	4.4	9.8
	2001	8	<5	–	–	–
1-metylnaftalen	1997	5	<1–9	2.6	1	3.6
	2001	8	<2	–	–	–

7.4.3.4 Polyklorerade bifenyler

Polyklorerade bifenylerna (Dutch 7 PCB) har analyserats i blåmussla vid samtliga tre undersökningstillfällen 1992, 1997 och 2001. Analysresultaten redovisas i tabell 7:28. I tabell 7:29 redovisas medelvärden, medianvärden, standardavvikelse och spridning för respektive förening.

Av de sju studerade polyklorerade bifenylerna (PCB) kunde kongenerna PCB 28 och PCB 52 inte detekteras i blåmussla på någon station i halter över detektionsgränsen 1992 och 1997. Inte heller 2001 kunde PCB 52 detekteras på mer än en station (Kungsviken), medan PCB 28 detekterades på alla stationer utom i Kosterfjorden. Övriga fem PCB detekterades på samtliga stationer 2001.

PCB 101 och 118 detekterades enbart på station 2, 4 och 13 vid 1992 års undersökningar, men på samtliga stationer 1997 och 2001. PCB 138 detekterades på samtliga stationer vid samtliga tre undersökningstillfällen medan PCB 180 enbart kunde detekteras på stationerna 4 och 13 1992 och på station 17 1997, men på alla stationer 2001. Att PCB i jämförelse med 1992 detrekterades på fler stationer 1997 och 2001 beror på att detektionsgränsen sänkts betydligt vid de två senare undersökningstillfällena.

Fördelningsmönstret för samtliga PCB-kongener utom PCB 28 är mycket enhetligt. De i särklass högsta halterna för de andra sex kongenerna, liksom för ∑7 PCB och total PCB (mätt som Aroklor 1254) återfinns i Kungsviken (station 11) i Koljefjorden, vilket indikerar att en emissionskälla finns inom området. De högsta halterna av PCB 28 noterades i Danafjord, Stenungsund, yttre Gullmaren och i Kosterfjorden.

Tabell 7:28. Koncentrationen (µg/kg fett) av PCBer i blåmussla (*Mytilus edulis*) utmed Bohuskusten 1992–2001.
The concentration (µg/kg fat) of PCBs in blue mussel (Mytilus edulis) along the Bohus Coast in 1992–2001.

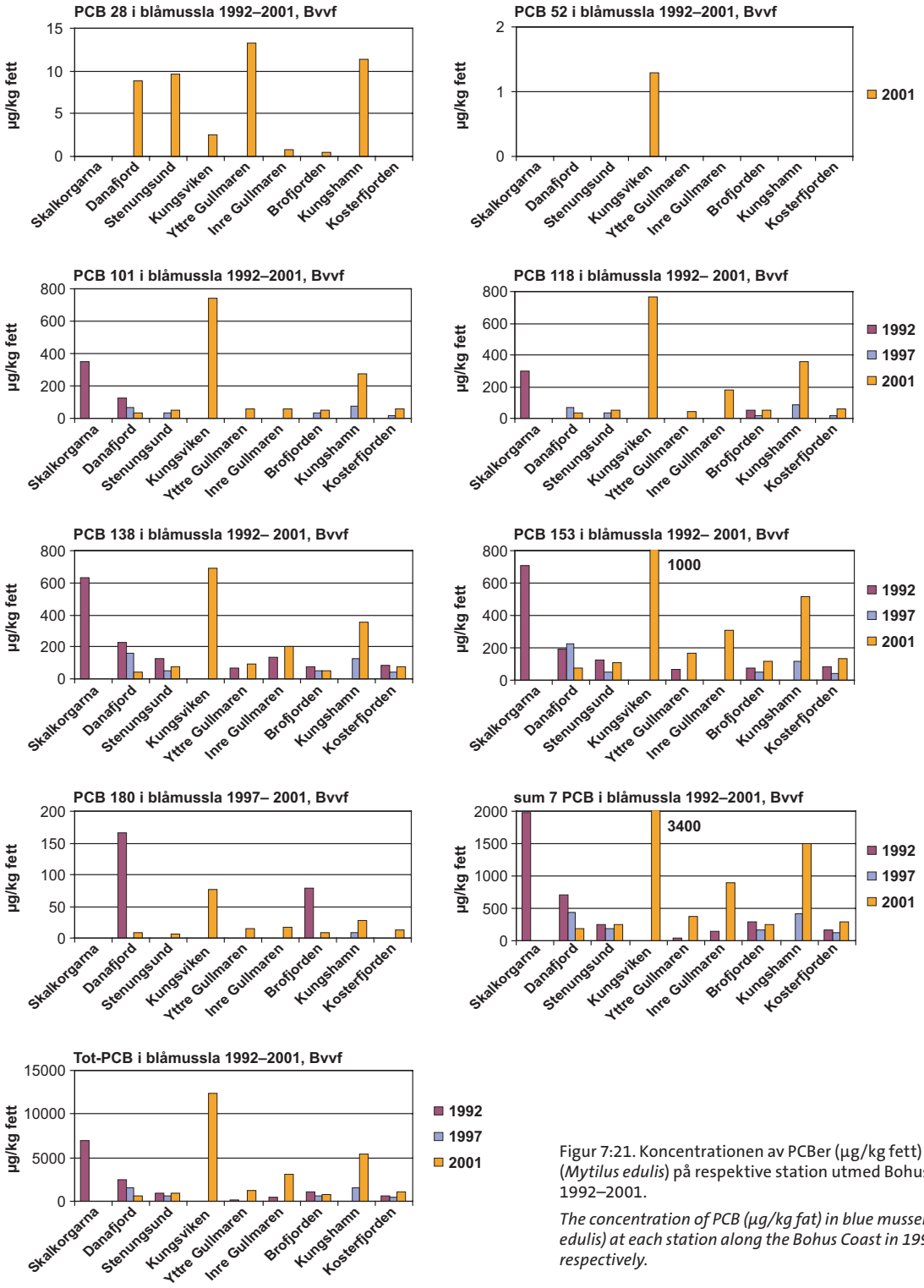
Station	År	PCB 28 µg/kg fett	PCB 52 µg/kg fett	PCB 101 µg/kg fett	PCB 118 µg/kg fett	PCB 138 µg/kg fett	PCB 153 µg/kg fett	PCB 180 µg/kg fett	Sum 7 PCB µg/kg fett	Sum PCB som aroklor 1254 µg/kg fett
2	1992	<175	<175	349	297	629	708	<175	1983	6941
	1997	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	2001	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4	1992	<88	<88	123	<88	228	190	165	706	2471
	1997	<017	<017	69	69	160	120	<17	447	
	2001	8,9	<0,5	33	31	78	42	7,8	196	689
10	1992	<78	<78	<78	<78	124	124	<78	248	868
	1997	<11	<11	33	33	54	54	<11	196	1550
	2001	9,7	<0,3	51	49	72	110	7,4	250	880
11	1992	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	1997	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	2001	2,5	1,3	738	769	692	1 000	76	3 385	12 307
12a	1992	<51	<51	<51	<51	69	63	<51	32	112
	1997	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	2001	13	<0,4	57	44	95	167	14	367	1285
12	1992	<91	<91	<91	<91	138	<91	<91	138	483
	1997	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	2001	0,85	<0,5	56	180	205	310	17	900	3 100
13	1992	<55	<55	<55	55	78	78	78	289	-
	1997	<10	<10	30	20	50	50	<10	170	600
	2001	0,54	<0,4	47	47	49	113	9,3	240	800
16	1992	<71	<71	<71	<71	84	80	<71	164	-
	1997	<8	<8	16	16	39	39	<8	124	430
	2001	<5,9	<0,2	56	59	76	129	12	300	430
17	1992	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	1997	<9	9	72	81	126	117	9	423	1480
	2001	11	<0,8	271	357	350	514	27	1 500	5 360

Tabell 7:29. Spridning och medelvärden (µg/kg fett) för PCBer i blåmussla (*Mytilus edulis*) utmed Bohuskusten 1992–2001.
Range and means (µg/kg fat) of PCBs in blue mussel (Mytilus edulis) along the Bohus Coast in 1992–2001.

Blåmussla	År	Antal stationer n	Intervall µg/kg fett	Medelvärde µg/kg fett	Medianvärde µg/kg fett	Standardavvikelse µg/kg fett
PCB 28	1992	8	<71–100	89	83	39
	1997	6	<8	–	–	–
	2001	8	0,54–13	6,6	7,4	4,9
PCB 52	1992	8	<71	87	81	39
	1997	6	<8	–	–	–
	2001	8	11–100	35	26	30
PCB 101	1992	8	<71–349	113	81	98
	1997	6	16–72	44	33	25
	2001	8	33–738	164	56	245
PCB 118	1992	8	<71–297	102	81	80
	1997	6	16–81	44	33	29
	2001	8	31–769	192	54	258
PCB 153	1992	8	<83–708	177	87	218
	1997	6	39–120	76	54	39
	2001	8	42–692	198	86	225
PCB 138	1992	8	<83–629	179	104	189
	1997	6	39–160	86	54	54
	2001	8	78–1 000	303	148	317
PCB 180	1992	8	<83–165	99	81	45
	1997	6	<8–9	–	–	–
	2001	8	7,4–76	21	13	23
Sum 7 PCB	1992	8	32–1980	458	206	650
	1997	6	120–450	272	196	151
	2001	8	195–3 384	892	333	1 104
Tot PCB	1992	8	112–6941	1 780	868	2 396
	1997	5	430–1550	1015	–	–
	2001	8	689–12 307	3 185	1 172	4 023

Koncentrationsutvecklingen för de olika kongenerna mellan 1992 och 2001 illustreras i figur 7:21. Av diagrammen i figuren framgår att halterna, av genom åren detekterbara PCB, har ökat mer eller mindre i blåmussla på de stationer där jämförelsedata finns att tillgå mellan 1992 och 2001. I några fall är förändringen liten och kan betraktas som mer eller mindre konstant. Utgående från ∑7 PCB har halterna ökat med i genomsnitt 95 % sedan 1992. Enda untantag utgör Danafjord där halterna successivt minskat med 72 % under samma period. Total PCB ökade i genomsnitt med 79 % mellan 1992 och 2001.

Svenska bedömningsgrunder för PCB i blåmussla saknas, men enligt norskt system (SFT 1993) faller Kungsviken i klass 3 (”nokså dålig”) och Inre Gullmaren och Kungshamn i klass 2 (”mindre god”) medan kvaliteten i blåmussla på övriga stationer är ”god” (klass 1).



Figur 7:21. Koncentrationen av PCBer (µg/kg fett) i blåmussla (*Mytilus edulis*) på respektive station utmed Bohuskusten 1992–2001.

The concentration of PCB (µg/kg fat) in blue mussel (Mytilus edulis) at each station along the Bohus Coast in 1992–2001 respectively.

7.4.3.5 Toxafen, lindan och hexaklorbensen

Analysresultaten över pesticiderna hexaklorbensen (HCB), toxafen och lindan (hexaklorhexan, γ-HCH) i blåmussla 2001 redovisas i tabell 7:30 samt spridning, medel- och medianvärden i tabell 7:31. Endast HCB har tidigare undersökts inom ramen för kontrollprogrammet.

Hexaklorbensen

HCB påvisades i blåmussla 1992 utanför Göteborg (stationerna Skalkorgarna 2 och Danafjord 4), utanför Stenungsund (station 10), i Brofjorden (station 13) och Kosterfjorden (station 16). Den högsta halten återfanns på station 2 (Skalkorgarna). HCB kunde inte detekteras i blåmussla 1997, men väl på de tre stationer (Danafjord, Stenungsund och Kungshamn) som undersöktes 2001. På den förstnämnda stationen har halterna minskat med 77 %, medan halten ökat med 12 % i Stenungsund och med närmare 400 % i Kungshamn (se figur 7:22). Den högsta halten 2001 återfanns i blåmusslor från Stenungsund. Svenska bedömningsgrunder för HCB i blåmussla saknas, men enligt norskt system faller alla tre stationerna i tillståndsklass 2 (”mindre god”).

Tabell 7:30. Koncentrationen av toxafen (µg/kg våtvikt), lindan (µg/kg fett) och HCB (µg/kg fett) i blåmussla (*Mytilus edulis*) utmed Bohuskusten 1992–2001.

The concentration of toxaphen (µg/kg wet substance), lindan (µg/kg fat) and HCB (µg/kg fat) in blue mussel (Mytilus edulis) along the Bohus Coast in 1992–2001.

Station	År	Toxafen µg/kg vv	Lindan µg/kg fett	HCB µg/kg fett
2	1992	-	-	74
	1997	-	-	-
	2001	-	-	-
4	1992	-	-	53
	1997	-	-	<17
	2001	3,7	31	12
10	1992	-	-	47
	1997	-	-	<11
	2001	-	73	53
11	1992	-	-	-
	1997	-	-	-
	2001	3,2	-	-
12a	1992	-	-	<0,15
	1997	-	-	-
	2001	2	-	-
12	1992	-	-	<28
	1997	-	-	-
	2001	8	-	-
13	1992	-	-	33
	1997	-	-	<10
	2001	-	-	-
16	1992	-	-	29
	1997	-	-	<8
	2001	3,8	-	-
17	1992	-	-	-
	1997	-	-	<9
	2001	-	-	44

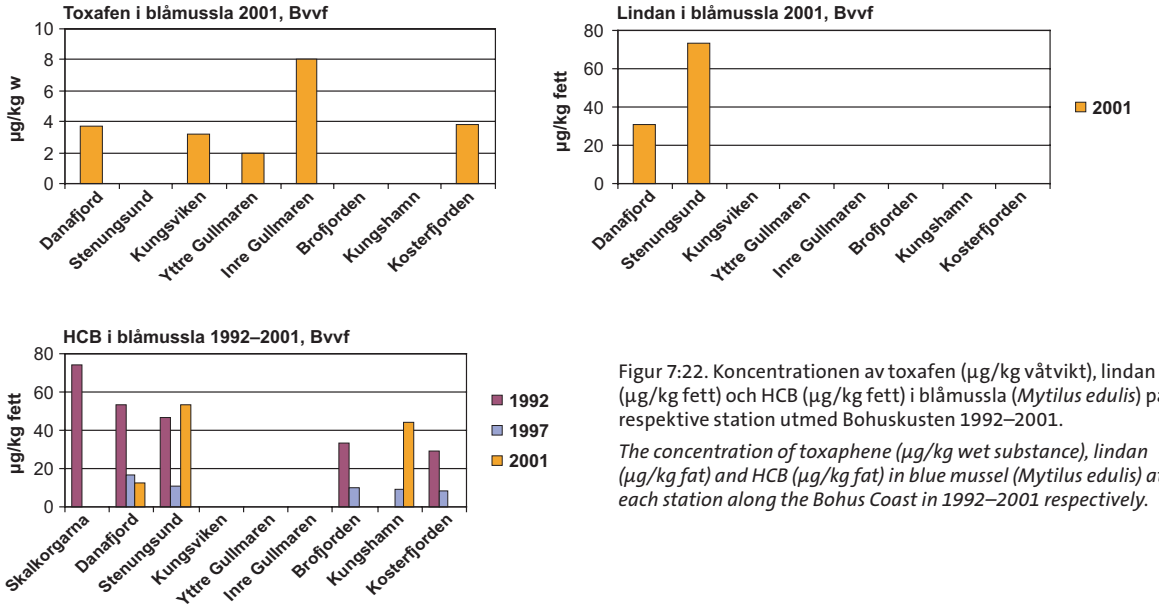
Toxafen och lindan

Toxafen kunde detekteras i halter mellan 2 och 8 µg/kg våtsubstans på samtliga fem stationer som undersöktes 2001 och lindan i halter mellan 31 och 73 µg/kg fett (figur 7:22). Högsta halten av toxafen noterades i blåmusslor från inre Gullmaren medan högsta halten av lindan noterades i Stenungsund. Svenska bedömningsgrunder för dessa två pesticider i blåmussla saknas.

Tabell 7:31. Spridning och medelvärden toxafen (µg/kg våtvikt), lindan (µg/kg fett) och HCB (µg/kg fett) i blåmussla (*Mytilus edulis*) utmed Bohuskusten 1992–2001.

Range and means (µg/kg fat) of toxaphene (µg/kg wet substance), lindan (µg/kg fat) and HCB (µg/kg fat) in blue mussel (Mytilus edulis) along the Bohus Coast in 1992–2001.

Blåmussla	År	Antal stationer n	Intervall µg/kg fett	Medelvärde µg/kg fett	Medianvärde µg/kg fett	Standardavvikelse µg/kg fett
Toxafen	1992	–	–	–	–	–
	1997	–	–	–	–	–
	2001	5	2–8	4,1	3,7	2,3
Lindan	1992	–	–	–	–	–
	1997	–	–	–	–	–
	2001	2	31–73	52	52	30
HCB	1992	8	<0,15–74	41	31	22
	1997	5	<9–<17	(11)	–	–
	2001	3	12–53	36	44	21



Figur 7:22. Koncentrationen av toxafen (µg/kg våtvikt), lindan (µg/kg fett) och HCB (µg/kg fett) i blåmussla (*Mytilus edulis*) på respektive station utmed Bohuskusten 1992–2001.

The concentration of toxaphene (µg/kg wet substance), lindan (µg/kg fat) and HCB (µg/kg fat) in blue mussel (Mytilus edulis) at each station along the Bohus Coast in 1992–2001 respectively.

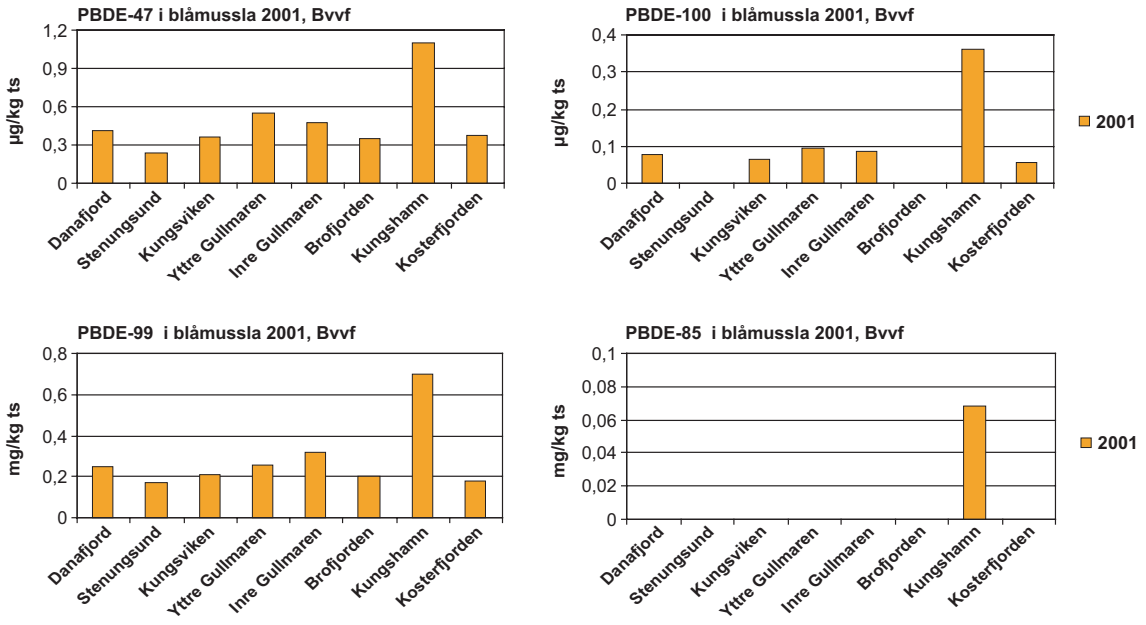
7.4.3.6 Polybromerade difenyletrar

Inom ramen för kustvattenkontrollen undersöktes polybromerade difenyletrar (PBDE) i blåmussla för första gången 2001. Analysresultaten samt medel- och medianvärden redovisas i tabellerna 7:32 och 7:33. Av åtta undersökta kongener kunde fyra (PBDE-138, PBDE-153 och PBDE-154) inte påvisas på någon av stationerna, medan PBDE-85 kunde detekteras på en station (Kungshamn) och PBDE-100 och DekaBDE på sex respektive fyra stationer. PBDE-47 och PBDE-99 kunde däremot påvisas på samtliga åtta stationer utmed kusten (figurerna 7:23 och 7:24). De högsta halterna av PBDE förekom i Kungshamn och vad gäller DekaBDE i Brofjorden. Resultaten tyder på emission i dessa områden. Svenska bedömningsgrunder saknas för PBDE i blåmussla.

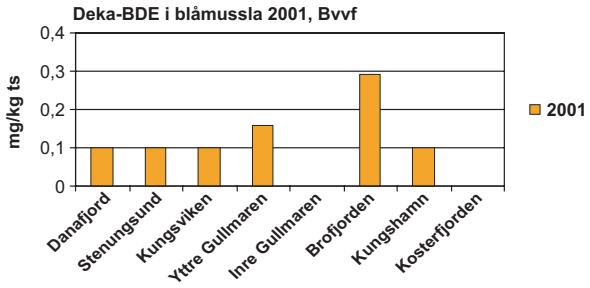
Tabell 7:32. Koncentrationen (µg/kg ts) av polybromerade difenyletrar i blåmussla (*Mytilus edulis*) utmed Bohuskusten 2001.

The concentration (µg/kg dw) of polybrominated diphenylethers in blue musslel (Mytilus edulis) along the Bohus Coast in 2001.

Station Blåmussla	År	PBDE-47 µg/kg ts	PBDE-100 µg/kg ts	PBDE-99 µg/kg ts	PBDE-85 µg/kg ts	PBDE-154 µg/kg ts	PBDE-153 µg/kg ts	PBDE-138 µg/kg ts	DekaBDE µg/kg ts
4	2001	0,41	0,077	0,25	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	0,1
10	2001	0,24	<0,1	0,17	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,1
11	2001	0,36	0,066	0,21	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,1
12a	2001	0,55	0,095	0,26	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	0,16
12	2001	0,48	0,086	0,32	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,1
13	2001	0,35	<0,05	0,20	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	0,29
16	2001	0,37	0,054	0,18	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,1
17	2001	1,1	0,36	0,70	0,068	<0,05	<0,05	<0,05	0,1



Figur 7:23. Koncentrationen av PBDE (µg/kg ts) i blåmussla (*Mytilus edulis*) på respektive station utmed Bohuskusten 2001.
The concentration of PBDEs (µg/kg ts) in blue mussel (Mytilus edulis) at each station along the Bohus Coast in 2001 respectively.



Figur 7:24. Koncentrationen av DekaBDE (mg/kg ts) i blåmussla (*Mytilus edulis*) på respektive station utmed Bohuskusten 2001.
The concentration of DecaBDE (mg/kg ts) in blue mussel (Mytilus edulis) at each station along the Bohus Coast in 2001 respectively.

Tabell 7:33. Spridning och medelvärden (µg/kg ts) av polybromerade difenyletrar i blåmussla (Mytilus edulis) utmed Bohuskusten 2001.
Range and means (µg/kg dw) of polybrominated diphenylethers in blue musslel (Mytilus edulis) along the Bohus Coast in 2001.

Blåmussla	År	Antal stationer n	Intervall µg/kg ts	Medelvärde µg/kg ts	Medianvärde µg/kg ts	Standardavvikelse µg/kg ts
PBDE-47	2001	8	0,24–1,1	0,48	0,39	0,27
PBDE-100	2001	8	<0,05–0,36	0,11	0,08	0,10
PBDE-99	2001	8	0,17–0,70	0,29	0,23	0,17
PBDE-85	2001	8	<0,05–0,068	0,052	<0,05	0,0064
PBDE-154	2001	8	<0,05	<0,05	<0,05	–
PBDE-153	2001	8	<0,05	<0,05	<0,05	–
PBDE-138	2001	8	<0,05	–	–	–
DekaBDE	2001	8	<0,1–0,12	0,10	0,10	0,0089

7.4.3.7 Polyklorerade dioxiner och furaner

Blåmusslor från undersökningarna 2001 analyserades med avseende på de polyklorerade dibenso-p-dioxiner (PCDD) och furaner (PCDF) som ingår i den olika modellerna för TCDD-ekvivalentberäkning (TE-nordisk, WHO-TEF och TE-Eadon), samt till summa halter för de övriga tetra- till okta- CDD/CDF-isomererna. Analysresultaten redovisas i tabell 7:34 och spridning, medel- och medianvärden i tabell 7:35.

PCCD/PCDF har inom ramen för kontrollprogrammet inte tidigare studerats i blåmussla.

I tabell 7:34 redovisas även de olika beräknade TCDD-ekvivalenterna. TCDD-ekvivalenten erhålls när man enligt en riskmodell (bl.a. Miljörapport 1988:7) viktat de toxiska isomererna mot den mest toxiska isomeren 2,3,7,8-tetraklordibenso-p-dioxin (2,3,7,8-TCDD). TCDD-ekvivalenten är således en uppskattning av den totala toxiciteten i provet omräknat till 2,3,7,8-TCDD. Ej detekterade värden har uteslutits i beräkningen av TCDD ekvivalenten.

Tabell 7:34. Koncentrationen (ng/kg ts) av polyklorerade dibenso-p-dioxiner and furaner samt några TCDD-ekvivalenter (µg/kg ts) i blåmussla (*Mytilus edulis*) utmed Bohuskusten 2001.

The concentration (ng/kg dw) of polychloronated dibezo-p-dioxins and furanes, and some TCDD-equeivalent in blue mussel (Mytilus edulis) along the Bohus Coast in 2001.

Blåmussla	Danafjord Station 4 ng/kg 2001	Stenungsund Station 10 ng/kg 2001	Kungsviken Station 11 ng/kg 2001	Yttre Gullmaren Station 12a ng/kg 2001	Inre Gullmaren Station 12 ng/kg 2001	Brofjorden Station 13 ng/kg 2001	Kungshamn Station 17 ng/kg 2001	Kosterfjorden Station 16 ng/kg 2001
2378-TCDD	<1	<0,6	<2	<0,8	<2	<0,9	<1	<1
Sum TCDD	<20	<10	<40	<20	<40	<20	<20	<20
12378 PeCDD	<0,2	<0,1	<0,1	<0,1	<0,4	<0,1	<0,1	<0,06
Sum Pe CDD	<2	2,4	2,4	5,4	1,2	1,5	2,5	<0,6
123478 HxCDD	<0,3	<0,2	<0,2	<0,1	<0,2	<0,2	<0,2	<0,7
123678 HxCDD	<0,3	<0,3	<0,1	<0,09	<0,3	<0,3	<0,1	<0,3
123789 HxCDD	<0,2	<0,9	<0,3	<1	<0,6	<0,2	<2	<2
Sum HxCDD	<2	<4	<2	<3	<3	<2	<6	<8
1234678 HpCDD	<0,1	<0,7	1,1	<0,7	<0,9	<0,6	<0,5	<2
Sum HpCDD	<0,2	<1	1,1	<1	<2	<1	<1	<4
OCDD	<0,3	3,6	4,8	2,2	3	6,1	2,1	2,9
Sum PCDD	**<0,02**	**6**	**9,4**	**7,6**	**4,2**	**7,6**	**4,6**	**2,9**
2378 TCDF	<0,06	<0,1	1,1	<0,2	<1	<0,1	<0,4	<0,2
Sum TCDF	<1	1,7	9,2	6,0	<20	1,2	1	<4
12378/12348PeCDF	<0,06	<0,2	<0,1	<0,09	<0,1	<0,9	<0,03	<0,1
23478 PeCDF	0,2	0,16	0,35	<0,1	<0,2	<0,9	<0,2	<0,2
Sum PeCDF	1,5	6,0	3,2	1,0	<2	2,2	1,1	<2
123478/123479HxCDF	<0,2	0,34	0,55	<0,3	<0,2	<0,2	<0,1	<0,3
123678HxCDF	<0,09	0,29	<0,3	<0,2	<0,1	<0,1	<0,1	<0,2
234678HxCDF	<0,09	0,25	<0,1	<0,4	<0,2	<0,1	<0,2	<0,3
123789HxCDF	<0,03	<0,1	<0,2	<0,2	<0,2	<0,1	<0,2	<0,1
Sum HxCDF	<1	2,2	2,9	<4	1,1	<1	<2	<3
1234678 HpCDF	<0,2	0,63	0,92	0,51	0,87	0,85	0,5	0,48
123789HpCDF	<0,09	<0,2	<0,2	<0,2	<0,1	<0,9	<0,1	<0,1
Sum HpCDF	<0,6	1,5	1,7	0,80	1,5	1,9	0,8	1,2
OCDF	1,7	1,2	2,3	1,3	2	4,3	1,3	1,4
SumPCDF	**3,4**	**14,3**	**21,1**	**9,6**	**5,5**	**10,5**	**4,7**	**3,1**
SUM PCDD/PCDF	**3,4**	**20,3**	**30,5**	**17,2**	**9,7**	**18,1**	**9,3**	**6**
WHO-TEF	0,1	0,17	0,36	0,051	0,097	0,086	0,05	0,048
TE Eadon	0,053	0,071	0,49	-	-	-	-	-
TE nordisk	0,082	0,18	0,37	0,0086	0,013	0,019	0,0084	0,012

I figur 7:25 illustreras dels koncentrationerna av ∑PCDD/PCDF dels WHO-TEF. Resultaten visar att de högsta halterna återfinns i musslor i kustområdet norr om Stenungsund med högsta halten i Kungsviken (Koljefjorden).

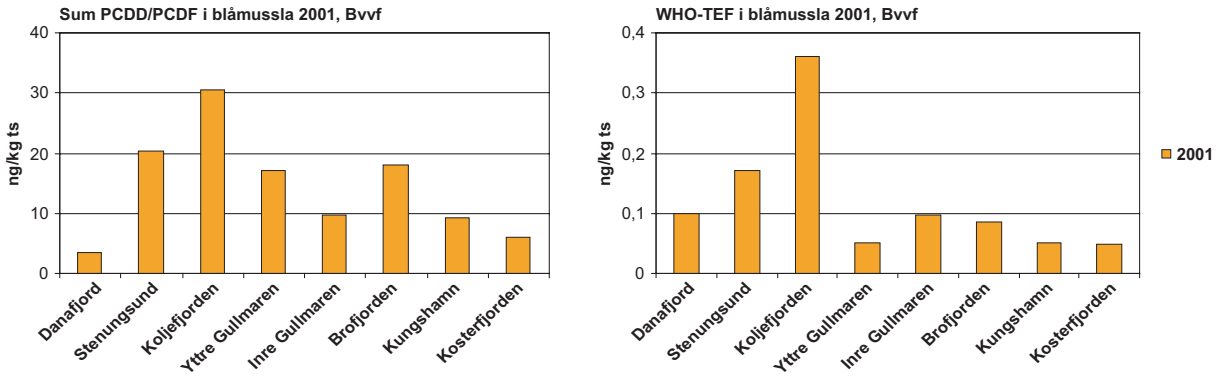
De olika ekvivalenterna ger liknande resultat och visar att toxisiteten hos blåmussla är högst Kungsviken (Koljefjorden) följt av Stenungsundsområdet, Danafjord och Brofjorden. I figur 7:25 illustreras detta med WHO-TEF ekvivalenten.

Tabell 7:35. Spridning och medelvärden (ng/kg ts) av polyklorerade dibenso-p-dioxiner and furaner samt några TCDD-ekvivalenter i blåmussla (*Mytilus edulis*) utmed Bohuskusten 2001.

Range and means (ng/kg dw) of polychloronated dibezo-p-dioxins and furanes, and some TCDD-equeivalent in blue musslel (Mytilus edulis) along the Bohus Coast in 2001.

Blåmussla	År	Antal stationer n	Intervall ng/kg ts	Medelvärde ng/kg ts	Medianvärde ng/kg ts	Standardavvikelse ng/kg ts
Sum PCDD/PCDF	2001	8	3,4–30,5	14,3	13,5	8,9
WHO-TEF	2001	8	0,048–0,36	0,12	0,092	0,1
TE Eadon	2001	8	0,053–0,49	0,20	0,071	0,25
TE nordisk	2001	8	0,0084–0,37	0,087	0,016	0,13

Svenska bedömningsgrunder för ekvivalenter i blåmussla saknas. Enligt norskt klassificeringschema (Rygg & Thèlin 1993) faller TCDD-ekvivalenten (TE-nordisk) i tillståndsklass I (”god”) på alla stationer utom i Kungsviken där tillståndet är mindre bra (klass II) (figur 7:26).



Figur 7:25. Koncentrationen av ∑PCDD/PCDF (ng/kg ts) och TE i-TEQ i blåmussla (*Mytilus edulis*) på respektive station utmed Bohuskusten 2001.

The concentration of ∑PCDD/PCDF (ng/kg ts) and TE i-TEQ in blue mussel (Mytilus edulis) at each station along the Bohus Coast in 2001 respectively.

Blåmussla	TE nordisk ng/kg 2001
Danafjord	0,082
Stenungsund	0,18000
Kungsviken	0,37
Yttre Gullmaren	0,0086
Inre Gullmaren	0,013
Brofjorden	0,019
Kungshamn	0,0084
Kosterfjorden	0,012

Bedömningsgrunder enl. norska SFT (1999) Tillståndsklasser	
Klass 1	God
Klass 2	Mindre god
Klass 3	Nokså dålig
Klass 4	Dålig
Klass 5	Meget dålig

Figur 7:26. Blåmusslans (*Mytilus edulis*) miljökvalitet utmed Bohuskusten 2001 med avseende på toxisitetsekvivalent TE-nordisk. Klassning enligt norska bedömningsgrunder (SFT1993).

The environmental quality of the blue mussel (Mytilus edulis) along the Bohus Coast with respect to the toxicity equivalent TE-nordisk 2001. Classification according to Norweigen Environmental Quality Criteria (SFT 1993).

7.4.3.8 Trendanalyser för Blåmussla

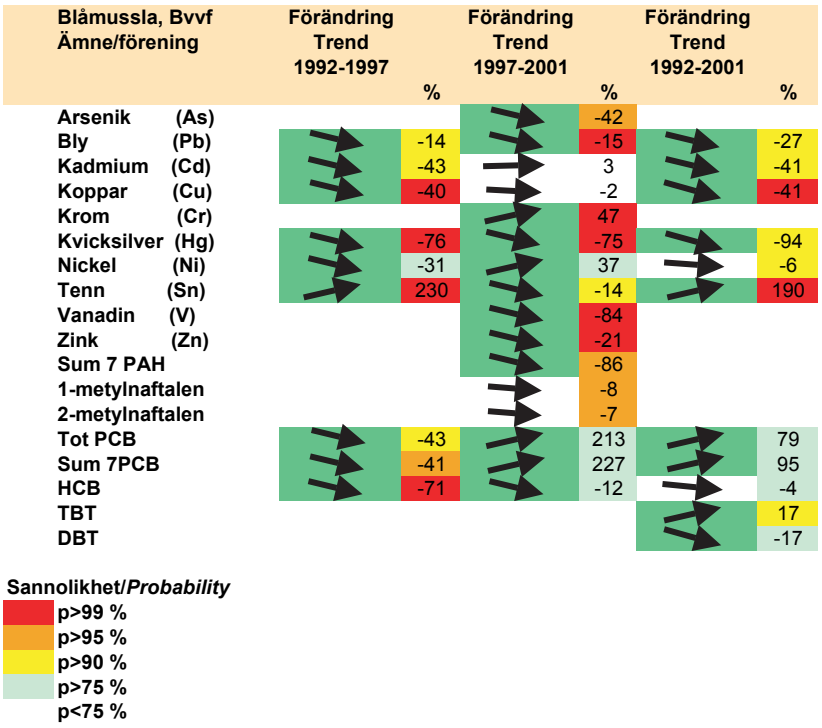
I de föregående avsnitten har presentationen av analysresultaten för blåmussla främst varit inriktad på att presentera den stationsvisa koncentrationsförändringen över tiden av respektive undersökt ämne/substans, samt att med hjälp av medel- och medianvärdesförändringen för samma period ge en generell bild av utvecklingen utmed Bohuskusten.

Sannolikheten för att de ovan beskrivna medelvärdesförändringarna är reella har dessutom testas statistiskt (enl. Fowler & Cohen 1996) med hjälp av s.k. t-test med (n–1) frihetsgrader för matchade datapar (dvs. data från samma stationer men härrörande från olika år i detta fall 1992, 1997 och 2001). Härigenom har den statistiska sannolikheten (p) för respektive medelvärdesförändring kunnat fastläggas.

Testen omfattar dels en matchning där 1992 och 1997 års data ställts mot varandra, dels motsvarande för 1997 och 2001 års data samt för 1992 och 2001 års data. Dessa s.k. trendanalyser ger med större eller mindre sannolikhet svar på hur säker en observerad förändring över tiden (trend) är.

Trenderna för blåmussla illustreras översiktligt i figur 7:27 där också den procentuella förändringen mellan åren anges. Pilarna visar om medelkoncentrationen för respektive ämne ökat, minskat eller är oförändrad. Resultaten av testen för matchade datapar visas med olika färger för olika sannolikhetsnivåer. Förändringar under 10 % betraktas inte som statistiskt signifikanta mot bakgrund av reproducerbarheten av ett prov i det kemiska analysarbetet.

Testen visar att med mer än 99 % sannolikhet har i genomsnitt kopparhalterna (Cu) i blåmussla minskat med 41 % och tennhalterna ökat med 190 % mellan 1992 och 2001. Under samma period har med 90–95 % sannolikhet halterna av bly (Pb), kadmium (Cd) och kvicksilver (Hg) minskat med 27 %, 41 % respektive 94 % medan halten av TBT ökat med 17 %. Sannolikheten för att halterna av bly (Pb) under samma period har minskat med 27 % är mindre än 75 %.



Figur 7:27. Sammanställning över förändringen av medelvärdeskoncentrationen för några ämnen och föreningar i blåmussla utmed Bohuskustens mellan 1992 och 2001. Nedåtriktad pil betyder minskad halt och uppåtriktad pil ökad halt. Grönmarkerade fält markerar förändringar som är större än de minst 10 % som baserat på reproducerbarheten vid den kemiska analysen krävs för att en förändring med säkerhet skall kunna bedömas.

Compilation of the changes of the average concentrations of some elements and compounds between 1992 and 2001 in blue mussel from the Bohus Coast. Arrow pointed downwards implies decreasing concentration and arrow pointed upwards implies increasing concentration. Green areas mark changes bigger than the minimum of 10 % due to the precision of chemical analyses.

Halten av både ∑7 PCB och total PCB sjönk starkt mellan 1992 och 1997 för att därefter öka kraftigt mellan 1997 och 2001. Sammantaget för hela perioden 1993–2001 har dock halten för ∑7 PCB och total PCB med en sannolikhet av 75–90 % ökat med 95 % respektive 79 % medan DBT minskat med 17 % och HCB med endast 4 %.

Trenderna för perioderna 1992–1997 respektive 1997–2001 är de samma för Pb och Hg som för hela perioden 1992–2001, medan främst Ni och Sn avviker under perioden 1997–2001. Under den senare perioden har med mer än 99 % sannolikhet halterna av Hg, V och Zn minskat med 75 %, 84 % respektive 21 %, medan Cr ökat med 47 %. As och PAH har under samma period, med mellan 95 och 99 % sannolikhet, minskat med 42 respektive 86 %.

Halterna för både ∑7 PCB och total PCB sjönk starkt mellan 1992 och 1997 för att därefter öka kraftigt mellan 1997 och 2001.

Halten av hexaklorbensen (HCB) minskade med 71 % mellan 1992 och 1997 (p>99 %) för att därefter för att därefter fortsätta att sjunka något. Det skall dock understrykas att dataunderlaget för medelvärdesförändringarna för HCB utmed Bohuskusten är litet för åren 1997 och 2001, fem respektive tre stationer, vilket innebär att resultaten mer skall betraktas som indikationer på åt vilket håll förändringarna går.

Trender under 10 % ligger inom felmariginalen. Data för As, Cr, V, Zn, PAH och metylnaftalener saknas för vissa år.

Utvecklingen för DBT och TBT mellan 1992 och 1997 samt 1997 och 2001 har inte tagits med i denna sammanställning mot bakgrund av att analyserna från 1997 sannolikt är felaktiga.

7.4.4 MILJÖGIFTER I TORSK

Analysresultaten från 1993, 1998 och 2001 års undersökningar av torskfilé och torsklever redovisas i tabellerna 47–59. Valet av analyser överensstämmer inte helt mellan de två undersökningstillfällena. Den första undersökningsomgången omfattade färre metaller och inga bicykliska och polycykliska aromatiska kolväteföreningar (PAH). Däremot undersöktes extraherbara organiska halogenföreningar, DDT och hexaklorbensen (HCB) vilket inte var fallet 1998 och 2001. En översikt över utförda analyser respektive år ges i tabell 7:36.

Torsk, *Gadus morhua* (Ursing 1956)

Tabell 7:36. Analyserade miljögifter i torsk (*Gadus morhua*) från Bohuskusten 1993–2001. Bokstäverna markerar vad som analyserats respektive år i filé (F) och lever (L).

Toxic elemenst and substances analysed in cod (Gadus morhua) caught along the Bohus Coast in 1993–2001. Capitals mark what have been analysed each year in the filet (F) and liver (L) respectively.

Ämnesgrupp	Specifikation	1993	1998	2001
Metaller	Al, As, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Sn, V, Zn,	F L	L	L
Organiska tennföreningar	dibutyl Sn, tributyl Sn		L	F L
Extraherbart org. Klor o brom	EOX, EOCl, EPOCl, EOBr, EPOBr	F L		
Polycykl. aromatiska kolväten	16 PAH		L	L
Metylnaftalener	1-metylnaftalen, 2-metylnaftalen		L	L
Polyklorerade bifenyler	Dutch 7 PCB, tot PCB	F L	L	F L
Nonorto PCB	PCB 77, PCB 126, PCB 169		L	
Diklordifenyltrikloretan	p,p-DDT, p,p-DDE. p,p-DDD, o,p-DDT	F L		
Hexaklorbensen	HCB	F L		
Toxafen			L	F L
Dioxiner och furaner	PCCD/PCDF		L	F L

Torsk fångades 1993 på stationerna 4, 10, 13 och 16. Både prov på filé och lever kunde införskaffas. Bristen på torsk omöjliggjorde en motsvarande provtagning 1998. Torsk kunde vid det senare tillfället endast fångas

vid Skalkorgarna utanför Göteborg (station 2) och vid Galterö utanför Stenungsund (station 10). Kvantiteten var dock så liten att ett samlingsprov på lever fick åstadkommas från dessa två stationer. Provet benämndes ”Syd”. Därutöver erhölls leverprov vid Kungshamn (station 17). 2001 fångades torsk på samtliga fem stationer. Detta innebär att stationsvisa jämförelsedata inte finns för alla år och stationer. Däremot kan medel- och medianvärden för de tre undersökningsomgångarna jämföras.

7.4.4.1 Tungmetaller

Vid 1993 års undersökningar analyserades enbart kvicksilver (Hg) och kadmium (Cd) i torsklever respektive torskfilé. Vid 1998 och 2001 års undersökningar analyserades Cd och Hg samt ytterligare 8 metaller (As, Cd, Cr, Cu, Ni, Pb, V och Zn) i enbart torsklever. I 2001 års undersökningar ingick dessutom mangan (Mn). Analysresultaten från 2001 redovisas för varje station tillsammans med med motsvarande resultat från de två undersökningstillfällena 1993 och 1998 i tabell 7:37. I tabell 7:38 redovisas i förekommande fall medelvärden, medianvärden, standardavvikelse och spridning för respektive metall och år i torsklever.

En jämförelse mellan medelvärdet för Cd och Hg i lever 1993 med motsvarande värden för samlingsprovet ”Syd” 1998 (tabell 7:37) antydde att Hg-halterna hade minskat och Cd-halterna ökat något. Osäkerheten var dock mycket stor eftersom jämförelsen baserades på ett medelvärde som jämfördes med ett samlingsprov, även om det senare kan anses representera en medelhalt. 2001 års data visar att halterna har sjunkit sedan 1993 för såväl Hg som Cd (fig. 7:28).

Koncentrationsutvecklingen vad avser övriga metaller, Cr, Zn och Sn undantaget, visar att halterna har minskat mellan 1998 och 2001 på den station (Kungshamn) där jämförelsematerial finns att tillgå. Cr, Zn och framför allt Sn har däremot ökat under samma period.

Om medelvärdet för ovan nämnda samlingsprov ”Syd” och provet från Kungshamn 1998 jämförs med medelvärdet för alla stationer från 2001 erhålls ett grovt och osäkert mått på den samlade utvecklingen. Denna visar att As, Pb, Cd, Cu, Hg, Ni, Sn, V och Zn minskat med respektive 28 %, 72 %, 64 %, 73 %, 55 %, 98 %, 18 % och 37 % medan Sn ökat med hela 370 %. Det skall dock understrykas att jämförelsen

Tabell 7:37. Koncentrationen (mg/kg ts) av tungmetaller i torskfilé respektive torsklever (*Gadus morhua*) utmed Bohuskusten 1993–2001. Streck (-) = ej analyserat.

The concentration (mg/kg dw) of heavy metals in cod fillet respective liver (Gadus morhua) along the Bohus Coast in 1993–2001. Line (-) = not analysed.

Filé Station	År	Al mg/kg ts	As mg/kg ts	Cd mg/kg ts	Cr mg/kg ts	Cu mg/kg ts	Hg mg/kg ts	Ni mg/kg ts	Pb mg/kg ts	Sn mg/kg ts	V mg/kg ts	Zn mg/kg ts
4	1993	-	-	<0,02	-	-	0,99	-	-	-	-	-
10	1993	-	-	<0,02	-	-	0,74	-	-	-	-	-
13	1993	-	-	<0,02	-	-	0,76	-	-	-	-	-
16	1993	-	-	<0,02	-	-	0,88	-	-	-	-	-

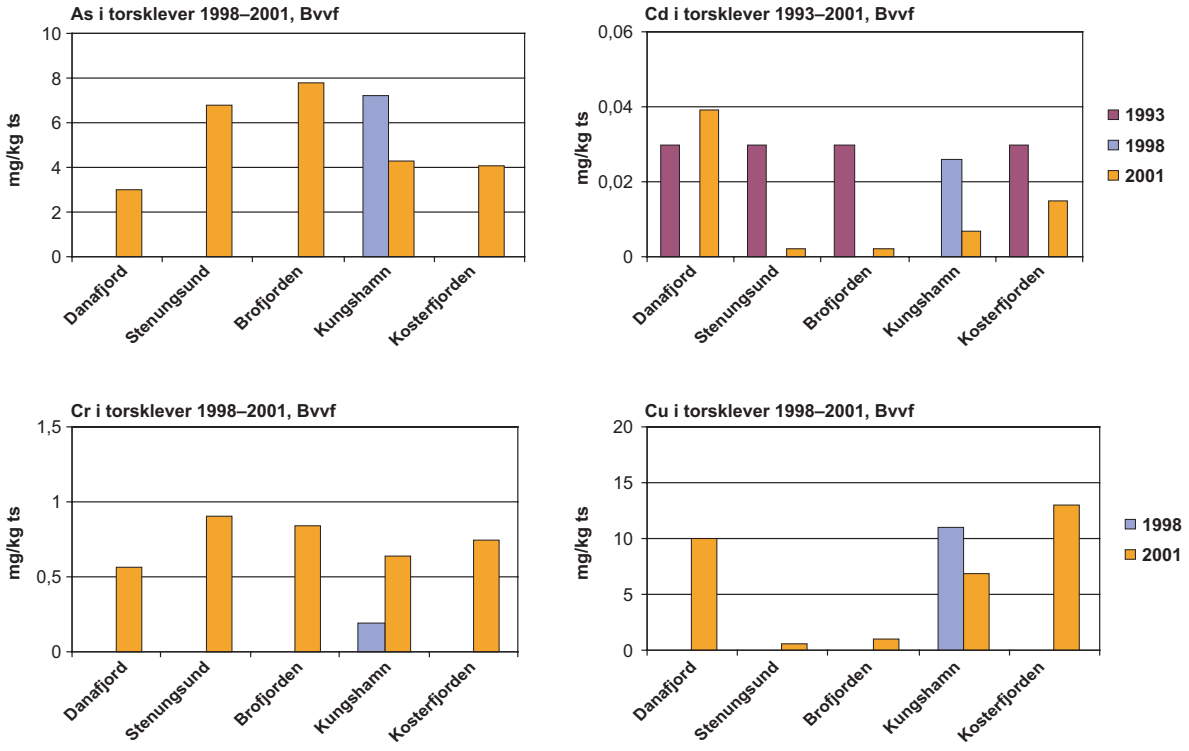
Lever Station	År	As mg/kg ts	Cd mg/kg ts	Cr mg/kg ts	Cu mg/kg ts	Hg mg/kg ts	Mn mg/kg ts	Ni mg/kg ts	Pb mg/kg ts	Sn mg/kg ts	V mg/kg ts	Zn mg/kg ts
4	1993	-	0,03	-	-	0,19		-	-	-	-	-
	1998	-	-	-	-	-		-	-	-	-	-
	2001	3	0,039	0,56	10	0,02	0,89	<0,032	0,056	0,27	0,14	32
10	1993	-	0,03	-	-	0,18		-	-	-	-	-
	1998	-	-	-	-	-		-	-	-	-	-
	2001	6,8	<0,0028	0,90	0,56	0,14	0,86	0,092	0,046	0,34	0,24	56
13	1993	-	0,03	-	-	0,21		-	-	-	-	-
	1998	-	-	-	-	-		-	-	-	-	-
	2001	7,8	<0,002	0,84	1,0	0,076	0,53	0,053	0,23	0,48	0,27	63
16	1993	-	0,03	-	-	0,25		-	-	-	-	-
	1998	-	-	-	-	-		-	-	-	-	-
	2001	4,1	0,0069	0,74	13	0,025	1,3	0,023	0,009	0,25	0,19	45
17	1993	-	-	-	-	-		-	-	-	-	-
	1998	7,2	0,026	0,19	11	0,04		2,8	0,33	<0,18	<0,18	20
	2001	4,3	0,015	0,64	6,9	<0,001	0,93	0,025	0,015	4,3	0,15	33
Syd	1998	7,1	0,045	0,38	35	0,19	-	1,9	0,17	<0,3	<0,3	126

haltar betänkligt och att någon säker trend inte kan avgöras på grund av bristerna i materialet från 1998. En jämförelse med Cr är inte meningsfylld då analysmetoderna skiljer sig allt för mycket åt mellan åren (lakning 1998 respektive totalanalys 2001).

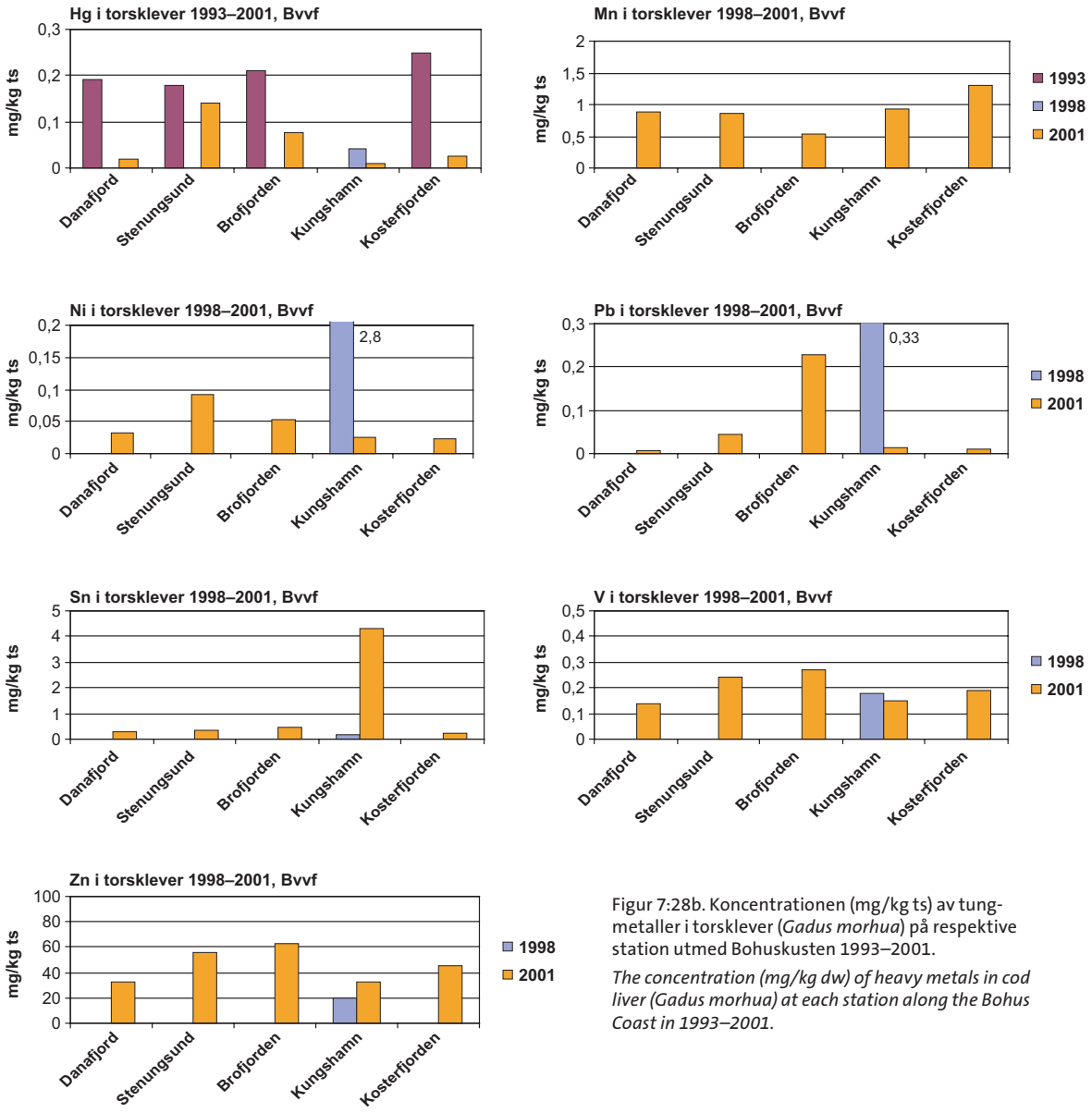
Svenska bedömningsgrunder för metaller i torskfilé och torsklever saknas.

Tabell 7:38. Spridning och medelvärden (mg/kg ts) för metaller i torsklever (*Gadus morhua*) utmed Bohuskusten 1993–2001.
Range and means (mg/kg dw) of metals in cod liver (Gadus morhua) along the Bohus Coast in 1993–2001.

Torsklever	År	Antal stationer n	Intervall mg/kg ts	Medelvärde mg/kg ts	Medianvärde mg/kg ts	Standardavvikelse mg/kg ts
As	1998	2	7,1–7,2	7,2	7,2	0,07
	2001	5	3–7,8	5,2	4,3	2,0
Cd	1993	4	0,03	0,03	0,03	0
	1998	2	0,026–0,045	0,036	0,036	0,013
	2001	5	<0,002–0,039	0,013	0,014	0,015
Cr	1998	2	0,19–0,38	0,29	0,29	0,13
	2001	5	0,56–0,90	0,74	0,74	0,14
Cu	1998	2	11–35	23	23	17
	2001	5	0,56–13	6,3	6,9	5,5
Hg	1993	4	0,18–0,25	0,21	0,2	0,03
	1998	2	0,04–0,19	0,12	0,12	0,10
	2001	5	0,0098–0,14	0,054	0,025	0,054
Mn	2001	5	0,53–1,3	0,90	0,89	0,27
Ni	1998	2	1,9–2,8	2,4	2,4	0,64
	2001	5	<0,023–0,092	0,045	0,032	0,029
Pb	1998	2	0,17–0,33	0,25	0,25	0,11
	2001	5	0,089–0,23	0,071	0,046	0,090
Sn	1998	2	<0,3	-	-	-
	2001	5	0,25–4,3	1,1	0,34	1,8
V	1998	2	<0,3	-	-	-
	2001	5	0,14–0,27	0,20	0,19	0,056
Zn	1998	2	20–130	73	73	75
	2001	5	32–63	46	45	14



Figur 7:28a. Koncentrationen (mg/kg ts) av tungmetaller i torsklever (*Gadus morhua*) på respektive station utmed Bohuskusten 1993–2001.
The concentration (mg/kg dw) of heavy metals in cod liver (Gadus morhua) at each station along the Bohus Coast in 1993–2001.



Figur 7:28b. Koncentrationen (mg/kg ts) av tungmetaller i torsklever (*Gadus morhua*) på respektive station utmed Bohuskusten 1993–2001.

The concentration (mg/kg dw) of heavy metals in cod liver (Gadus morhua) at each station along the Bohus Coast in 1993–2001.

7.4.4.2 Organiska tennföreningar

Organiska tennföreningar undersöktes inte i torsklever och torskfilé 1993 men väl 1998 och 2001. Även i detta fall begränsas data 1998 av ett samlingsprov och ett prov från Kungshamn. Analysresultaten redovisas i tabell 7:39. I tabell 7:40 redovisas medelvärden, medianvärden, standardavvikelse och spridning för respektive tennförening och år. Halterna i filén 2001 låg under detektionsgränsen (<0,07 mg/kg ts).

Resultaten från 1998 års undersökningar visar att halten av både dibutyltenn (DBT) och tributyltenn (TBT) i samlingsprovet station ”Syd” ligger ca två gånger högre än detektionsgränsen. Halterna vid station 17 (Byttelocket) låg under detektionsgränsen. Vid undersökningarna 2001 låg samtliga leverprov utom DBT från Stenungsund och TBT från Kungshamn under detektionsgränsen. På de två nämnda stationerna låg halterna nära detektionsgränsen, och var ca sju gånger lägre än samlingsprovet ”Syd” från 1998. Vid en jämförelse mellan medelvärdet för samlingsprov ”Syd” och station 17 med medelvärdet för 2001 har TBT och DBT halterna minskat med 82 respektive 61 %.

I figur 7:29 illustreras resultaten från 1998 och 2001. Halter under detektionsgränsen har uteslutits i figuren.

Svenska bedömningsgrunder för organiska tennföreningar i torsklever saknas.

Tabell 7:39. Koncentrationen (mg/kg ts) av organiska tennföreningar i torsklever (*Gadus morhua*) utmed Bohuskusten 1998–2001.

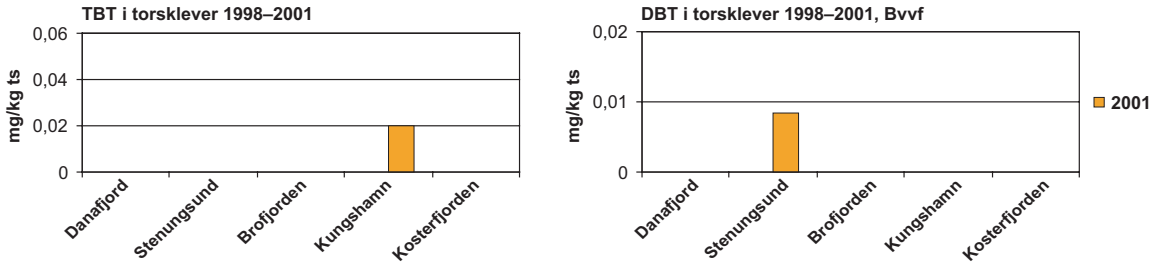
The concentration (mg/kg dw) of organic tin compounds in cod liver (Gadus morhua) along the Bohus Coast in 1998–2001.

Torsklever Station	År	Dibutyltenn mg/kg ts	Tributytenn mg/kg ts
4	2001	<0,02	<0,02
10	2001	0,0085	<0,005
13	2001	<0,05	<0,05
16	2001	<0,02	<0,02
17	1998	<0,03	<0,06
	2001	<0,02	0,02
Syd (2+10)	1998	0,06	0,13

Tabell 7:40. Spridning och medelvärden (mg/kg ts) för organiska tennföreningar i torsklever (*Gadus morhua*) utmed Bohuskusten 1998–2001.

Range and means (mg/kg dw) of organotin compounds in cod liver (Gadus morhua) along the Bohus Coast in 1998–2001.

Torsklever	År	Antal stationer n	Intervall mg/kg ts	Medelvärde mg/kg ts	Medianvärde mg/kg ts	Standardavvikelse mg/kg ts
Dibutyl-Sn	1998	2	<0,03–0,06	-	-	-
	2001	5	<0,050, 0085	0,024	0,02	0,016
Tributyl-Sn	1998	2	<0,06–0,13	-	-	-
	2001	5	<0,005–0,02	0,023	0,02	0,016



Figur 7:29. Koncentrationen (mg/kg ts) av tributyltenn och dibutyltenn i torsklever (*Gadus morhua*) på respektive station utmed Bohuskusten 1998–2001.

The concentration (mg/kg dw) of tributhyl-tin and dibuthyl-tin in cod liver (Gadus morhua) at each station along the Bohus Coast in 1998–2001.

7.4.4.3 Metylnaftalener och polycykliska aromatiska kolväten

Polycykliska aromatiska kolväteföreningar (PAH) undersöktes inte i torsk 1993, men väl i torsklever 1998 och 2001. Undersökningarna 1998 inskränkte sig till station 17 i Kungshamn och ett samlingsprov ”Syd” bestående av torsklever från stationerna 2 och 10. Analysresultaten redovisas i tabell 7:41 samt illustreras i figurerna 7:30 och 7:31. I tabell 7:42 redovisas medelvärden, medianvärden, standardavvikelse och spridning för respektive förening.

Fyra föreningarna (naftalen, 2-metylnaftalen, 1-metylnaftalen) detekterades 1998. I samlingsprovet från station ”Syd” var halterna genomgående något högre på station ”Syd” jämfört med Kungshamn. År 2001 detekterades naftalen på alla stationer utom i Brofjorden. Den högsta halten (40 µg/kg ts) påträffades i torsklever från Kungshamn. 1-metylnaftalen påvisades i Brofjorden 2001.

Av övriga PAH detekterades 1998 sex stycken (acenaften, fluoren, fenantren, antracen, fluoranten och pyren) på station 17 och i samlingsprovet station ”Syd” med undantag för acenaften i det sist nämnda provet. Halter var genomgående högre i provet ”Syd” än på station 17. Summa PAH var mer än dubbelt så högt där.

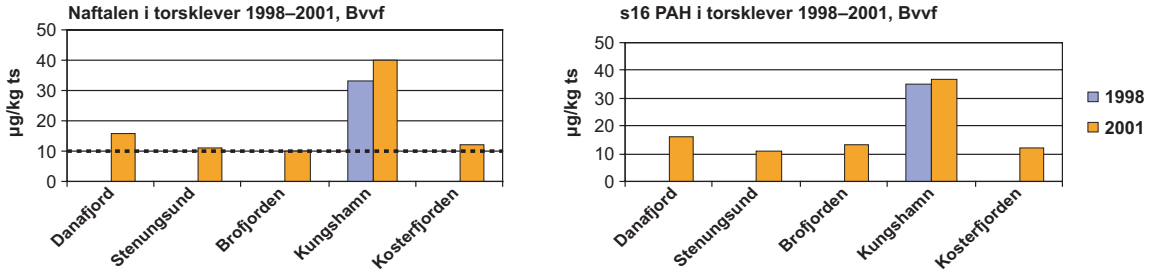
2001 detekterades inga PAHer, vilket sannolikt berodde på att detektionsgränsen låg högre än 1998.

Vid en jämförelse mellan 1998 och 2001 på station Kungshamn kan konstateras att halten av naftalen ökat med 21 % sedan 1998. ∑6 PAH är dock 45 % lägre än ∑6 PAH på station 17, men jämförelsen och koncentrationsförändringen är osäker till följd av att detektionsgränsen var högre 2001.

Tabell 7:41. Koncentrationen (µg/kg ts) av metylnaftalener och polycykliska aromatiska kolväten (PAH) i torsklever (*Gadus morhua*) utmed Bohuskusten 1998–2001.

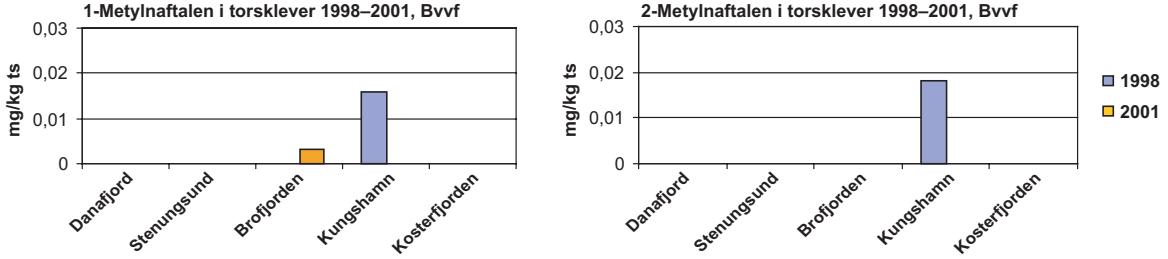
The concentration (µg/kg dw) of methylnaphtalenes and polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH) in cod liver (Gadus morhua) along the Bohus Coast in 1998–2001.

Torsklever µg/kg ts	År	4	10	13	16	17	Syd
Naftalen	1998	-	-	-	-	33	35
	2001	16	11	<10	12	40	
Acenaftylen	2001	<10	<2	<2	<10	<10	
Acenaften	1998	-	-	-	-	3	<1
	2001	<10	<2	<2	<30	<30	
Fluoren	1998	-	-	-	-	8	11
	2001	<40	<2	<2	<30	<30	
Fenantren	1998	-	-	-	-	13	26
	2001	<30	<10	<10	<10	<30	
Antracen	1998	-	-	-	-	1	6
	2001	<10	<2	<2	<60	<10	
Fluoranten	1998	-	-	-	-	9	21
	2001	<40	<2	<2	<20	<40	
Pyren	1998	-	-	-	-	1	13
	2001	<40	<2	<2	<10	<20	
Benso(a)antracen	2001	<10	<2	<2	<10	<10	
Krysen/Trifenylen	2001	<20	<2	<2	<10	<10	
Benso(b)fluoranten	2001	<10	<2	<2	<10	<10	
Benso(k)fluoranten	2001	<10	<2	<2	<10	<10	
Benso(a)pyren	2001	<10	<2	<2	<10	<10	
Indeno(1,2,3-cd)peylen	2001	<10	<2	<2	<10	<10	
Benso(g,h,i)perylen	2001	<10	<2	<2	<10	<10	
Dibenso(a,h)antracen	2001	<10	<2	<2	<10	<10	
Sum 6 PAH	1998					68	112
Sum 16 PAH	**2001**	**16**	**11**	**13**	**12**	**37**	
2-metylnaftalen	1998					18	31
	2001	<10	<10	<5	<10	<10	
1-metylnaftalen	1998					16	20
	2001	<10	<3	3,2	<10	<10	



Figur 7:30. Koncentrationen (µg/kg ts) av polycykliska aromatiska kolväten (PAH) i torsklever (*Gadus morhua*) utmed Bohuskusten 1998–2001. streckad linje = detektionsgräns 2001

The concentration (µg/kg dw) of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH) in cod liver (Gadus morhua) along the Bohus Coast in 1998–2001. Broken line = detection limit in 2001.



Figur 7:31. Koncentrationen (µg/kg ts) av metylnaftalener och polycykliska aromatiska kolväten (PAH) i torsklever (*Gadus morhua*) utmed Bohuskusten 1998–2001.

The concentration (µg/kg dw) of methylnaphtalenes and polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH) in cod liver (Gadus morhua) along the Bohus Coast in 1998–2001.

Tabell 7:42. Spridning och medelvärden (µg/kg ts) för metylnaftalener och polycykliska aromatiska kolväteföreningar (PAHer) i torsklever (*Gadus morhua*) utmed Bohuskusten 1998–2001.

Range and means(µg/kg dw) of methylnaphtalenes and polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in cod liver (Gadus morhua) along the Bohus Coast in 1998–2001.

Torsklever	År	Antal stationer n	Intervall µg/kg ts	Medelvärde µg/kg ts	Medianvärde µg/kg ts	Standardavvikelse µg/kg ts
Naftalen	1998	2	33–35	34	34	1,4
	2001	5	<10–40	18	12	13
Acenaftylen	2001	5	<2–<10			
Acenaften	1998	2	<1–3	–	–	–
	2001	5	<2–<30			
Fluoren	1998	2	8–11	9,5	9,5	2,1
	2001	5	<2–<40			
Fenantren	1998	2	13–26	20	20	9,2
	2001	5	<10–<30			
Antracen	1998	2	1–6	3,5	3,5	3,5
	2001	5				
Fluoranten	1998	2	9–21	15	15	8,4
	2001	5	<2–<40			
Pyren	1998	2	1–13	7	7	8,5
	2001	5				
Benso(a)antracen	2001	5	<2–<10			
Krysen/Trifenylen	2001	5	<2–<20			
Benso(b)fluoranten	2001	5	<2–<10			
Benso(k)fluoranten	2001	5	<2–<10			
Benso(a)pyren	2001	5	<2–<10			
Indeno(1,2,3-cd)peylen	2001	5	<2–<10			
Benso(g,h,i)perylen	2001	5	<2–<10			
Dibenso(a,h)antracen	2001	5	<2–<10			
Sum 6 PAH	1998	2	35–77	56	56	27
Sum 16 PAH	**2001**	**5**	**11–37**	**18**	**13**	**11**
2-metylnaftalen	1998	2	18–31	25	25	9,2
	2001	5	<5–<10			
1-metylnaftalen	1998	2	16–20	18	18	2,8
	2001	5	<3–10	7,2	10	3,8

Om medelvärdet för ovan nämnda samlingsprov ”Syd” och provet från Kungshamn 1998 jämförs med medelvärdet för alla stationer från 2001 erhålls ett grovt och osäkert mått på den samlade utvecklingen. Denna visar på en koncentrationsminskning på ca 80 %. Osäkerheten är stor då jämförelsen haltar, men kan ses som en indikation på att halterna i torsklever kan ha minskat under perioden 1998–2001.

Svenska bedömningsgrunder för PAH i torsklever saknas.

7.4.3.4 Polyklorerade bifenyler

Polyklorerade bifenyler (PCB) undersöks både i torskfilé och torsklever. Undersökningarna i filé begränsades 1993 till torsk som fångats i Danafjord (station 4), Stenungsund (station 10) och Kosterfjorden (station 16), samt 1998 till torsk fångad i Kungshamn (station 17). Undersökningarna av filé 2001 reducerades till två stationer (Danafjord och Kosterfjorden). Analysresultaten redovisas i tabellerna 7:43.

Torsklever däremot analyserades 1993 och 2001 på fyra respektive fem stationer (Danafjord, Stenungsund, Kungshamn, Kosterfjorden och fr.o.m. 2001 Brofjorden). Undersökningarna 1998 inskränkte sig till station 17 i Kungshamn samt ett samlingsprov ”Syd” bestående av torsklever från Danafjord och Stenungsund (stationerna 2 och 10). Analysresultaten för torsklever redovisas i tabell 7:44. I tabellerna 7:45 och 7:46 redovisas medelvärden, medianvärden, standardavvikelse och spridning för respektive förening i filé respektive lever.

I torskfilé kunde 2001 alla utom en kongen (PCB-52) detekteras utanför Göteborg (Danafjord) och alla utom två kongener (PCB-28, PCB-52) i Kosterfjorden. I det senare området var halten ∑7 PCB ca fem gånger högre än utanför Göteborg. Resultatet skiljer sig därmed åt från 1993 då istället halterna i filé var högre i Göteborgsområdet (fig. 7:32a–b).

I torsklever kunde, med ett undantag, samtliga sju kongener detekteras på samtliga stationer såväl 1993 som 2001. Undantaget utgjordes av PCB-52 som 2001 inte kunde påvisas på stationerna i Stenungsund och

Brofjorden. De högsta halterna av ∑7 PCB påvisades såväl 1993 som 2001 i Göteborgsområdet (station 4) och Brofjorden (station 13) (fig. 7:32a–b).

1993 var på samtliga stationer halterna i torsklever dubbelt så höga som halterna i filén. 2001 var halten utanför Göteborg (Danafjord) lika stor i filén som i levern, medan halten i filén från Kosterfjorden var ca 15 gånger högre än i levern. Det senare är så anmärkningsvärt att analysfel inte kan uteslutas.

Mönstret för total-PCB (mätt som Aroclor 1254) år 2001 är snarlikt mönstret för ∑7 PCB, dvs. med de högsta halterna påvisade utanför Göteborg och i Brofjorden.

Halten total-PCB i lever i samlingsprovet från Göteborgs- och Stenungsundsområdet (stationerna 2 och 10) 1998 är ca sex gånger högre än i provet från station 17 (Byttelocket). Svenska bedömningsgrunder saknas för PCB i torsk, men enligt norska bedömningsgrunder (SFT 1993) för torsklever faller station 10 (Danafjord) i klass 2 (”Mindre god”) och övriga i klass 1 (”God”). Båda stationerna där filén undersökts faller i klass 2.

I genomsnitt har halten ∑7 PCB i torsklever minskat med 23 % mellan 1993 och 2001. Förändringen i filén under samma period visar på en ökning av halten i både Göteborgsområdet och Kosterfjorden. Ökningen i Göteborgsområdet är ca 50 % medan den långt större förändringen i Kosterfjorden är mycket osäker till följd av eventuellt analysfel.

Tabell 7:43. Koncentrationen (µg/kg fett) av PCB i torskfilé (*Gadus morhua*) utmed Bohuskusten 1993–2001. -. = ej detekterat.
The concentration (µg/kg fat) of PCBs in cod filet (Gadus morhua) along the Bohus Coast in 1993–2001. -. = not detected

Torskfilé Station	År	PCB 28 µg/kg fett	PCB 52 µg/kg fett	PCB 101 µg/kg fett	PCB 118 µg/kg fett	PCB 138 µg/kg fett	PCB 153 µg/kg fett	PCB 180 µg/kg fett	Sum 7 PCB µg/kg fett	Sum PCB som aroklor 1254 µg/kg fett
4	1993	154	<154-	200	159	338	369	<154	1077	4 081
	1998	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	2001	24	<166	135	296	407	611	152	1630	5740
10	1993	-	-	-	-	182	182	-	364	-
	1998	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	2001									
13	1993	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	1998	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	2001									
16	1993	<147	<147	<147	<147	147	162	<147	309	-
	1998	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	2001	<47	<47	558	1 419	2 116	3 023	814	7 907	27 907

Tabell 7:44. Koncentrationen (µg/kg fett) av PCB i torsklever (*Gadus morhua*) utmed Bohuskusten 1993–2001. -. = ej detekterat.
The concentration (µg/kg fat) of PCBs in liver (Gadus morhua) along the Bohus Coast in 1993–2001. -. = not detected

Torskfilé Station	År	PCB 28 µg/kg fett	PCB 52 µg/kg fett	PCB 101 µg/kg fett	PCB 118 µg/kg fett	PCB 138 µg/kg fett	PCB 153 µg/kg fett	PCB 180 µg/kg fett	Sum 7 PCB µg/kg fett	Sum PCB som aroklor 1254 µg/kg fett
4	1993	16.7	56.8	322	367	783	815	236	2 600	10 600
	1998	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	2001	9,6	27,7	136	277	426	511	149	1532	5 319
10	1993	6.26	15.4	74.9	108	218	233	73.8	730	2 970
	1998	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	2001	54	<44	36	144	136	275	62	638	2 319
13	1993	7.97	18.2	108	180	327	367	93.3	1 110	4 570
	1998	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	2001	25	<53	47	253	320	507	127	1253	4 400
16	1993	6.27	11.6	11.6	63.1	212	227	67	700	2 840
	1998	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	2001	4	10	59	120	130	170	48	544	1 891
17	1993	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	1998	5	7	39	101	163	161	40	516	1 032
	2001	5	19	117	242	247	278	86	1 000	3 611
Syd	1998	29	78	354	93	1 340	1 210	513	3 600	7 200

Tabell 7:45. Spridning och medelvärden för PCB i torsklever (*Gadus morhua*) utmed Bohuskusten 1993–2001.

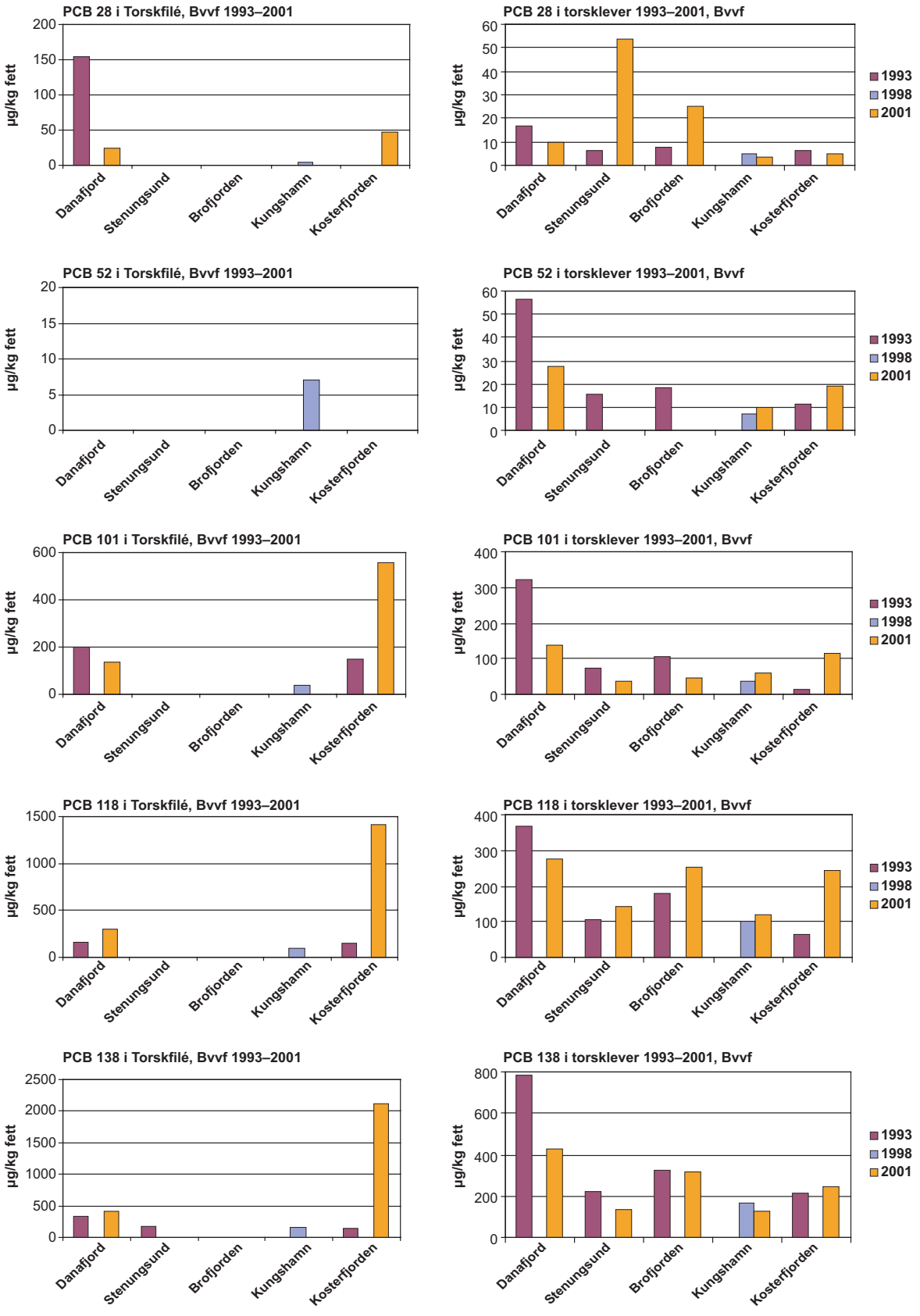
Range and means of PCBs in cod liver (Gadus morhua) along the Bohus Coast in 1993–2001.

Torsklever	År	Antal stationer n	Intervall µg/kg fett	Medelvärde µg/kg fett	Medianvärde µg/kg fett	Standardavvikelse µg/kg fett
PCB 28	1993	4	6.3–17	9.3	7.1	5
	1998	2	5–29	17	17	17
	2001	5	3,7–54	19	9,6	21
PCB 52	1993	4	12–57	26	17	21
	1998	2	7–78	43	43	50
	2001	5	3,7–53,6	31	28	18
PCB 101	1993	4	12–320	129	91	135
	1998	2	39–350	197	197	223
	2001	5	36–136	79	59	45
PCB 118	1993	4	63–370	180	144	134
	1998	2	93–101	97	97	5.7
	2001	5	120–277	207	242	70
PCB 153	1993	4	230–820	411	300	277
	1998	2	160–1210	686	686	271
	2001	5	170–511	348	278	153
PCB 138	1993	4	210–780	385	273	271
	1998	2	160–1 340	752	752	832
	2001	5	130–426	252	247	125
PCB 180	1993	4	67–240	118	84	80
	1998	2	40–510	277	277	334
	2001	5	48–149	94	86	43
Sum 7 PCB	1993	4	700–2 600	1 285	920	896
	1998	2	520–3 600	2 058	2 058	2 181
	2001	5	544–1 532	993	1 000	414
PCB Aroclor 1254	1993	4	2840–10600	5 245	3 770	3 655
	1998	2	1030–7200	4 116	4 116	4 361
	2001	5	1890–5320	3 508	3 611	1 424

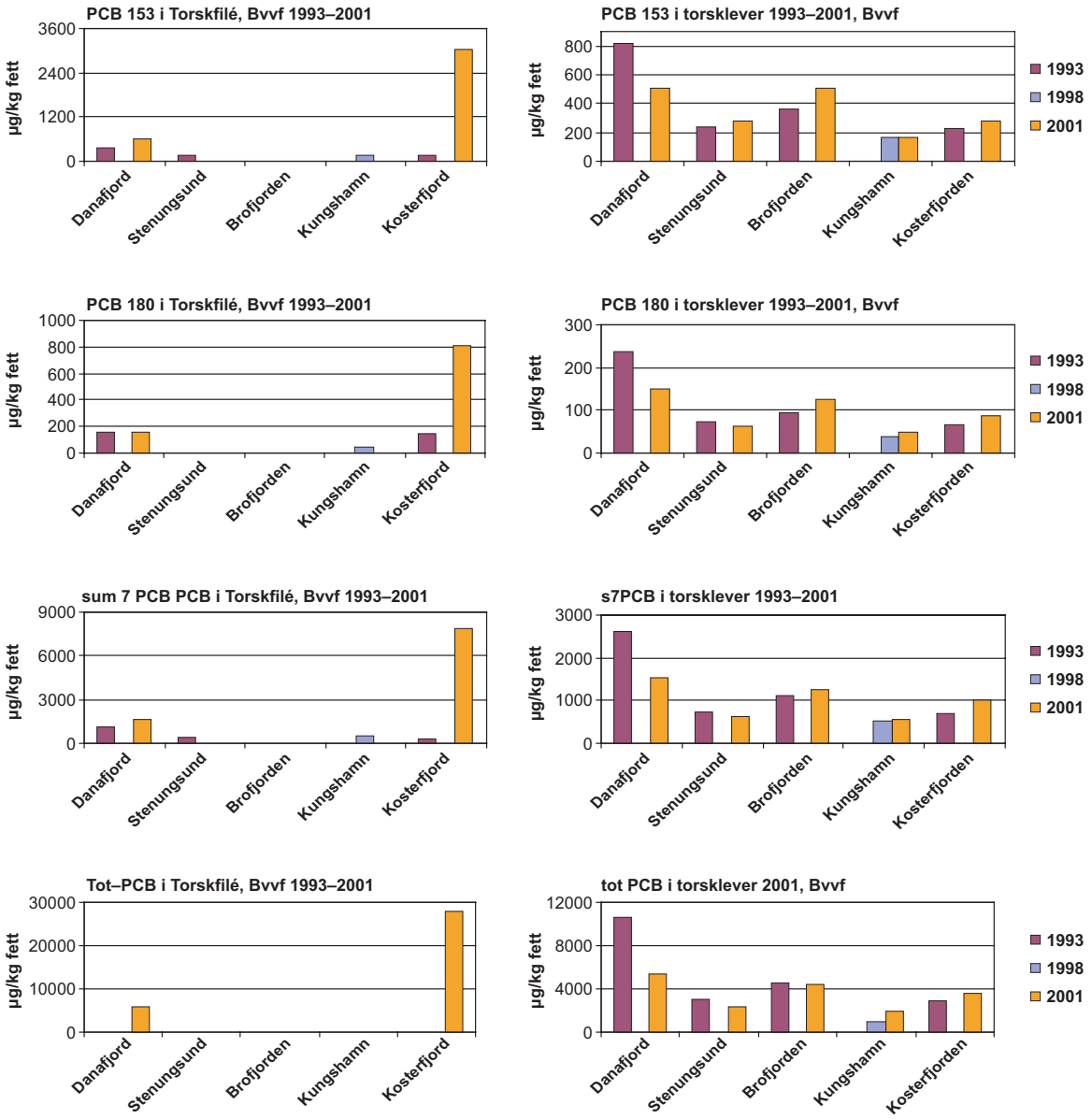
Tabell 7:46. Spridning och medelvärden för PCB i torskfilé (*Gadus morhua*) utmed Bohuskusten 1993–2001.

Range and means of PCBs in cod filet (Gadus morhua) along the Bohus Coast in 1993 -2001.

Torskfilé	År	Antal stationer n	Intervall µg/kg fett	Medelvärde µg/kg fett	Medianvärde µg/kg fett	Standardavvikelse µg/kg fett
PCB 28	1993	4	<147	-	-	-
	2001	2	24–47	36	36	16
PCB 53	1993	4	<147	-	-	-
	2001	2	<47–166	107	107	84
PCB 101	1993	4	<147–200	-	-	-
	2001	2	135–558	347	347	299
PCB 118	1993	4	<147–160	-	-	-
	2001	2	296–1419	858	858	794
PCB 153	1993	4	160–370	232	198	94
	2001	2	611–3023	1817	1817	1705
PCB 138	1993	4	150–340	220	198	83
	2001	2	407–2116	1 262	1 262	1 208
PCB 180	1993	4	<147	-	-	-
	2001	2	152–814	483	483	468
Sum 7 PCB	1993	4	<213–1080	-	-	-
	2001	2	1630–7907	4 769	4 769	4 439
PCB Aroclor 1254	1993	1	4 080	-	-	-
	2001	2	5740–27907	16 823	16 823	15 674



Figur 7:32a. Koncentrationen (µg/kg fett) av PCB i torskfile (t.v.) torsklever (*Gadus morhua*) (t.h.) utmed Bohuskusten 1993–2001.
The concentration (µg/kg fat) of PCBs in cod fillet and cod liver (Gadus morhua) along the Bohus Coast in 1993–2001



Figur 7:32b. Koncentrationen (µg/kg fett) av PCB i torskfile (t.v.) torsklever (*Gadus morhua*) (t.h.) utmed Bohuskusten 1993–2001.
The concentration (µg/kg fat) of PCBs in cod fillet and cod liver (Gadus morhua) along the Bohus Coast in 1993–2001

7.4.4.5 Polybromerade difenyletrar

Inom ramen för kustvattenkontrollen undersöktes polybromerade difenyletrar (PBDE) i torsklever för första gången 2001. Analysresultaten samt medel- och medianvärden redovisas i tabellerna 7:47 och 7:48. Av åtta undersökta kongener kunde PBDE-47 påvisas på samtliga fem stationer, PBDE-99 på alla stationer utom en (Stenungsund) och PBDE-100 på alla stationer utom i Stenungsund och Brofjorden. PBDE-154 kunde inte detekteras på någon station.

Övriga kongener (PBDE-85 och PBDE-138 och PBDE-153) kunde inte påvisas på någon annan station än i Danafjord utanför Göteborg (figur 7:33). Danafjord uppvisade också de högsta halterna för alla kongener utom dekaBDE som var något högre i Brofjorden. Med undantag för dekaBDE låg halterna i Danafjord mellan 2 och 30 gånger högre än på övriga stationer.

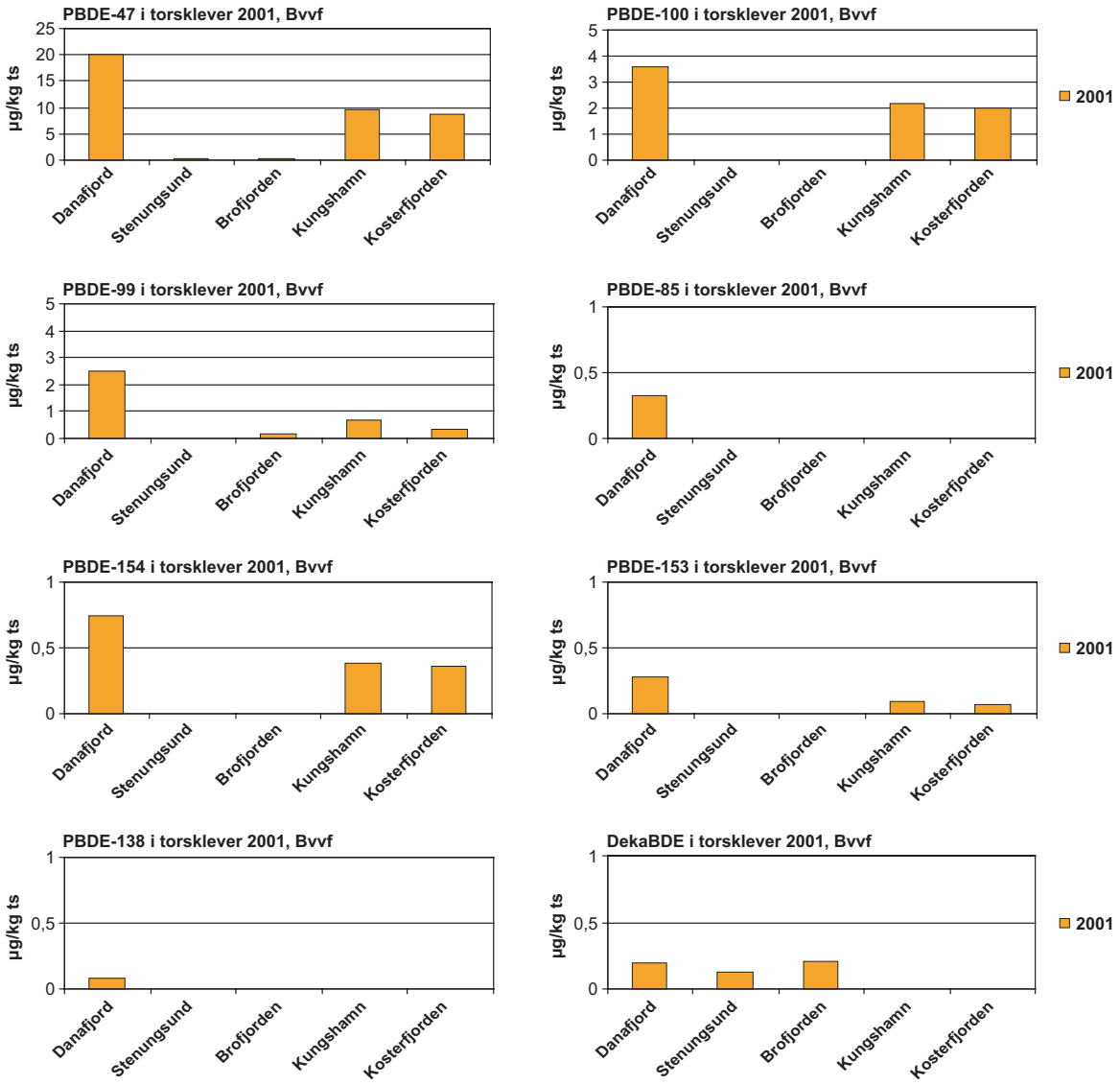
Resultaten visar med all tydlighet att Göteborgsområdet är kustens mest belastade område vad gäller PBDE:er. Svenska bedömningsgrunder för PBDE i torsk saknas.

Tabell 7:47. Koncentrationen (µg/kg ts) av polybromerade difenyletrar i torsklever (*Gadus morhua*) utmed Bohuskusten 2001.
The concentration (mg/kg dw) of polybrominated diphenylethers in cod liver (Gadus morhua) along the Bohus Coast in 2001.

Station Torsklever	År	PBDE-47 µg/kg ts	PBDE-100 µg/kg ts	PBDE-99 µg/kg ts	PBDE-85 µg/kg ts	PBDE-154 µg/kg ts	PBDE-153 µg/kg ts	PBDE-138 µg/kg ts	DekaBDE µg/kg ts
4	2001	20	3,6	2,5	0,33	<0,74	0,28	0,082	0,19
10	2001	0,2	<0,05	<0,11	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	0,13
13	2001	0,28	<0,05	0,16	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	0,21
16	2001	8,8	2,0	0,33	<0,1	<0,36	<0,069	<0,05	<0,1
17	2001	9,5	2,2	0,67	<0,1	<0,38	<0,0097	<0,05	<0,1

Tabell 7:48. Spridning och medelvärden (mg/kg ts) för polybromerade difenyletrar i torsklever (*Gadus morhua*) utmed Bohuskusten 2001.
Range and means (mg/kg dw) of polybrominated diphenylethers in cod liver (Gadus morhua) along the Bohus Coast in 2001.

Torsklever	År	Antal stationer n	Intervall µg/kg ts	Medelvärde µg/kg ts	Medianvärde µg/kg ts	Standardavvikelse µg/kg ts
PBDE-47	2001	5	0,2–20	7,8	8,8	8,2
PBDE-100	2001	5	<0,05–3,6	1,6	2	1,5
PBDE-99	2001	5	0,11–2,5	0,75	0,33	1,0
PBDE-85	2001	5	<0,05–0,33	0,13	0,1	0,12
PBDE-154	2001	5	<0,05–0,74	0,32	0,36	0,29
PBDE-153	2001	5	<0,05–0,28	0,11	0,07	0,097
PBDE-138	2001	5	<0,05–0,082	0,056	0,05	0,014
DekaBDE	2001	5	<0,1–0,21	0,15	0,13	0,051



Figur 7:33. Koncentrationen (µg/kg ts) av (PBDE) i torsklever (*Gadus morhua*) utmed Bohuskusten 1993–2001.
The concentration (µg/kg dw) of PBDEs in cod liver (Gadus morhua) along the Bohus Coast in 1993–2001

3.3.3.6 Polyklorerade furaner och dioxiner

Torsklever och torskfilé från kontrollprogrammet 2001 analyserades med avseende på polyklorerade dibenso-p-dioxiner (PCDD) och furaner (PCDF), vilka ingår i den olika modellerna för TCDD-ekvivalentberäkning (TE-nordisk, WHO-TEF och TE-Eadon), samt till summa halter för de övriga tetra- till okta- CDD/CDF-isomererna. Analysresultaten redovisas i tabell 7:49–7:50 och spridning, medel- och medianvärden i torsklever i tabellerna 7:51.

Tabell 7:49. Koncentrationen (ng/kg ts) av polyklorerade dibenso-p-dioxiner and furaner samt några TCDD-ekvivalenter (ng/kg ts) i torsklever (*Gadus morhua*) utmed Bohuskusten 2001.

The concentration (ng/kg dw) of polychloronated dibezo-p-dioxins and furanes, and some TCDD-equeivalent in cod liver (Gadus morhua) along the Bohus Coast in 2001.

Torsklever	Danafjord Station 4 ng/kg 2001	Galterö Station 10 ng/kg 2001	Brofjorden Station 13 ng/kg 2001	Kosterfjorden Station 16 ng/kg 2001	Kungshamn Station 17 ng/kg 2001
2378-TCDD	<3	<1	<1	<4	<6
Sum TCDD	<60	<20	<20	<80	<100
12378 PeCDD	<0,4	<0,6	<0,1	<0,2	<0,3
Sum Pe CDD	4,2	<6	1,4	1,4	<3
123478 HxCDD	<0,6	<0,3	<0,4	<0,4	<0,5
123678 HxCDD	<0,2	<0,4	<0,1	<0,8	<0,5
123789 HxCDD	<4	<0,4	<2	<0,6	<0,9
Sum HxCDD	<10	<2	<7	<5	<5
1234678 HpCDD	<0,8	<0,8	<6	<0,7	<0,5
Sum HpCDD	<2	<2	<1	<1	<1
OCDD	0,8	2,0	1,0	5,2	<1
Sum PCDD	**5**	**2**	**2,4**	**6,6**	**0**
2378 TCDF	2,9	1,9	1,8	11	<0,3
Sum TCDF	99	68	52	270	0
12378/12348PeCDF	1,8	0,82	1,3	3,4	0,2
23478 PeCDF	3,0	1,1	1,9	3,6	<0,2
Sum PeCDF	34	15	21	49	0
123478/123479HxCDF	9,8	5,1	8,6	1,4	5,5
123678HxCDF	1,2	0,42	0,73	1,3	0,32
234678HxCDF	1,3	0,46	0,77	1,3	<0,2
123789HxCDF	<0,5	<0,2	<0,4	<0,6	<0,3
Sum HxCDF	19	8,4	14	25	11
1234678 HpCDF	0,83	0,72	0,67	2	0,54
123789HpCDF	<0,5	<0,2	<0,4	<0,3	<0,3
Sum HpCDF	1,0	1,8	1,6	4,2	1,1
OCDF	1,1	1,0	1,1	2,1	1,4
SumPCDF	**154**	**94,2**	**89,7**	**350**	**13,5**
SUM PCDD/PCDF	**159**	**96,2**	**96,3**	**357**	**13,5**
WHO-TEF	6	2,4	2,8	7,8	6,6
TE Eadon	2,6	1,3	1,7	6	0,018
TE nordisk	2,2	0,90	1,4	3,4	0,094

Tabell 7:50. Koncentrationen (ng/kg ts) av polyklorerade dibenso-p-dioxiner and furaner samt några TCDD-ekvivalenter (ng/kg ts) i torskfilé (*Gadus morhua*) utmed Bohuskusten 2001.

The concentration (ng/kg dw) of polychloronated dibezo-p-dioxins and furanes, and some TCDD-equeivalent in cod filé (Gadus morhua) along the Bohus Coast in 2001.

Torskfilé	Danafjord Station 4 ng/kg 2001	Kosterfjorden Station 16 ng/kg 2001
OCDD	2,5	0,9
OCDF	4,8	3,8
SUM PCDD/PCDF	**7,3**	**4,7**
WHO-TEF	0,84	1,5
TE Eadon		
TE nordisk	0,0078	0,0066

I tabell 7:49–7:50 redovisas även de olika beräknade TCDD-ekvivalenterna. TCDD-ekvivalenten erhålls när man enligt en riskmodell (bl.a. Miljörapport 1988:7) viktat de toxiska isomererna mot den mest toxiska isomeren 2,3,7,8-tetraklordibenso-p-dioxin (2,3,7,8-TCDD). TCDD-ekvivalenten är således en uppskattning av den totala toxiciteten i provet omräknat till 2,3,7,8-TCDD. Ej detekterade värden har uteslutits i beräkningen av TCDD ekvivalenten.

I figur 7:34 illustreras dels koncentrationerna av ∑PCDD/PCDF samt WHO-TEF i torsklever. Resultaten visar att de högsta halterna återfinns i torsklever från Kosterfjorden och Danafjord utanför Göteborg. Halten i Kosterfjorden är dubbelt så hög som den utanför Göteborg. Lägst halt uppvisade Kungshamn. I torskfilé är halten högst i Danafjord.

Tabell 7:51. Spridning och medelvärden (ng/kg ts) av polyklorerade dibenso-p-dioxiner and furaner samt några TCDD-ekvivalenter (µg/kg ts) i torsklever (*Gadus morhua*) från Bohuskusten 2001.

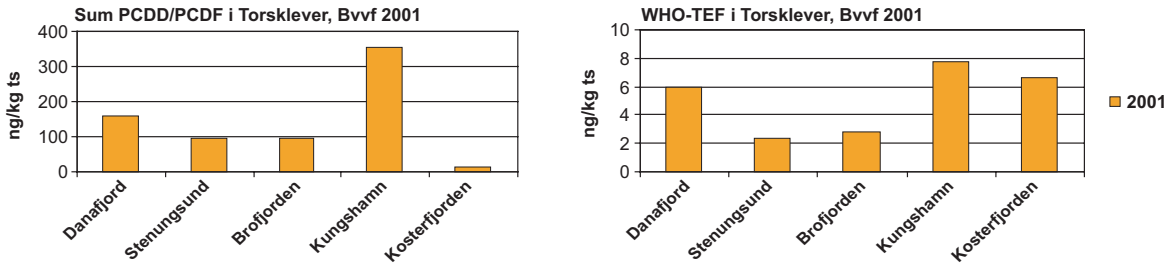
Range and means (ng/kg dw) of polychloronated dibezo-p-dioxins and furanes, and some TCDD-equeivalent in cod liver (Gadus morhua) from the Bohus Coast in 2001.

Torsklever	År	Antal stationer n	Intervall ng/kg ts	Medelvärde ng/kg ts	Medianvärde ng/kg ts	Standardavvikelse ng/kg ts
Sum PCDD/PCDF	2001	5	13,5–357	144	96	129
WHO-TEF	2001	5	2,4–7,8	5,1	6	2,4
TE Eadon	2001	5	0,018–6	2,3	1,7	2,3
TE nordisk	2001	5	0,094–3,4	1,6	1,7	1,3

De olika ekvivalenterna ger liknande resultat och visar att toxisiteten i torsklever är högst i torsk från Kosterfjorden och Danafjord, men också i torsk från Kungshamn trots att ∑PCDD/PCDF var lägst i detta område. I torskfilé är den något högre i Danafjord jämfört med Kosterfjorden.

Polyklorerade dioxiner och furaner analyserades inte torsklever 1993, men väl i 1998 års samlingsprov ”Syd” (från stationerna 2 och 10). Inga föreningar kunde dock detekteras, sannolikt till följd av för högt satta detektionsgränser.

Svenska bedömningsgrunder för ekvivalenter i torsklever saknas. Enligt norskt klassificeringschema (Rygg & Thèlin 1993) faller TCDD-ekvivalenten (TE-nordisk) i tillståndsklass I (”god”) på alla stationer (se ovan, figur 7:35).



Figur 7:34. Koncentrationen av ∑PCDD/PCDF (ng/kg ts) och TE-nordisk i torsklever (*Gadus morhua*) på respektive station utmed Bohuskusten 2001.

The concentration of ∑PCDD/PCDF (ng/kg ts) and TE-nordisk in cod liver (Gadus morhua) at each station along the Bohus Coast in 2001 respectively.

Torsklever 2001	TE nordisk ng/kg
Danafjord	2,2
Stenungsund	0,90
Brofjorden	1,4
Kungshamn	3,4
Kosterfjorden	0,094

Bedömningsgrunder enl. norska SFT (1999) Tillståndsklasser	
Klass 1	God
Klass 2	Mindre god
Klass 3	Nokså dålig
Klass 4	Dålig
Klass 5	Meget dålig

Figur 7:35. Miljökvalitet baserad på torsklever (*Gadus morhua*) utmed Bohuskusten 2001 med avseende på toxisitetsekvivalent TE-nordisk. Klassning enligt norska bedömningsgrunder (SFT1993).

The environmental quality based on the cod liver (Gadus morhua) along the Bohus Coast with respect to the toxicity equivalent TE-nordisk 2001. Classification according to Norweigen Environmental Quality Criteria (SFT 1993).

7.4.4.7 Toxafen

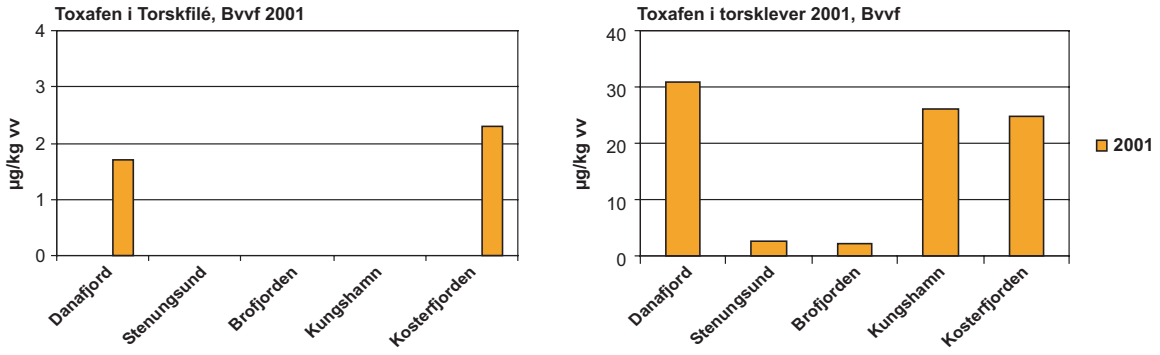
Toxafen (PCC) undersöktes i torsklever från alla fem stationerna 2001 samt i filén på två stationer (Danafjord och Kosterfjorden). Resultaten presenteras i tabell 7:52. De högsta halterna påvisades i torsklever från Danafjord, Kungshamn och Kosterfjorden (fig. 7:36). Halterna låg på dessa platser 10–15 gånger högre än i Stenungsund och Brofjorden. Kosterfjorden uppvisade den högsta halten i filén.

Ämnet undersöktes inte i torsk 1993 men väl i samlingsprov ”Syd” från 1998. Samlingsprov ”Syd” bestod av torskleverprov från stationerna 2 och 10 utanför Göteborg respektive Stenungsund. Resultatet redovisas i tabell 7:52. Halten från 1998 är att betrakta som mycket hög. I sjutton sedimentprover från Skagerrak som undersöktes i början på 1990-talet varierade halterna mellan 0,1 och 1,3 µg/kg ts (Cato 1997). De högsta halterna återfanns i Norska Rännan.

Tabell 7:52. Koncentrationen (ng/kg våtvikt) av toxafen i torsklever (*Gadus morhua*) utmed Bohuskusten 1998–2001. - = ej analyserat.
The concentration (ng/kg ww) of toxaphene in cod liver (Gadus morhua) along the Bohus Coast in 1998–2001. - = not analysed.

Station	År	Toxafen i torsklever µg/kg våtvikt	Toxafen i torskfilé µg/kg våtvikt
Danafjord (4)	2001	31	1,7
Stenungsund (10)	2001	2,5	-
Brofjorden (13)	2001	2	-
Kosterfjorden (16)	2001	25	2,3
Kungshamn (17)	2001	26	-
Syd	1998	(150)	-

Toxafen har huvudsakligen använts tillsamman med DDT till följd av dessa föreningars synergetiska effekter. Någon egentlig användning är inte känd i Norden, varför det är troligt att substansen har en långväga härkomst (luftburet). Svenska bedömningsgrunder för toxafen i torsk saknas.



Figur 7:36. Koncentrationen (µg/kg vv) av toxafen i torskfile (t.v.) torsklever (*Gadus morhua*) (t.h.) utmed Bohuskusten 2001.
The concentration (µg/kg fat) of toxaphen in cod fillet and cod liver (Gadus morhua) along the Bohus Coast in 2001.

7.4.4.8 Trendanalyser för torsk

I de föregående avsnitten har presentationen av analysresultaten för torsk främst varit inriktad på att presentera den stationsvisa koncentrationsförändringen över tiden av respektive undersökt ämne/substans, samt att med hjälp av medel- och medianvärdesförändringen för samma period ge en generell bild av utvecklingen utmed Bohuskusten.

Sannolikheten för att de ovan beskrivna medelvärdesförändringarna är reella har dessutom testas statistiskt (enl. Fowler & Cohen 1996) med hjälp av s.k. t-test med (n–1) frihetsgrader för matchade datapar (dvs. data från samma stationer men härrörande från olika år i detta fall 1993, 1998 och 2001). Härigenom har den statistiska sannolikheten (p) för respektive medelvärdesförändring kunnat fastläggas. Dessa beräkningar har endast gjorts för torsklever, eftersom dataunderlaget för torskfilén är för litet.

Testen omfattar dels en matchning där 1993 och 1998 års data ställts mot varandra, dels motsvarande för 1998 och 2001 års data samt för 1993 och 2001 års data. Dessa s.k. trendanalyser ger med större eller mindre sannolikhet svar på hur säker en observerad förändring över tiden (trend) är. Bristen på torsk 1998

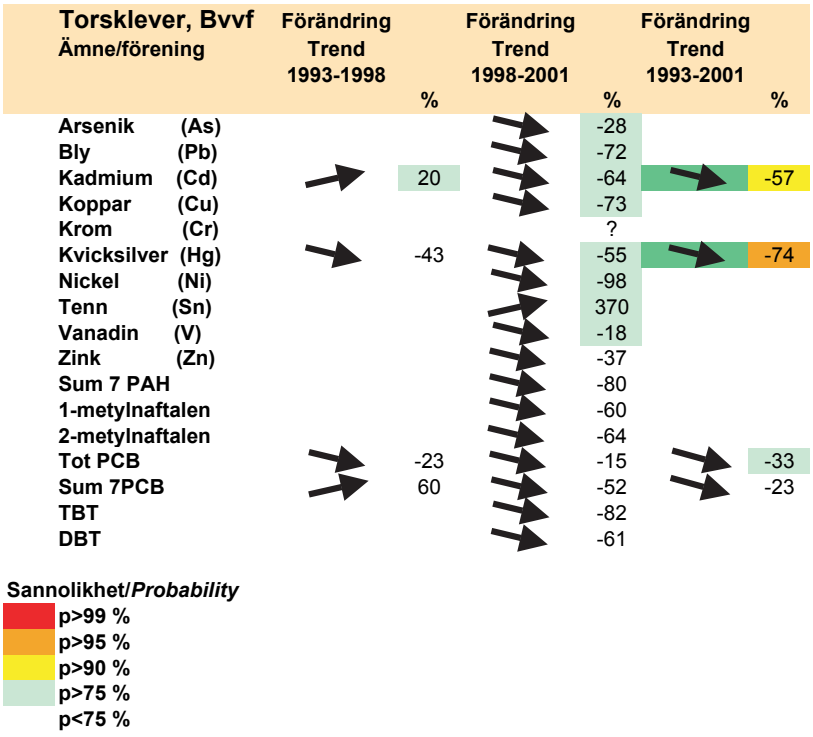
medförde att torsklever från ett samlingsprov från två stationer (benämnt ”Syd”) samt ytterligare en station (Byttelocket vid Kungshamn) kunde insamlas. Detta innebär att medelvärdet för 1998 endast baseras på tre stationer vilket innebär att trenderna mellan perioderna 1993 och 1998 respektive 1998 och 2001 sannolikt inte kan betraktas som representativa för hela Bohuskusten.

Trenderna för torsklever illustreras översiktligt i figur 7:37 där också den procentuella förändringen mellan åren anges. Pilarna visar om medelkoncentrationen för respektive ämne ökat, minskat eller är oförändrad. Resultaten av testen för matchade datapar visas med olika färger för olika sannolikhetsnivåer. Förändringar under 10 % betraktas inte som statistiskt signifikanta mot bakgrund av reproducerbarheten av ett prov i det kemiska analysarbetet.

Testen visar att med 95–99 % sannolikhet har i genomsnitt kvicksilverhalten (Hg) i torsklever minskat med 74 % mellan1993 och 2001. Under samma period har med 90–95 % sannolikhet halterna av kadmium (Cd) minskat med 57 %. Halten av ∑7 PCB har med mindre än 75 % sannolikhet minskat med 23 % och halten av total PCB med 33 %.

Mellan 1993 och 1998 ökade halterna av Cd och ∑7 PCB med 20 respektive 60 %, medan halten Hg och total PCB sjönk med 43 % respektive 23 %. Sannolikheten för dessa förändringar är dock mindre än 75 %. Lika låg ($p<75$ %) eller något högre sannolikhet ($75<p<90$ %) gäller för den haltminskning som alla övriga ämnen och föreningar uppvisar mellan 1998 och 2001. Endast tenn uppvisar en ökning med 370 %. Ökningen för Cr är mycket osäker och kan vara en effekt av skillnad i analysteknik mellan 1998 och 2001 (lakning respektive totalanalys).

Trender under 10 % ligger inom felmariginalen, men i figur 7:37 har inga förändringar mellan 1993 och 1998 samt 1998 och 2001 markerats med grön färg, trots att förändringarna är större än 10 %. Detta mot bakgrund av att det statistiska underlaget för 1993 och 1998 är alltför litet. Data saknas för alla utom fyra ämnen/föreningar från 1993.



Figur 7:37. Sammanställning över förändringen av medelvärdeskoncentrationen för några ämnen och föreningar i torsklever utmed Bohuskustens mellan 1993 och 2001. Nedåtriktad pil betyder minskad halt och uppåtriktad pil ökad halt. Grönmarkerade fält markerar förändringar som är större än de minst 10 % som baserat på reproducerbarheten vid den kemiska analysen krävs för att en förändring med säkerhet skall kunna bedömas.

Compilation of the changes of the average concentrations of some elements and compounds between 1993 and 2001 in cod liver from the Bohus Coast. Arrow pointed downwards implies decreasing concentration and arrow pointed upwards implies increasing concentration. Green areas mark changes bigger than the minimum of 10 % due to the precision of chemical analyses.

7.4.5 MILJÖGIFTER I KRABBTASKA

Hepatopancreas i krabbtaska (*Cancer pagurus*) undersöktes på två stationer (Danafjord och Kosterfjorden) 2001 med avseende på polyklorerade bifenyler (PCB), polyklorerade dibenso-p-dioxiner (PCDD) och polyklorerade dibensofuraner (PCDF) samt toxafen. 1998 undersöktes hepatopancreas i krabbtaska från Vinga. Inga undersökningar utfördes 1993.

Analysresultaten från 1998 och 2001 års undersökningar av krabbtaska redovisas i tabellerna 7:53–56. Valet av analyser överensstämmer inte helt mellan de två undersökningstillfällena. Den andra undersökningsomgången omfattade inga plana PCB (nonorto-PCB) men väl ∑7 PCB. En översikt över utförda analyser respektive år ges i tabell 7:53.

Krabbtaska, *Cancer pagurus* (Ursing 1971)

Tabell 7:53. Analyserade miljögifter i krabbtaska (*Cancer pagurus*) från Bohuskusten 1998–2001.
Toxic substances analysed in crab (Cancer pagurus) caught along the Bohus Coast in 1998–2001.

Ämnesgrupp	Specifikation	1998	2001
Polyklorerade bifenyler	Dutch 7 PCB, tot PCB		x
Nonorto PCB	PCB 77, PCB 126, PCB 169	x	
Toxafen		x	x
Dioxiner och furaner	PCCD/PCDF	x	x

7.4.5.1 Polyklorerade bifenyeler

Analysresultaten för 2001 år undersökningar vad avser polyklorerade bifenyler (PCB) i krabbtaska (smör) redovisas i tabell 7:54. Föreningarna har inom ramen för kustvattenkontrollen inte tidigare analyserats i krabbtaska.

Resultaten visar att koncentrationen av ∑7 PCB och total-PCB är ca 65 gånger högre i krabbtaska från Kosterfjorden (station 16) jämfört med Danafjord (station 4). Samtliga kongener utom PCB-52 är också markant högre i Kosterfjorden (fig. 7:38). PCB-profilen skiljer sig åt och visar därmed olika källor för Göteborgsområdet respektive norra Bohuslän (Kosterfjorden).

Resultaten tyder på att en väsentlig källa finns i Skagerrak alternativt att PCB med den Jutska strömmen transporteras från den östra Nordsjökusten och vidare in mot norra Bohuskusten.

Svenska bedömningsgrunder för PCB i krabbtaska saknas.

Tabell 7:54. Koncentrationen (µg/kg fett) av PCB i krabbtaska (*Cancer pagurus*) från Bohuskusten 2001.
The concentration (µg/kg fat) of PCBs in crab (Cancer pagurus) from the Bohus Coast in 2001.

Krabbtaska Station	År	PCB 28 µg/kg fett	PCB 52 µg/kg fett	PCB 101 µg/kg fett	PCB 118 µg/kg fett	PCB 138 µg/kg fett	PCB 153 µg/kg fett	PCB 180 µg/kg fett	Sum 7 PCB µg/kg fett	Sum PCB som aroklor 1254 µg/kg fett
4	2001	3,7	12,5	<0,83	2,8	7,8	11,7	2,8	43	150
16	2001	14,6	<3	128	470	732	1 220	232	2 805	9 756

7.4.5.2 Polyklorerade dioxiner och furaner

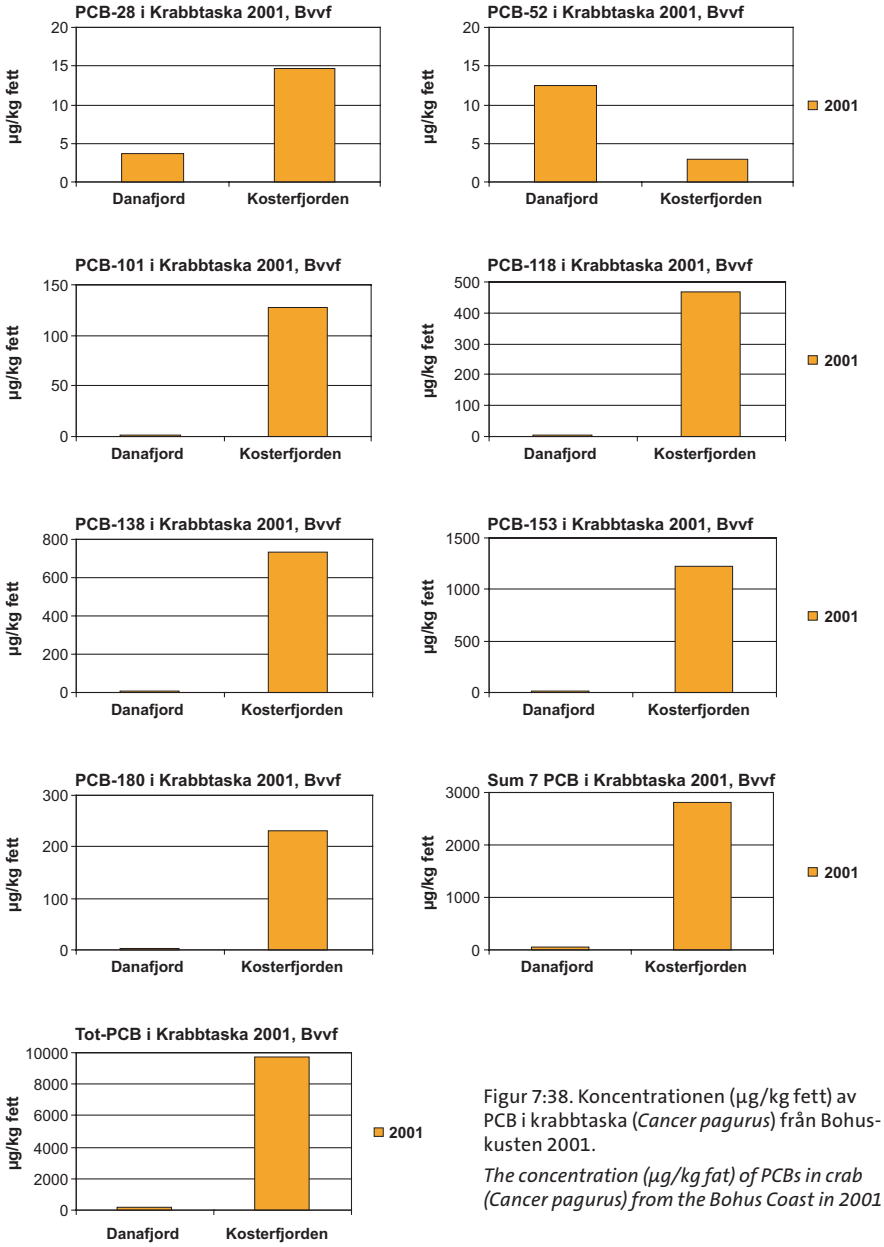
Analysresultaten för 2001 år undersökningar i krabbtaska (smör) vad avser polyklorerade dibenso-p-dioxiner (PCDD) och polyklorerade dibensofuraner (PCDF) som ingår i den nordiska modellen för TCDD-ekvivalentberäkning redovisas i tabell 7:55. Motsvarande föreningar analyserades 1998 i krabbtaska från Vinga.

I tabell 7:55 redovisas även de olika beräknade TCDD-ekvivalenterna. TCDD-ekvivalenten erhålls när man enligt en riskmodell (bl.a. Miljörapport 1988:7) viktat de toxiska isomererna mot den mest toxiska isomeren 2,3,7,8-tetraklordibenso-p-dioxin (2,3,7,8-TCDD). TCDD-ekvivalenten är således en uppskatt-

ning av den totala toxiciteten i provet omräknat till 2,3,7,8-TCDD. Ej detekterade värden har uteslutits i beräkningen av TCDD ekvivalenten.

I figur 7:39 illustreras dels koncentrationerna av ∑PCDD/PCDF samt ekvivalenten TE-nordisk. Resultaten visar att den högsta halten återfinns i krabbtaska från Kosterfjorden. Halten i Kosterfjorden är dubbelt så hög som den i Danafjord och nästan i nivå med den halt som uppmättes i krabbtaska från Vinga 1998. Noterbart är att toxisitetsekvivalenten (TE-nordisk) visar på ett omvänt förhållande med högre ekvivalent i Danafjord jämfört med Kosterfjorden, dvs. toxisiteten är högre utanför Göteborg.

Svenska bedömningsgrunder för ekvivalenter i krabbtaska saknas. Enligt norskt klassificeringschema (Rygg & Thèlin 1993) faller TCDD-ekvivalenten (TE-nordisk) i tillståndsklass I (”god”) på alla stationer (figur 7:40).



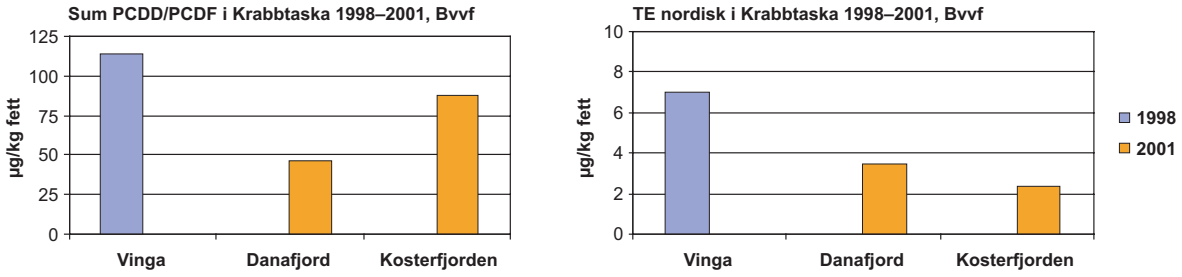
Figur 7:38. Koncentrationen (µg/kg fett) av PCB i krabbtaska (*Cancer pagurus*) från Bohuskusten 2001.

The concentration (µg/kg fat) of PCBs in crab (Cancer pagurus) from the Bohus Coast in 2001

Tabell 7:55. Koncentrationen (ng/kg vs) av polyklorerade dibenso-p-dioxiner (PCDD) och dibensofuraner (PCDF) i krabbtaska (*Cancer pagurus*) från Bohuskusten 1998–2001.

The concentration (ng/kg ww) of polychlorinated dibenzo-p-dioxines (PCDD) and dibenzofuranes (PCDF) in crab (Cancer pagurus) from the Bohus Coast 1998–2001.

Krabbtaska	Kosterfjorden Station 16 ng/kg VV 2001	Danafjord Station 4 ng/kg VV 2001	Vinga Station 30 ng/kg VV 1998
2378-TCDD	<1	<4	0,95
Sum TCDD	<20	<80	3,97
12378 PeCDD	<0,3	<2	2,05
Sum Pe CDD	0,71	36	6,55
123478 HxCDD	<0,2	<1	1,23
123678 HxCDD	1,3	<1	2,77
123789 HxCDD	<0,9	<4	1,17
Sum HxCDD	1,3	<20	12,1
1234678 HpCDD	2,9	5	3,88
Sum HpCDD	2,9	<10	11,4
OCDD	4,3	<10	4,83
Sum PCDD	**9,2**	**36**	**38,9**
2378 TCDF	4,1	<2	6,39
Sum TCDF	29	<40	32,3
12378/12348PeCDF	0,85	<1	2,18
23478 PeCDF	2,7	<2	5,88
Sum PeCDF	19	<20	23,2
123478/123479HxCDF	1,9	<2	3,36
123678HxCDF	0,74	<1	1,15
234678HxCDF	1,6	<1	3,24
123789HxCDF	<0,03	<2	0,1
Sum HxCDF	11	<20	12,5
1234678 HpCDF	2,2	<0,9	5,68
123789HpCDF	<0,1	<0,6	<0,2
Sum HpCDF	3,6	<3	7,05
OCDF	1,6	10	0,36
SumPCDF	**78,3**	**10**	**75,3**
SUM PCDD/PCDF	**87,5**	**46**	**114**
TE I-TEQ	3,7	3,5	7,07
TE Eadon	2,7	4	
TE nordisk	2,4	3,5	6,98



Figur 7:39. Koncentrationen av ∑PCDD/PCDF (ng/kg ts) och TE-nordisk i krabbtaska (*Cancer pagurus*) på respektive station utmed Bohuskusten 1998–2001.

The concentration of ∑PCDD/PCDF (ng/kg ts) and TE-nordisk in crab (Cancer pagurus) at each station along the Bohus Coast in 1998–2001 respectively.

Krabbtaska	TE nordisk ng/kg VV 1998	TE nordisk ng/kg VV 2001
Vinga	6,98	
Danafjord		3,5
Kosterfjorden		2,4

Bedömningsgrunder enl. norska SFT (1999) Tillståndsklasser	
Klass 1	God
Klass 2	Mindre god
Klass 3	Nokså dålig
Klass 4	Dålig
Klass 5	Meget dålig

Figur 7:40. Miljökvalitet baserad på krabbtaska (*Cancer pagurus*) utmed Bohuskusten 1998–2001 med avseende på toxisitetsekvivalent TE-nordisk. Klassning enligt norska bedömningsgrunder (SFT1993).

The environmental quality based on the crab (Cancer pagurus) along the Bohus Coast with respect to the toxicity equivalent TE-nordisk 1998–2001. Classification according to Norweigen Environmental Quality Criteria (SFT 1993).

7.4.5.3 Toxafen

Toxafen (PCC, polyklorerade kamfener) undersöktes i krabbtaska på två stationerna 2001 (Danafjord och Kosterfjorden) och på en station 1998 (Vinga). Resultaten presenteras i tabell 7:56. Föreningen kunde 2001 endast detekteras i Kosterfjorden (fig. 7:41). Halten låg där ca sex gånger högre än den halt som uppmättes vid Vinga 1998. Toxafen (PCC) undersöktes inte i krabba 1993.

Svenska bedömningsgrunder för toxafen i krabbtaska saknas. I sjutton sedimentprover från Skagerrak som undersöktes i början på 1990-talet varierade halterna mellan 0,1 och 1,3 µg/kg ts (Cato 1997). De högsta halterna återfanns i Norska Rännan. Mot bakgrund av dessa data och ovan redovisade data bedöms den uppmätta halten i Kosterfjorden som markant förhöjd.

Tabell 7:56. Koncentrationen (ng/kg våtvikt) av toxafen i krabbtaska (*Cancer pagurus*) från Bohuskusten 1998–2001.
The concentration (ng/kg ww) of toxaphene in crab (Cancer pagurus) from, the Bohus Coast 1998–2001.

Station	År	Toxafen i torskfilé µg/kg våtvikt
Danafjord (4)	2001	<2
Kosterfjorden (16)	2001	30
Vinga (30)	1998	5,33

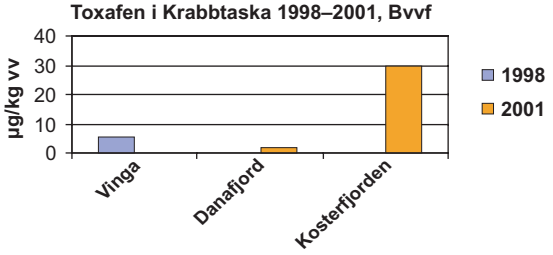
7.5 Sambandsanalyser

I föreliggande avsnitt redovisas bivariata sambandsanalyser mellan koncentrationsfördelningen av miljögifter i sediment och olika typer av biologiskt material samt dito mellan olika typer av biologiskt material. Avsikten har varit att så långt som möjligt redovisa data oaktat om där kan anses föreligga ett signifikant samband eller ej. I många fall är sambanden svaga, vilket kan bero på små dataset (för få stationer). I flera fall kan tendenser skönjas vilka bör vara möjliga att klarlägga när kustvattenkontrollen pågått ytterligare några undersökningsomgångar.

I redovisade plottar har en linje för det linjära förhållandet mellan koncentrationerna i de två medierna lagts ut tillsammans med ett r^2-värde. Detta betyder inte att linjen nödvändigtvis representerar ett verkligt samband utan skall enbart betraktas som ett matematiskt objektivt sätt att redovisa sambandsanalysen. Hur stationerna för respektive sediment och biologiskt material parats ihop redovisas i avsnitt 7.2 ovan.

7.5.1 SAMBANDET MELLAN MILJÖGIFTER I SEDIMENT OCH BIOTA

I tabellerna 7:57 till 7:67 redovisas resultaten av sambandsanalyserna, antalet i beräkningarna ingående stationer (*n*) samt övrigt underlag för signifikansberäkningarna av sambanden mellan sediment och olika typer av biota (blåstång, blåmussla, tånglake och torsk). I tabellerna har observerade negativa samband markerats. I övrigt är sambanden positiva.



Figur 7:41. Koncentrationen av toxafen (µg/kg vs) i krabbtaska (*Cancer pagurus*) på tre stationer utmed Bohuskusten 1998–2001.

The concentration of toxaphene (µg/kg ws) in crab (Cancer pagurus) at three stations along the Bohus Coast in 1998–2001.

Tabell 7:57. Det linjära sambandet för några tungmetaller respektive organiska miljögifter i sediment och blåstång utmed Bohuskusten under 1992–2001. Observerad t-fördelning (t_s) med (n–2) frihetsgrader. P är den observerade sannolikheten, r är korrelationskoefficienten och r^2 bestämningskoefficienten.

The linear relationships between some heavy metals and organic micropollutants respectively in sediment and bladder wrack in the Bohus Coast in 1992–2001. Observed t-distribution (t_s) with (n–2) degrees of freedom. P is the observed probability, r the correlation coefficient and r^2 the coefficient of determination.

Sediment/Blåstång

Ämne		r2	r	n	n-2	t	samband	p %
As	1997–2001	0,54	0,74	14	12	3,785		99,5<p<99,9
Cd	1992–2001	0,03	0,19	14	12	0,654	neg	p<75
Cr	1992–2001	0,03	0,17	16	14	0,657	neg	p<75
Cu	1992–2001	0,14	0,37	16	14	1,481		90<p<95
Hg*	1992–2001	0,59	0,77	12	10	3,832		p<99,9
Ni	1992–2001	0,03	0,17	15	13	0,628		p<75
Pb	1992–2001	0,03	0,16	15	13	0,581	neg	p<75
Sn	1992–2001	0,01	0,10	12	10	0,318	neg	p<75
V	1992–2001	0,003	0,06	11	9	0,167		p<75
Zn	1992–2001	0,31	0,56	15	13	2,413		97,5<p<99
DBT	2001	0,12	0,35	5	3	0,647		p<75
TBT	2001	0,08	0,28	5	3	0,511		p<75
s16 PAH	1997–2001	0,09	0,30	10	8	0,900		75<p<90
PBDE-47	2001	0,07	0,26	5	3	0,457	neg	p<75
PBDE-100	2001	0	0	5	3	0,000		
PBDE-99	2001	0	0	4	2	0,000		
DekaBDE	2001	0,09	0,30	4	2	0,445		p<75
1-metyln	2001	0,00	0,02	5	3	0,042		p<75
2-metyln	2001	0,17	0,42	5	3	0,792		75<p<90

Tabell 7:58. Det linjära sambandet för några tungmetaller respektive organiska miljögifter i sediment och blåmussla utmed Bohuskusten under 1992–2001. Observerad t-fördelning (t_s) med (n–2) frihetsgrader. P är den observerade sannolikheten, r är korrelationskoefficienten och r^2 bestämningskoefficienten.

The linear relationships between some heavy metals and organic micropollutants respectively in sediment and blue mussel in the Bohus Coast in 1992–2001. Observed t-distribution (t_s) with (n–2) degrees of freedom. P is the observed probability, r the correlation coefficient and r^2 the coefficient of determination.

Sediment/Blåmussla

Ämne	År	r2	r	n	n-2	t	samband	p %
As	1997–2001	0,004	0,07	10	6	0,161	neg	p<75
Cd	1992–2001	0,25	0,50	13	11	1,904		95<p<97,5
Cr	1997–2001	0,02	0,15	16	14	0,579		p<75
Cu	1992–2001	0,09	0,29	16	14	1,150		75<p<90
Hg*	1992–2001	0,58	0,76	15	13	4,267		p>99,9
Ni	1992–2001	0,25	0,50	15	13	2,108		95<p<97,5
Pb	1992–2001	0,07	0,27	15	13	1,008		75<p<90
Sn	1992–2001	0,56	0,75	16	14	4,263	neg	p>99,9
V	1997–2001	0,04	0,20	16	14	0,781	neg	75<p<90
Zn	1997–2001	0,002	0,05	16	14	0,180		p<75
DBT	2001	0,83	0,91	5	3	3,786		97,5<p<99
TBT	2001	0,95	0,97	4	2	5,868		97,5<p<99
s7 PCB	1997–2001	0,02	0,13	9	7	0,334		p<75
s16 PAH	1997–2001	0,06	0,24	9	7	0,644	neg	p<75
PBDE-47	2001	0,93	0,97	6	4	7,567		p>99,9
PBDE-100	2001	0	0	6	4	0,000		
PBDE-99	2001	0	0	6	4	0,000		
DekaBDE	2001	0,16	0,40	5	3	0,759		p<75
1-metyln	2001	0,77	0,88	5	3	3,162		95<p<97,5
2-metyln	2001	0,16	0,40	6	4	0,875		75<p<90
PCDD/PCDF	2001	0,80	0,90	3	1	2,020	neg	75<p<90

Tabell 7:59. Det linjära sambandet för några tungmetaller respektive organiska miljögifter i sediment och tånglake utmed Bohuskusten under 1992–2001. Observerad t-fördelning (t_s) med (n–2) frihetsgrader. P är den observerade sannolikheten, r är korrelationskoefficienten och r^2 bestämningskoefficienten.

The linear relationships between some heavy metals and organic micropollutants respectively in sediment and eel-pout in the Bohus Coast in 1992–2001. Observed t-distribution (t_s) with (n–2) degrees of freedom. P is the observed probability, r the correlation coefficient and r^2 the coefficient of determination.

Sediment/Tånglake

Ämne	År	r2	r	n	n-2	t	samband	p %
As	1997–2001	0,50	0,71	14	12	3,450	neg	99,5<p<99,9
Cd	1992–2001	0,35	0,59	9	7	1,921		95<p<97,5
Cr	1992–2001	0,01	0,09	15	13	0,309		p<75
Cu	1992–2001	0,05	0,23	14	12	0,813		75<p<90
Hg	1992–2001	0,80	0,89	10	8	5,657		p>99,9
Ni	1992–2001	0,04	0,19	12	10	0,628		p<75
Pb	1992–2001	0,40	0,63	11	9	2,433		97,5<p<99
Sn	1992–2001	0,32	0,57	15	13	2,494		97,5<p<99
V	1997–2001	0,002	0,05	15	13	0,177		p<75
Zn	1992–2001	0,17	0,41	15	13	1,616		90<p<95
PBDE-47	2001	0,22	0,47	4	2	0,750	neg	p<75
PBDE-99	2001	0	0	4	2	0,000		
PBDE-100	2001	0	0	5	3	0,000		
DekaBDE	2001	0,32	0,57	5	3	1,189		75<p<90
s7 PCB	1997–2001	0,90	0,95	9	7	7,937		p>99,9
s16 PAH	1997–2001	0,31	0,56	8	6	1,636	neg	90<p<95
1-metyln	2001	0	0	5	3	0,000		
2-metyln	2001	0,26	0,51	5	3	1,018		75<p<90

Tabell 7:60. Det linjära sambandet för några tungmetaller respektive organiska miljögifter i sediment och torsklever utmed Bohuskusten under 1992–2001. Observerad t-fördelning (t_s) med (n–2) frihetsgrader. P är den observerade sannolikheten, r är korrelationskoefficienten och r^2 bestämningskoefficienten.

The linear relationships between some heavy metals and organic micropollutants respectively in sediment and cod liver in the Bohus Coast in 1992–2001. Observed t-distribution (t_s) with (n–2) degrees of freedom. P is the observed probability, r the correlation coefficient and r^2 the coefficient of determination.

Sediment/Torsklever

Ämne	År	r2	r	n	n-2	t	samband	p %
As	2001	0,002	0,04	5	3	0,071		p<75
Cd	1992–2001	0,60	0,77	8	6	2,982	neg	99<p<99,5
Cr	2001	0,08	0,28	5	3	0,499		p<75
Cu	2001	0,40	0,63	4	2	1,149	neg	75<p<90
Hg	1992–2001	0,37	0,61	7	5	1,700		90<p<95
Ni	2001	0,003	0,06	5	3	0,099		p<75
Pb	2001	0,47	0,69	4	2	1,336	neg	75<p<90
Sn	2001	0,73	0,85	4	2	2,303		90<p<95
V	2001	0,48	0,69	4	2	1,353		75<p<90
Zn	2001	0,42	0,65	5	3	1,480		75<p<90
DBT	2001	0,74	0,86	5	3	2,890	neg	95<p<97,5
TBT	2001	0,55	0,74	4	2	1,565		75<p<90
s7 PCB	2001	0,70	0,83	5	3	2,624		95<p<97,5
PBDE-47	2001	0,39	0,62	4	2	1,123		75<p<90
PBDE-100	2001	0	0	5	3	0,000		
PBDE-99	2001	0	0	5	3	0,000		
DekaBDE	2001	0,23	0,48	4	2	0,779	neg	p<75
s16 PAH	2001	0,77	0,88	4	2	2,582	neg	90<p<95
2-metylnaft	2001	0,25	0,50	5	3	0,998		75<p<90
1-metylnaft	2001	0,51	0,72	5	3	1,776		90<p<95
PCCD/PCDF	2001	0,68	0,82	3	1	1,453		75<p<90

Tabell 7:61. Det linjära sambandet för några tungmetaller respektive organiska miljögifter i blåstång och blåmussla utmed Bohuskusten under 1992–2001. Observerad t-fördelning (t_s) med (n–2) frihetsgrader. P är den observerade sannolikheten, r är korrelationskoefficienten och r^2 bestämningskoefficienten.

The linear relationships between some heavy metals and organic micropollutants respectively in bladder wrack and blue mussel in the Bohus Coast in 1992–2001. Observed t-distribution (t_s) with (n–2) degrees of freedom. P is the observed probability, r the correlation coefficient and r^2 the coefficient of determination.

Blåstång/Blåmussla

Ämne	År	r2	r	n	n-2	t	samband	p %
As	1997–2001	0,88	0,94	12	6	6,559		p>99,9
Cd	1992–2001	0,01	0,08	19	17	0,351		p<75
Cr	1997–2001	0,16	0,40	11	9	1,320		75<p<90
Cu	1992–2001	0,34	0,58	19	17	2,971		99,5<p<99,9
Hg*	1992–1997	0,80	0,89	11	9	5,954		p>99,9
Ni	1992–2001	0,54	0,73	19	17	4,469		p>99,9
Pb	1992–2001	0,82	0,91	17	15	8,283		p>99,9
Sn	1992–2001	0,81	0,90	17	15	8,068		p>99,9
V	1997–2001	0,96	0,98	17	15	19,174		p>99,9
Zn	1997–2001	0,04	0,20	13	11	0,668		p<75
DBT	1997–2001	0,36	0,60	11	9	2,250		95<p<97,5
TBT	1992–2001	0,74	0,86	13	11	5,568		p>99,9
s16 PAH	1997–2001	0,49	0,70	10	8	2,790	neg	97,5<p<99
PBDE-47	2001	0,07	0,26	8	6	0,646	neg	p<75
PBDE-100	2001	0,06	0,24	8	6	0,597	neg	p<75
PBDE-99	2001	0,00	0,04	8	6	0,104	neg	p<75
DekaBDE	2001	0,94	0,97	7	5	8,544		p>99,9

Tabell 7:62. Det linjära sambandet för några tungmetaller respektive organiska miljögifter i blåstång och tånglake utmed Bohuskusten under 1992–2001. Observerad t-fördelning (t_s) med (n–2) frihetsgrader. P är den observerade sannolikheten, r är korrelationskoefficienten och r^2 bestämningskoefficienten.

The linear relationships between some heavy metals and organic micropollutants respectively in bladder wrack and eel-pout in the Bohus Coast in 1992–2001. Observed t-distribution (t_s) with (n–2) degrees of freedom. P is the observed probability, r the correlation coefficient and r^2 the coefficient of determination.

Blåstång/Tånglake

Ämne	År	r2	r	n	n-2	t	samband	p %
As	1997–2001	0,31	0,56	16	14	2,509	neg	97,5<p<99
Cd	1992	0,88	0,94	5	3	4,619		99<p<99,5
Cr	1992–2001	0,01	0,12	16	14	0,455	neg	p<75
Cu	1992–2001	0,51	0,71	15	13	3,664		99,5<p<99,9
Hg*	1992–2001	0,53	0,73	16	14	3,973		p>99,9
Ni	1992–2001	0,53	0,73	12	10	3,367		99,5<p<99,9
Pb	1992–2001	0,18	0,42	16	14	1,733	neg	90<p<95
Sn	1992–2001	0,20	0,45	13	11	1,662	neg	90<p<95
V	1992–2001	0,87	0,93	11	9	7,905		p>99,9
Zn	1992–2001	0,22	0,46	16	14	1,963		95<p<97,5
DBT	1997	0,14	0,37	5	3	0,686		p<75
TBT	1992–1997	0,56	0,75	7	5	2,512		95<p<97,5
s16 PAH	1997–2001	0,22	0,47	9	7	1,406		75<p<90
PBDE-47	2001	0,48	0,70	5	3	1,677		90<p<95
PBDE-100	2001	0,09	0,30	5	3	0,554	neg	p<75
PBDE-99	2001	0,32	0,56	4	2	0,966		75<p<90
DekaBDE	2001	0,06	0,25	5	3	0,443	neg	p<75

Tabell 7:63. Det linjära sambandet för några tungmetaller respektive organiska miljögifter i blåstång och torsklever utmed Bohuskusten under 1992–2001. Observerad t-fördelning (t_s) med (n–2) frihetsgrader. P är den observerade sannolikheten, r är korrelationskoefficienten och r^2 bestämningskoefficienten.

The linear relationships between some heavy metals and organic micropollutants respectively in bladder wrack and cod liver in the Bohus Coast in 1992–2001. Observed t-distribution (t_s) with (n–2) degrees of freedom. P is the observed probability, r the correlation coefficient and r^2 the coefficient of determination.

Blåstång/Torsklever

Ämne	År	r2	r	n	n-2	t	samband	p %
As	2001	0,11	0,33	6	4	0,707		p<75
Cd	1992–2001	0,56	0,75	9	7	2,961		97,5<p<99
Cr	2001	0,14	0,37	6	4	0,804		p<75
Cu	2001	0,92	0,96	5	3	5,772		99<p<99,5
Hg	1992–2001	0,68	0,83	6	4	2,922	neg	97,5<p<99
Ni	2001	0,91	0,95	5	3	5,569		99<p<99,5
Pb	2001	0,77	0,88	6	4	3,676		97,5<p<99
Sn	2001	0,34	0,58	5	3	1,241		75<p<90
V	2001	0,44	0,67	5	3	1,543		75<p<90
Zn	2001	0,15	0,39	6	4	0,836		75<p<90
DBT	1997–2001	0,02	0,13	6	4	0,264		p<75
TBT	1997–2001	0,15	0,39	6	4	0,854		75<p<90
PBDE-47	2001	0,67	0,82	4	2	2,011	neg	90<p<95
PBDE-100	2001	0,29	0,54	5	3	1,097	neg	75<p<90
PBDE-99	2001	0,03	0,16	5	3	0,281	neg	p<75
DekaBDE	2001	0,05	0,22	5	3	0,382		p<75
s16 PAH	2001	0,01	0,11	6	4	0,230		p<75
2-metylnaft	2001	0,65	0,81	6	4	2,736		95<p<97,5
1-metylnaft	2001	0,97	0,98	3	1	5,582		90<p<95

Tabell 7:64. Det linjära sambandet för några tungmetaller respektive organiska miljögifter i blåmussla och torsklever utmed Bohuskusten under 1992–2001. Observerad t-fördelning (t_s) med (n–2) frihetsgrader. P är den observerade sannolikheten, r är korrelationskoefficienten och r^2 bestämningskoefficienten.

The linear relationships between some heavy metals and organic micropollutants respectively in blue mussel and cod liver in the Bohus Coast in 1992–2001. Observed t-distribution (t_s) with (n–2) degrees of freedom. P is the observed probability, r the correlation coefficient and r^2 the coefficient of determination.

Blåmussla/Torsklever

Ämne	År	r2	r	n	n-2	t	samband	p %
As	1997–2001	0,04	0,19	6	4	0,396	neg	p<75
Cd	1992–2001	0,12	0,35	8	6	0,921	neg	75<p<90
Cr	1997–2001	0,79	0,89	6	4	3,886		99<p<99,5
Cu	1997–2001	0,11	0,34	6	4	0,715		p<75
Hg	1992–2001	0,69	0,83	10	8	4,237		99,5<p<99,9
Ni	1997–2001	0,10	0,32	6	4	0,681	neg	p<75
Pb	1997–2001	0,42	0,65	6	4	1,690		90<p<95
Sn	1997–2001	0,03	0,18	5	3	0,315	neg	p<75
V	1997–2001	0,79	0,89	6	4	3,823	neg	99<p<99,5
Zn	1997–2001	0,73	0,86	6	4	3,317	neg	97,5<p<99
DBT	1997–2001	0,25	0,50	5	3	1,006		75<p<90
TBT	1997–2001	0,92	0,96	5	3	5,772		99<p<99,5
PBDE-47	2001	0,47	0,69	4	2	1,334		75<p<90
PBDE-99	2001	0,87	0,93	4	2	3,706		95<p<97,5
PBDE-100	2001	0,81	0,90	3	1	2,091		75<p<90
DekaBDE	2001	0,49	0,70	5	3	1,687		90<p<95
s7 PCB	1992–2001	0,43	0,66	9	7	2,320		95<p<97,5
s16 PAH	1997–2001	0,45	0,67	6	4	1,822		90<p<95
PCDD/PCDF	2001	0,20	0,45	5	3	0,876	neg	75<p<90

Tabell 7:65. Det linjära sambandet för några tungmetaller respektive organiska miljögifter i blåmussla och tånglake utmed Bohuskusten under 1992–2001. Observerad t-fördelning (t_s) med (n–2) frihetsgrader. P är den observerade sannolikheten, r är korrelationskoefficienten och r^2 bestämningskoefficienten.

The linear relationships between some heavy metals and organic micropollutants respectively in blue mussel and eel-pout in the Bohus Coast in 1992–2001. Observed t-distribution (t_s) with (n–2) degrees of freedom. P is the observed probability, r the correlation coefficient and r^2 the coefficient of determination.

Blåmussla/Tånglake

Ämne	År	r2	r	n	n-2	t	samband	p %
As	1997–2001	0,0002	0,01	9	7	0,037		p<75
Cd	1992	0,19	0,43	6	4	0,965		75<p<90
Cr	1997–2001	0,44	0,66	10	8	2,517		97,5<p<99
Cu	1992–2001	0,50	0,71	16	14	3,736		99,5<p<99,9
Hg	1992–2001	0,83	0,91	16	14	8,363		p>99,9
Ni	1992–2001	0,10	0,32	16	14	1,269	neg	75<p<90
Pb	1992–2001	0,36	0,60	12	10	2,394	neg	97,5<p<99
Sn	1992–2001	0,26	0,51	16	14	2,194	neg	97,5<p<99
V	1997–2001	0,79	0,89	9	7	5,163		p>99,9
Zn	1997–2001	0,15	0,39	10	8	1,189		75<p<90
DBT	1992–1997	0,01	0,08	7	5	0,178	neg	p<75
TBT	1992–1997	0,71	0,84	9	7	4,161		99,5<p<99,9
PBDE-47	2001	0,29	0,54	4	2	0,898		75<p<90
PBDE-99	2001	0,96	0,98	4	2	6,664		97,5<p<99
PBDE-100	2001	0,05	0,22	5	3	0,387		p<75
DekaBDE	2001	0,06	0,25	5	3	0,447		p<75
7PCB	1992–2001	0,85	0,92	14	12	8,243		p>99,9
s16 PAH	1997–2001	0,18	0,42	9	7	1,231	neg	75<p<90

Tabell 7:66. Det linjära sambandet för några tungmetaller respektive organiska miljögifter i tånglake och torsklever utmed Bohuskusten under 1992–2001. Observerad t-fördelning (t_s) med (n–2) frihetsgrader. P är den observerade sannolikheten, r är korrelationskoefficienten och r^2 bestämningskoefficienten.

The linear relationships between some heavy metals and organic micropollutants respectively in eel-pout and cod liver in the Bohus Coast in 1992–2001. Observed t-distribution (t_s) with (n–2) degrees of freedom. P is the observed probability, r the correlation coefficient and r^2 the coefficient of determination.

Torsklever/Tånglake

Ämne	År	r2	r	n	n-2	t	samband	p %
As	1997	0,21	0,46	6	4	1,03985615	neg lutn	75<p<90
Cd	1992–2001	0,67	0,82	8	6	3,507683539	neg lutn	99<p<99,5
Cr	1997–2001	0,71	0,84	6	4	3,094046737		95<p<97,5
Cu	1997–2001	0,12	0,35	6	4	0,755237653		75<p<90
Hg	1992–2001	0,77	0,88	9	7	4,906086512		p>99,9
Ni	1997–2001	0,98	0,99	6	4	16,04487172		99,5<p<99,9
Pb	1997–2001	0,97	0,99	6	4	12,05212559		p>99,9
Sn	1997–2001	0,80	0,89	5	3	3,446875742		97,5<p<99
V	1997–2001	0,47	0,69	5	3	1,629103014		75<p<90
Zn	1997–2001	0,46	0,68	6	4	1,860081456	neg lutn	90<p<95
DBT	1997–2001	0	0	5	3	0		
TBT	1997–2001	0	0	5	3	0		
PBDE-47	2001	0,69	0,83	4	2	2,130779756	neg lutn	90<p<95
PBDE-100	2001	0,54	0,74	5	3	1,890667067		90<p<95
PBDE-99	2001	0,43	0,65	5	3	1,495804188		75<p<90
DekaBDE	2001	0,00	0,00	5	3	0		
7PCB	1992–2001	0,01	0,08	10	8	0,230544562		p>75
s16 PAH	1997–2001	0,08	0,28	5	3	0,514215758	neg lutn	p>75
1-metylnaft	1997–2001	0,83	0,91	6	4	4,402061044		99,5<p<99,9
2-metylnaft	1997–2001	0,77	0,88	6	4	3,673936958	neg lutn	99<p<99,5

Till skillnad från övrig biota och torsklever har endast kadmium, kvicksilver, PCB och dioxiner undersökts i torskfilén. Av dessa har endast sambandsanalyser med avseende på Hg och PCB varit möjliga att genomföra. Det statistiska underlaget är mycket litet, beroende på ovan nämnda och att torsk endast kunde insamlas på en enda station 1998 (Byttelocket). För fullständighetens skull redovisas resultaten för sambandsanalyserna mellan torsklever och torskfilé i tabell 7:67, samt mellan övriga medier och torskfilé i figurerna 7:50 och 7:70.

Tabell 7:67. Det linjära sambandet för några tungmetaller respektive organiska miljögifter i torskfilé och torsklever utmed Bohuskusten under 1992–2001. Observerad t-fördelning (t_s) med (n–2) frihetsgrader. P är den observerade sannolikheten, r är korrelationskoefficienten och r^2 bestämningskoefficienten.

The linear relationships between some heavy metals and organic micropollutants respectively in cod filé and cod liver in the Bohus Coast in 1992–2001. Observed t-distribution (t_s) with (n–2) degrees of freedom. P is the observed probability, r the correlation coefficient and r^2 the coefficient of determination

Torsklever/Torskfilé

Ämne	År	r2	r	n	n–2	t	samband	p %
s7 PCB	1992–2001	0,45	0,67	5	3	1,558		90<p<95
Hg	1992	0,02	0,15	4	2	0,216		p<75

I figurerna 7:42–7:78 redovisas korrelationskoefficienterna (*r*) för de linjära regressionsanalyserna uppställda i en matris som för varje analyserat element eller förening visar de inbördes relationerna mellan sediment, blåstång, blåmussla, tånglake, torskfilé och torsklever vad avser deras respektive koncentration av ämnet ifråga. Sannolikheten (*p*) för respektive samband har markerat med en färg i enlighet med den skala som anges i figurerna. Ljusgult anger att sannolikheten är mindre än 75 % och rött att den är större än 99 %. Negativa samband markeras med ett minustecken (-). Uppgifter om antalet ingående data (antal stationer *n*, bestämningskoefficienter r^2, korrelationskoefficienten *r*, *t*-värdet och signifikansen *p*) redovisas i tabellerna 7:57–7:67. I dessa tabeller anges även där så påvisats sannolikheter för sambanden som ligger mellan 99 och 99,9 %.

7.5.1.1 Arsenik

Sambandsanalyserna vad avser arsenik (As) visar att utmed Bohuskusten föreligger två starka signifikanta (p>99 %) och positiva samband mellan de undersökta medierna, dels mellan blåstång och blåmussla, dels mellan blåstång och sediment (fig. 7:42 och 7:43). Därutöver har ett starkt signifikant negativt samband påvisats mellan tånglake och sediment samt ett något svagare negativt samband mellan blåstång och tånglake. I övrigt är korrelationerna svaga och med låg signifikans (p<95 %) och inga klara samband kan beläggas.

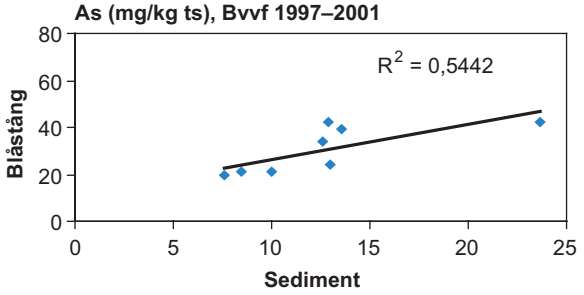
Av r^2-värdena (tabellerna 7:57–7:67) framgår att mellan 12 och 46 % av klusterfördelningen för nämnda samband beror på andra faktorer.

As	Sediment	Blåstång	Blåmussla	Tånglake	Torsklever
Sediment	1,00				
Blåstång	0,74	1,00			
Blåmussla	-0,07	0,94	1,00		
Tånglake	-0,71	-0,56	0,01	1,00	
Torsklever	0,04	0,33	-0,19	-0,46	1,00

p<75	75<p<90	90<p<95	95<p<97,5	97,5<p<99	p>99

Figur 7:42. Korrelationskoefficienter och sannolikheten för de linjära sambanden mellan olika medier vad avser koncentrationen av arsenik (As) utmed Bohuskusten under 1992–2001.

The correlation coefficients and the probability of the linear relationships between different media with respect to arsenic (As) along the Bohus Coast in 1992–2001.



Figur 7:43. Sambanden mellan arsenik (As) i blåstång och sediment utmed Bohuskusten under 1997–2001.

The relationship between arsenic (As) in bladder wrack and sediment at the Bohus Coast in 1997–2001.

7.5.1.2 Kadmium

Sambandsanalyserna vad avser kadmium (Cd) visar ett starkt signifikant (p>99 %) och positivt samband mellan blåstång och tånglake i den undersökta matrisen(fig. 7:44). Starka signifikanta negativa samband råder mellan tånglake och och torsk (torsklever) samt mellan sediment och torsk (torsklever). Något svagare positiva samband med måttlig signifikans råder mellan sediment och blåmussla respektive tånglake samt mellan torsk (torsklever) och blåstång (fig. 7:44). I övrigt är korrelationerna svaga och med låg signifikans (p<95 %) och inga klara samband kan beläggas.

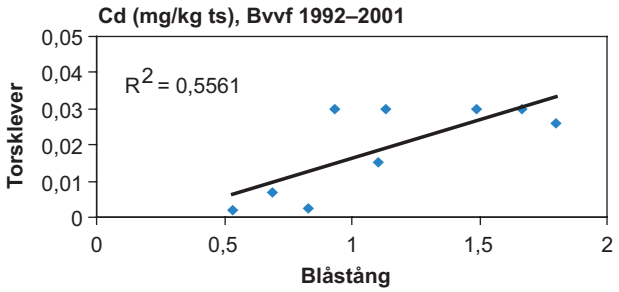
Av r^2-värdena (tabellerna 7:57–7:67) framgår att endast 12 % av klusterfördelningen för sambandet mellan tånglake och blåstång beror på andra faktorer.

Cd	Sediment	Blåstång	Blåmussla	Tånglake	Torsklever
Sediment	1,00				
Blåstång	-0,19	1,00			
Blåmussla	0,50	0,08	1,00		
Tånglake	0,59	0,94	0,43	1,00	
Torsklever	-0,77	0,75	-0,35	-0,82	1,00

p<75	75<p<90	90<p<95	95<p<97,5	97,5<p<99	p>99

Figur 7:44. Korrelationskoefficienter och sannolikheten för de linjära sambanden mellan olika medier vad avser koncentrationen av kadmium (Cd) utmed Bohuskusten under 1992–2001.

The correlation coefficients and the probability of the linear relationships between different media with respect to cadmium (Cd) along the Bohus Coast in 1992–2001.



Figur 7:45. Sambanden mellan kadmium (Cd) i blåstång och torsklever utmed Bohuskusten under 1997–2001.

The relationship between cadmium (Cd) in bladder wrack and cod liver at the Bohus Coast in 1997–2001.

7.5.1.3 Krom

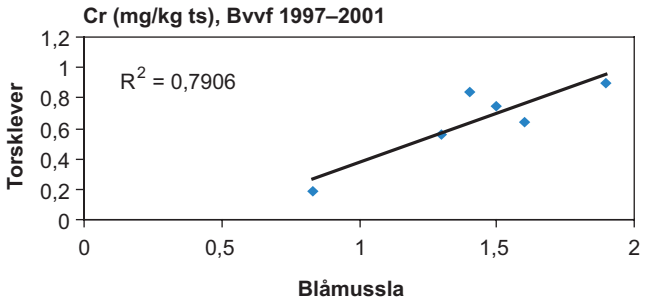
Sambandsanalyserna vad avser krom (Cr) uppvisar endast ett starkt signifikant (p>99 %) och positivt samband mellan krom i blåmussla och torsk (torsklever) i den undersökta matrisen(fig. 7:46 och 7:47). Måttlig signifikans (95<p<99 %) föreligger mellan blåmussla och tånglake samt mellan torsk (torsklever) och tånglake. Inga samband föreligger till sediment och blåstång.

Cr	Sediment	Blåstång	Blåmussla	Tånglake	Torsklever
Sediment	1,00				
Blåstång	-0,17	1,00			
Blåmussla	0,15	0,40	1,00		
Tånglake	0,09	-0,12	0,66	1,00	
Torsklever	0,28	0,37	0,89	0,84	1,00

p<75	75<p<90	90<p<95	95<p<97,5	97,5<p<99	p>99

Figur 7:46. Korrelationskoefficienter och sannolikheten för de linjära sambanden mellan olika medier vad avser koncentrationen av krom (Cr) utmed Bohuskusten under 1992–2001.

The correlation coefficients and the probability of the linear relationships between different media with respect to chromium (Cr) along the Bohus Coast in 1992–2001.



Figur 7:47. Sambanden mellan krom (Cr) i blåmussla och torsklever utmed Bohuskusten under 1997–2001.

The relationship between chromium (Cr) in blue mussel and cod liver at the Bohus Coast in 1997–2001.

7.5.1.4 Koppar

Sambandsanalyserna vad avser kadmium (Cd) visar på starka signifikanta (p>99 %) och positiva samband mellan blåstång och övriga biologiska medier samt mellan blåmussla och tånglake i den undersökta matrisen(fig. 7:48). Sambanden med sediment är svagt (p<95 %). Sambandet mellan torsk (torsklever) och blåstång illustreras i figur 7:49.

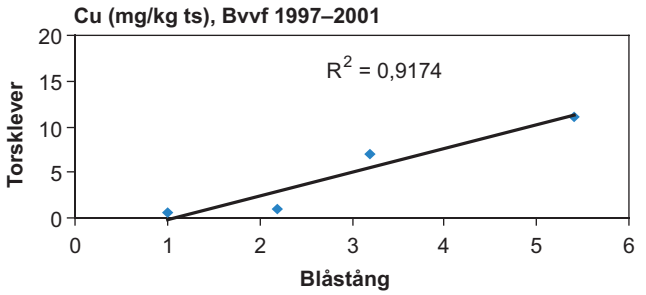
Av r^2-värdena (tabellerna 7:57–7:67) framgår att endast 8 % av klusterfördelningen för sambandet mellan tånglake och blåstång beror på andra faktorer.

Cu	Sediment	Blåstång	Blåmussla	Tånglake	Torsklever
Sediment	1,00				
Blåstång	0,37	1,00			
Blåmussla	0,30	0,58	1,00		
Tånglake	0,23	0,71	0,71	1,00	
Torsklever	-0,40	0,96	0,34	0,35	1,00

p<75	75<p<90	90<p<95	95<p<97,5	97,5<p<99	p>99

Figur 7:48. Korrelationskoefficienter och sannolikheten för de linjära sambanden mellan olika medier vad avser koncentrationen av koppar (Cu) utmed Bohuskusten under 1992–2001.

The correlation coefficients and the probability of the linear relationships between different media with respect to copper (Cu) along the Bohus Coast in 1992–2001.



Figur 7:49. Sambanden mellan koppar (Cu) i blåstång och torsklever utmed Bohuskusten under 1997–2001.

The relationship between copper (Cu) in bladder wrack and cod liver at the Bohus Coast in 1997–2001.

7.5.1.5 Kvicksilver

Sambandsanalyserna vad avser kvicksilver (Hg) visar på starka signifikanta (p>99 %) och positiva samband mellan sediment och övriga biologiska medier (torsk undantaget) samt mellan olika biologiska medier (fig. 7:50). Sambandet mellan torsk (torsklever) och blåstång är med måttlig signifikans (95<p<97,5 %) starkt negativt. Sambanden med torskfilé är svagt (p<95 %).

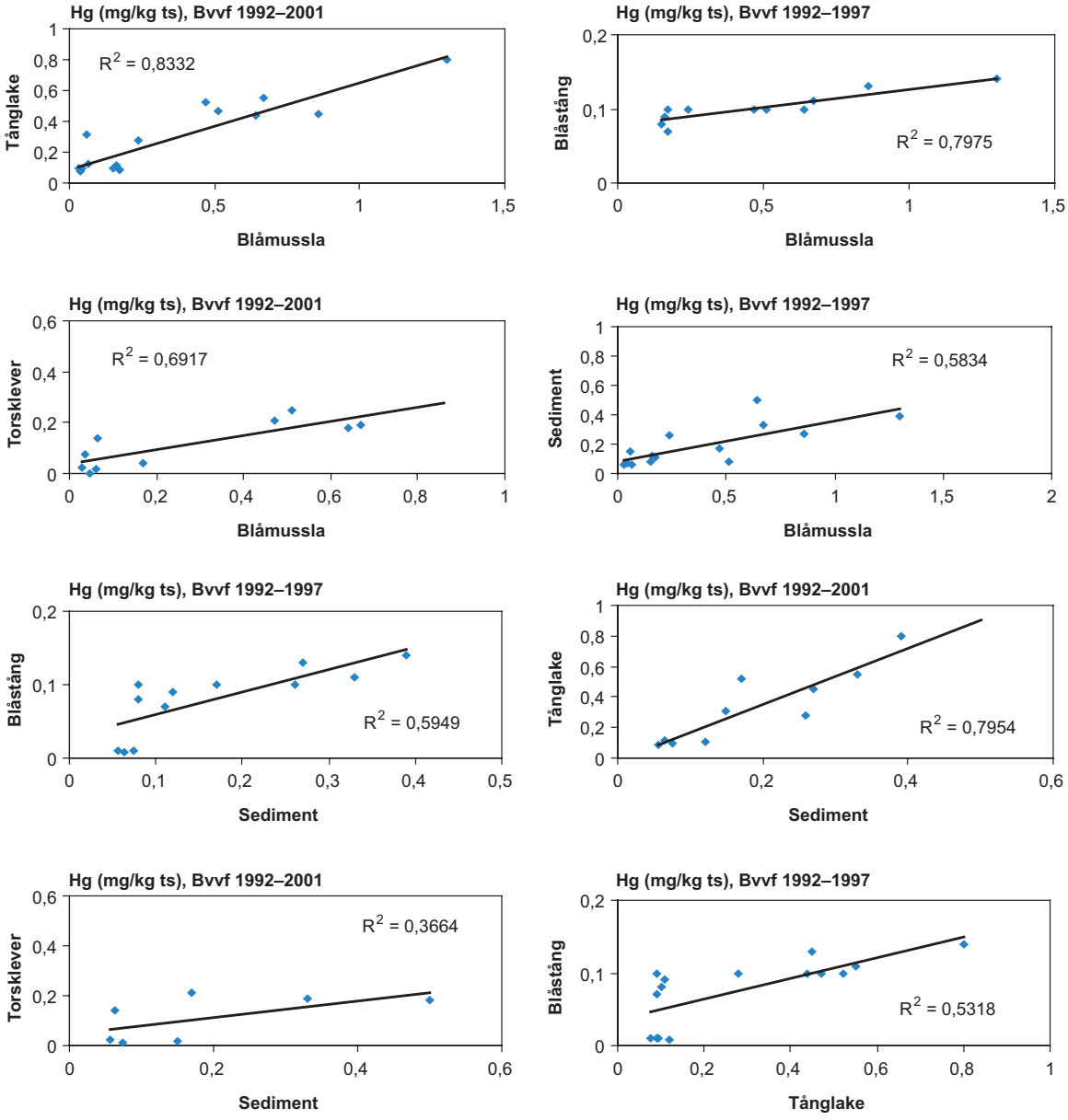
I figur 7:51a–b redovisas plottdiagrammen för sambanden. Av r^2-värdena (tabellerna 7:57–7:67) framgår att mellan 17 och 42 % av klusterfördelningen i de olika sambanden beror på andra faktorer.

Hg	Sediment	Blåstång	Blåmussla	Tånglake	Torsklever	Torskfilé
Sediment	1,00					
Blåstång	0,77	1,00				
Blåmussla	0,76	0,89	1,00			
Tånglake	0,89	0,73	0,91	1,00		
Torsklever	0,61	-0,83	0,83	0,88	1,00	
Torskfilé	-0,15	0,85	0,40	0,63	0,15	1,00

p<75	75<p<90	90<p<95	95<p<97,5	97,5<p<99	p>99

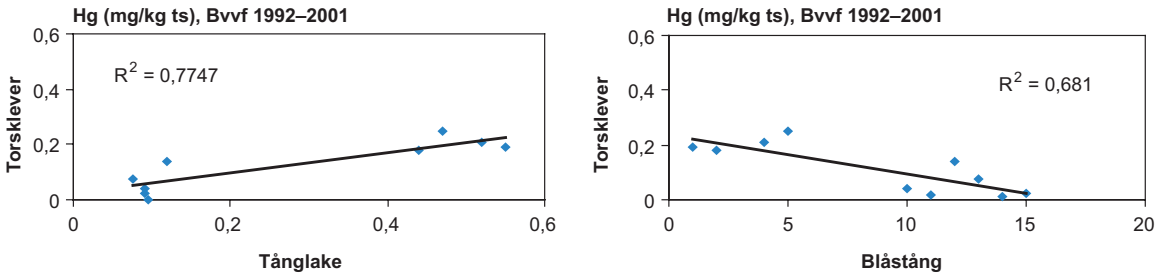
Figur 7:50. Korrelationskoefficienter och sannolikheten för de linjära sambanden mellan olika medier vad avser koncentrationen av kvicksilver (Hg) utmed Bohuskusten under 1992–2001.

The correlation coefficients and the probability of the linear relationships between different media with respect to mercury (Hg) along the Bohus Coast in 1992–2001.



Figur 7:51a. Sambanden mellan kvicksilver (Hg) i sediment och biota utmed Bohuskusten under 1992–2001.

The relationship between mercury (Hg) in sediment and biota at the Bohus Coast in 1992–2001.



Figur 7:51b. Sambanden mellan kvicksilver (Hg) i sediment och biota utmed Bohuskusten under 1992–2001.
The relationship between mercury (Hg) in sediment and biota at the Bohus Coast in 1992–2001.

7.5.1.6 Nickel

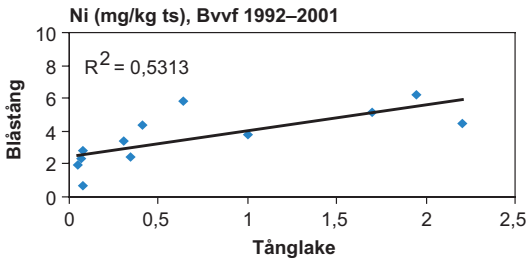
Sambandsanalyserna med avseende på nickel (Ni) visar på starka signifikanta (p>99 %) och positiva samband mellan blåstång och övriga biologiska medier samt mellan torsk (torsklever) och tånglake (fig. 7:52 och 7:53). Däremot är sambanden till blåmussla och sediment svaga (p<75-<95 %).

Av r^2-värdena (tabellerna 7:57–7:67) framgår att endast 2 % av klusterfördelningen i sambandet mellan tånglake och torsk (torsklever) beror på andra faktorer.

Ni	Sediment	Blåstång	Blåmussla	Tånglake	Torsklever
Sediment	1,00				
Blåstång	0,03	1,00			
Blåmussla	0,50	0,73	1,00		
Tånglake	0,19	0,73	-0,32	1,00	
Torsklever	0,04	0,95	-0,32	0,99	1,00

p<75	75<p<90	90<p<95	95<p<97,5	97,5<p<99	p>99

Figur 7:52. Korrelationskoefficienter och sannolikheten för de linjära sambanden mellan olika medier vad avser koncentrationen av nickel (Ni) utmed Bohuskusten under 1992–2001.
The correlation coefficients and the probability of the linear relationships between different media with respect to nickel (Ni) along the Bohus Coast in 1992–2001.



Figur 7:53. Sambanden mellan nickel (Ni) i Tånglake och blåstång utmed Bohuskusten under 1992–2001.
The relationship between nickel (Ni) in eel-pout and bladder wrack at the Bohus Coast in 1992–2001.

7.5.1.7 Bly

Sambandsanalyserna med avseende på bly (Pb) visar endast på starka signifikanta (p>99 %) och positiva samband mellan blåstång och blåmussla, samt mellan torsk (torsklever) och tånglake (fig. 7:54). Exempel på det förra sambandet illustreras i figur 7:55. Övriga samband är svaga (p<95 %).

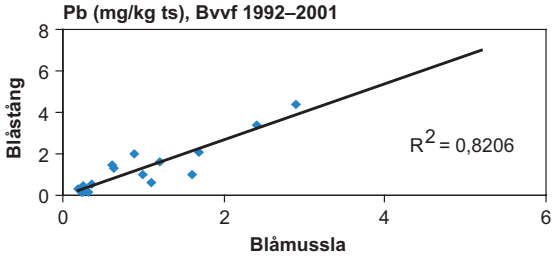
Av r^2-värdena (tabellerna 7:57–7:67) framgår att endast 2 % av klusterfördelningen i sambandet mellan tånglake och torsk (torsklever) beror på andra faktorer (jämför Ni ovan).

Pb	Sediment	Blåstång	Blåmussla	Tånglake	Torsklever
Sediment	1,00				
Blåstång	-0,16	1,00			
Blåmussla	0,27	0,91	1,00		
Tånglake	0,63	-0,42	-0,60	1,00	
Torsklever	-0,69	0,88	0,65	0,99	1,00

p<75	75<p<90	90<p<95	95<p<97,5	97,5<p<99	p>99

Figur 7:54. Korrelationskoefficienter och sannolikheten för de linjära sambanden mellan olika medier vad avser koncentrationen av bly (Pb) utmed Bohuskusten under 1992–2001.

The correlation coefficients and the probability of the linear relationships between different media with respect to lead (Pb) along the Bohus Coast in 1992–2001.



Figur 7:55. Sambanden mellan bly (Pb) i blåmussla och blåstång utmed Bohuskusten under 1992–2001.

The relationship between lead (Pb) in blue mussel and bladder wrack at the Bohus Coast in 1992–2001.

7.5.1.8 Tenn

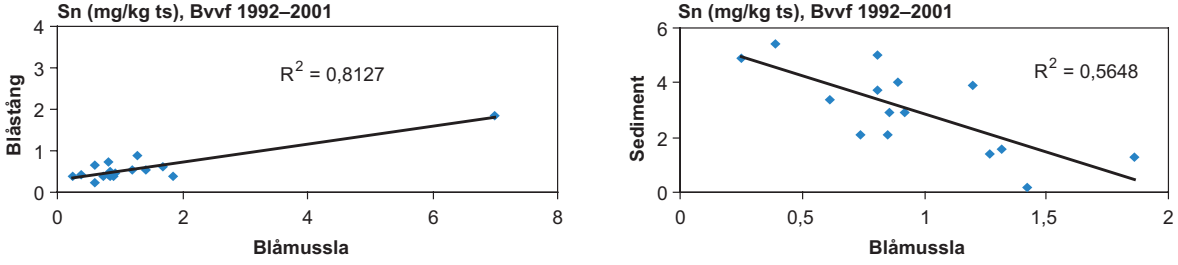
Sambandsanalyserna med avseende på tenn (Sn) visar också endast på två starka signifikanta (p>99 %) och positiva samband, nämligen mellan blåmussla och sediment respektive blåstång (fig. 7:56). Övriga samband är svaga (p<95 %). Exempel på några samband illustreras i figur 7:57.

Sn	Sediment	Blåstång	Blåmussla	Tånglake	Torsklever
Sediment	1,00				
Blåstång	-0,01	1,00			
Blåmussla	-0,75	0,90	1,00		
Tånglake	0,57	-0,45	-0,51	1,00	
Torsklever	0,85	0,58	-0,18	0,89	1,00

p<75	75<p<90	90<p<95	95<p<97,5	97,5<p<99	p>99

Figur 7:56. Korrelationskoefficienter och sannolikheten för de linjära sambanden mellan olika medier vad avser koncentrationen av tenn (Sn) utmed Bohuskusten under 1992–2001.

The correlation coefficients and the probability of the linear relationships between different media with respect to tin (Sn) along the Bohus Coast in 1992–2001.



Figur 7:57. Sambanden mellan tenn (Sn) i blue musselt och blåstång respektive sediment utmed Bohuskusten under 1992–2001.

The relationship between tin (Sn) in blue mussel and bladder wrack and sediment respectively at the Bohus Coast in 1992–2001.

7.5.1.9 Vanadin

Sambandsanalyserna med avseende på vanadin (V) visar på starka signifikanta (p>99 %) och positiva samband mellan blåmussla och blåstång respektive tånglake, men ett starkt signifikant negativt samband mellan blåmussla och torsk (torsklever) (fig. 7:58). Övriga samband är svaga (p<95 %) och inget samband råder mellan sediment och biota.

I figur 7:59 illustreras sambanden mellan blåmussla och tånglake respektive blåmussla och torsklever.

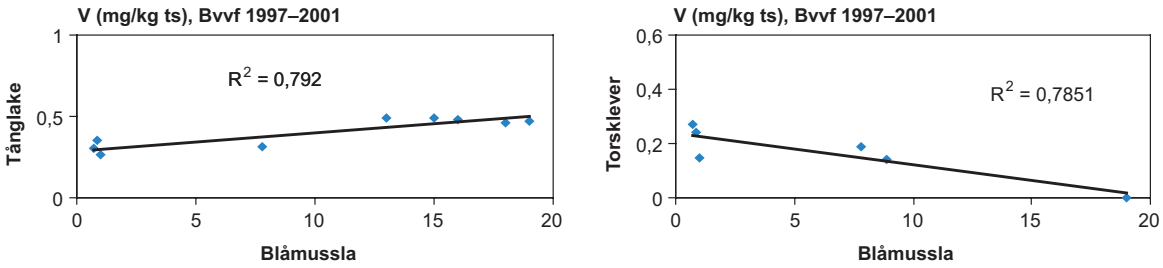
Av r^2-värdena (tabellerna 7:57–7:67) framgår t.ex. att endast 4 % av klusterfördelningen i sambandet mellan blåmussla och blåstång beror på andra faktorer.

V	Sediment	Blåstång	Blåmussla	Tånglake	Torsklever
Sediment	1,00				
Blåstång	0,06	1,00			
Blåmussla	-0,20	0,98	1,00		
Tånglake	0,05	0,93	0,89	1,00	
Torsklever	0,69	0,67	-0,89	0,69	1,00

p<75	75<p<90	90<p<95	95<p<97,5	97,5<p<99	p>99

Figur 7:58. Korrelationskoefficienter och sannolikheten för de linjära sambanden mellan olika medier vad avser koncentrationen av vanadin (V) utmed Bohuskusten under 1992–2001.

The correlation coefficients and the probability of the linear relationships between different media with respect to vanadium (V) along the Bohus Coast in 1992–2001.



Figur 7:59. Sambanden mellan vanadin (V) i olika biota utmed Bohuskusten under 1997–2001.

The relationship between vanadium (V) in different biota at the Bohus Coast in 1997–2001.

7.5.1.10 Zink

Sambandsanalyserna med avseende på zink (Zn) visar förvånande nog inte på några starkt signifikanta och positiva samband i den undersökta matrisen (fig. 7:60). Ett måttligt (97,5<p<99 %) positivt samband finns mellan sediment och blåstång och ett måttligt negativt samband mellan blåmussla och torsk (torsklever).

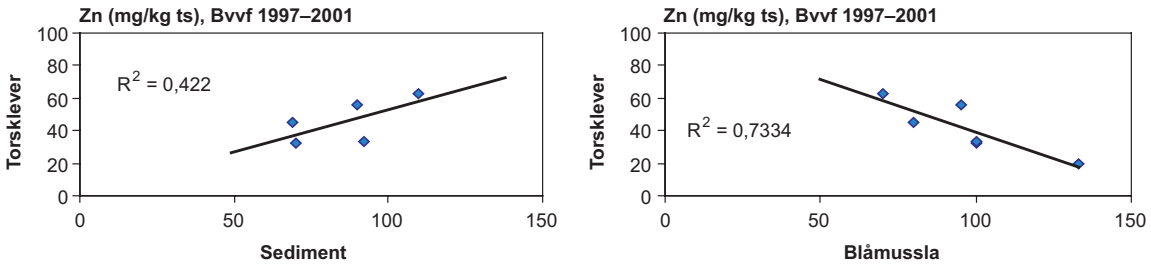
I figur 7:61 illustreras sambanden mellan torsklever och sediment respektive torsklever och blåmussla.

Zn	Sediment	Blåstång	Blåmussla	Tånglake	Torsklever
Sediment	1,00				
Blåstång	0,56	1,00			
Blåmussla	0,05	0,20	1,00		
Tånglake	0,41	0,46	0,39	1,00	
Torsklever	0,65	0,39	-0,86	-0,68	1,00

p<75	75<p<90	90<p<95	95<p<97,5	97,5<p<99	p>99

Figur 7:60. Korrelationskoefficienter och sannolikheten för de linjära sambanden mellan olika medier vad avser koncentrationen av zink (Zn) utmed Bohuskusten under 1992–2001.

The correlation coefficients and the probability of the linear relationships between different media with respect to zinc (Zn) along the Bohus Coast in 1992–2001.



Figur 7:61. Sambanden mellan zink (Zn) i i torsklever och sediment respektive blåmussla utmed Bohuskusten under 1997–2001.
The relationship between zinc (Zn) in cod liver and sediment and bluemussel respectively at the Bohus Coast in 1997–2001.

7.5.1.11 Organiska tennföreningar

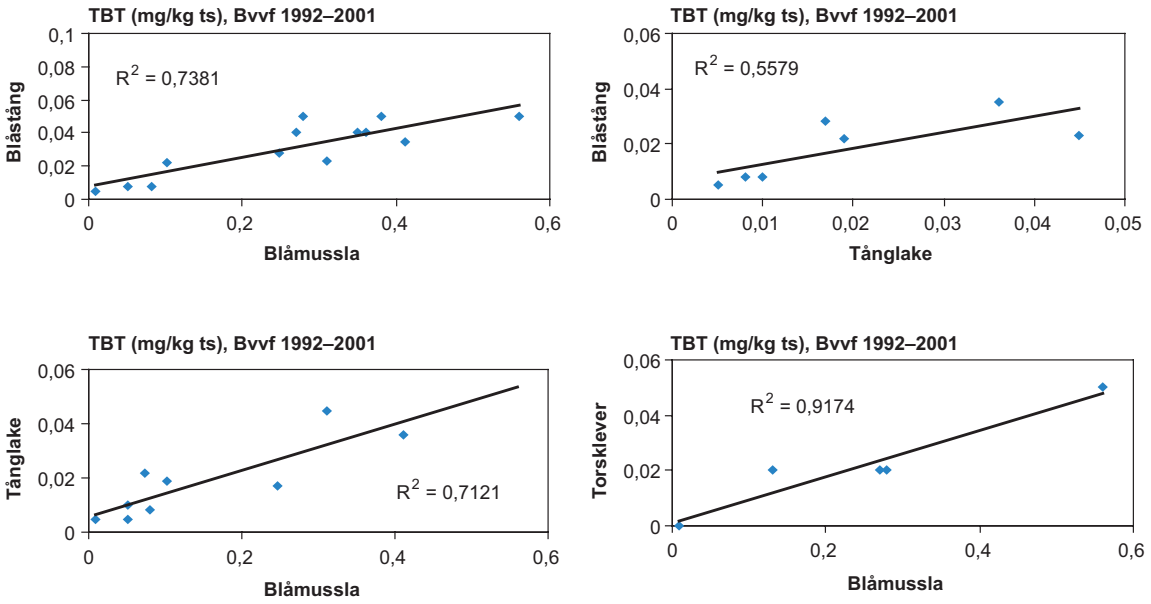
Halten av dibutyltenn (DBT) och tributyltenn (TBT) har inte studerats i tånglake vid undersökningarna 2001. Eventuellt koncentrationssamband med sediment har därför inte varit möjligt att undersöka eftersom data på sediment endast föreligger för år 2000 (SGUs undersökningar). I övriga medier har organiska tennföreningar undersökts.

Sambandsanalyserna med avseende på TBT visar på starka signifikanta (p>99 %) och positiva samband mellan blåmussla och torsk (torsklever) respektive tånglake samt mellan blåstång och blåmussla (fig. 7:62). Övriga samband är svaga (p<95 %) och inga starka samband råder mellan sediment och biota.

TBT	Sediment	Blåstång	Blåmussla	Tånglake	Torsklever
Sediment	1,00				
Blåstång	0,28	1,00			
Blåmussla	0,97	0,86	1,00		
Tånglake	-	0,75	0,84	1,00	
Torsklever	0,74	0,39	0,96	-	1,00

p<75	75<p<90	90<p<95	95<p<97,5	97,5<p<99	p>99

Figur 7:62. Korrelationskoefficienter och sannolikheten för de linjära sambanden mellan olika medier vad avser koncentrationen av tributyltenn (TBT) utmed Bohuskusten under 1992–2001.
The correlation coefficients and the probability of the linear relationships between different media with respect to tributhyltin (TBT) along the Bohus Coast in 1992–2001.



Figur 7:63. Sambanden mellan tributyltenn (TBT) i olika biota utmed Bohuskusten under 1992–2001.
The relationship between tributhyltin (TBT) in different biota at the Bohus Coast in 1992–2001.

DBT	Sediment	Blåstång	Blåmussla	Tånglake	Torsklever
Sediment	1,00				
Blåstång	0,35	1,00			
Blåmussla	0,91	0,60	1,00		
Tånglake	-	0,37	-0,08	1,00	
Torsklever	-0,86	0,13	0,50	-	1,00

p<75	75<p<90	90<p<95	95<p<97,5	97,5<p<99	p>99

Figur 7:64. Korrelationskoefficienter och sannolikheten för de linjära sambanden mellan olika medier vad avser koncentrationen av dibutyltenn (DBT) utmed Bohuskusten under 1992–2001.

The correlation coefficients and the probability of the linear relationships between different media with respect to dibuthyltin (DBT) along the Bohus Coast in 1992–2001.

Inga negativa samband vad avser koncentrationen av TBT mellan olika typer av biota respektive biota och sediment har påvisats. I figur 7:63 illustreras några av sambanden.

Sambandsanalyserna med avseende på nedbrytningsprodukten DBT visar inte på några starka positiva samband med hög signifikans (fig. 7:64). Möjligen kan ett positivt samband råda mellan halten i blåmussla och sediment (signifikans 97,5<p<99 %). Osäkerheten är dock stor beroende på få mätvärden (tabellerna 7:57–7:67).

Förklaringen till skillnaden mellan de funna sambanden för TBT och DBT i matrisen kan bero på skillnader i nedbrytning av TBT alternativt i mekanismerna för att avsöndra nedbrytningsprodukten.

7.5.1.12 Polycykliska aromatiska kolväten (PAH)

Sambandsanalyserna med avseende på polycykliska aromatiska kolväten (∑16 PAH) visar inte på några starka signifikanta (p>99 %) och positiva samband i den undersökta matrisen (fig. 7:65). Sambanden är svaga (p<95 %) och i de flesta fallen negativa.

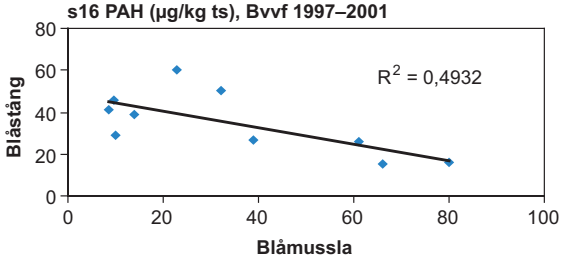
I figur 7:66 illustreras sambandet mellan blåmussla och blåstång vad avser ∑16 PAH.

s16 PAH	Sediment	Blåstång	Blåmussla	Tånglake	Torsklever
Sediment	1,00				
Blåstång	0,30	1,00			
Blåmussla	-0,24	-0,70	1,00		
Tånglake	-0,31	0,47	-0,18	1,00	
Torsklever	-0,88	0,11	0,67	-0,28	1,00

p<75	75<p<90	90<p<95	95<p<97,5	97,5<p<99	p>99

Figur 7:65. Korrelationskoefficienter och sannolikheten för de linjära sambanden mellan olika medier vad avser koncentrationen av polycykliska aromatiska kolväten (∑16 PAH) utmed Bohuskusten under 1997–2001.

The correlation coefficients and the probability of the linear relationships between different media with respect to polycyclic aromatic hydrocarbons (∑16 PAH) along the Bohus Coast in 1997–2001.



Figur 7:66. Sambanden mellan polycykliska aromatiska kolväten (s16 PAH) i blåmussla och blåstång utmed Bohuskusten under 1997–2001.

The relationship between polycyclic aromatic hydrocarbons (s16 PAH) in blue mussel and bladder wrack at the Bohus Coast in 1997–2001.

7.5.1.13 Metylnaftalener

Sambandsanalyserna med avseende på 1-metylnaftalen visar endast på ett enda starkt signifikant (p>99 %) och positiva samband i den undersökta matrisen; sambandet torsk (torsklever) och tånglake (fig. 7:67). När det gäller 2-metylnaftalen är sambandet omvänt, dvs. negativt (fig. 7:68). Sambanden i övrigt är svaga (p<95 %) eller saknas helt.

Osäkerheten är dock stor när det gäller sambanden för metylnaftalener beroende på att antalet mätvärden är få (tabellerna 7:57–7:67).

I figur 7:69 illustreras sambanden mellan torsk (torsklever) och blåstång respektive torsk (torsklever) och tånglake.

1-metylnaft	Sediment	Blåstång	Blåmussla	Tånglake	Torsklever
Sediment	1,00				
Blåstång	0,02	1,00			
Blåmussla	0,88		1,00		
Tånglake	-	-	-	1,00	
Torsklever	0,72	0,98	-	0,95	1,00

p<75	75<p<90	90<p<95	95<p<97,5	97,5<p<99	p>99

Figur 7:67. Korrelationskoefficienter och sannolikheten för de linjära sambanden mellan olika medier vad avser koncentrationen av 1-metylnaftalen utmed Bohuskusten under 2001.

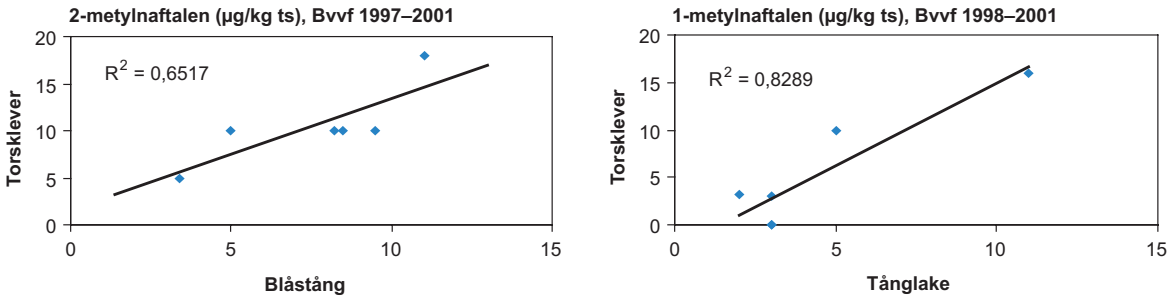
The correlation coefficients and the probability of the linear relationships between different media with respect to 1-methylnaphtalene along the Bohus Coast in 2001.

2-metylnaft	Sediment	Blåstång	Blåmussla	Tånglake	Torsklever
Sediment	1,00				
Blåstång	0,42	1,00			
Blåmussla	0,40		1,00		
Tånglake	0,51	-	-	1,00	
Torsklever	0,50	0,81	-	-0,88	1,00

p<75	75<p<90	90<p<95	95<p<97,5	97,5<p<99	p>99

Figur 7:68. Korrelationskoefficienter och sannolikheten för de linjära sambanden mellan olika medier vad avser koncentrationen av 2-metylnaftalen utmed Bohuskusten under 2001.

The correlation coefficients and the probability of the linear relationships between different media with respect to 2-methylnaphtalene along the Bohus Coast in 2001.



Figur 7:69. Sambanden mellan metylnaftalener i torsklever och blåstång respektive tånglake utmed Bohuskusten under 2001.

The relationship between methylnaphtalenes in cod liver and bladder wrack and eel-pout respectively at the Bohus Coast in 1997–2001.

7.5.1.14 Polyklorerade bifenyler (PCB)

Polyklorerade bifenyler (PCB) har inte undersökts i blåstång varför detta media inte ingår i sambandsanalysen. Sambandsanalyserna med avseende på övriga media visar på starka signifikanta (p>99 %) och positiva samband mellan tånglake och sediment respektive blåmussla (fig. 7:70). Något mindre signifikanta (97,5<p<99 %) positiva samband föreligger mellan torsk (torsklever) och sediment respektive blåmussla. Det föreligger också ett motsvarande samband mellan blåmussla och torskfilé, men inget samband mellan torsk och tånglake.

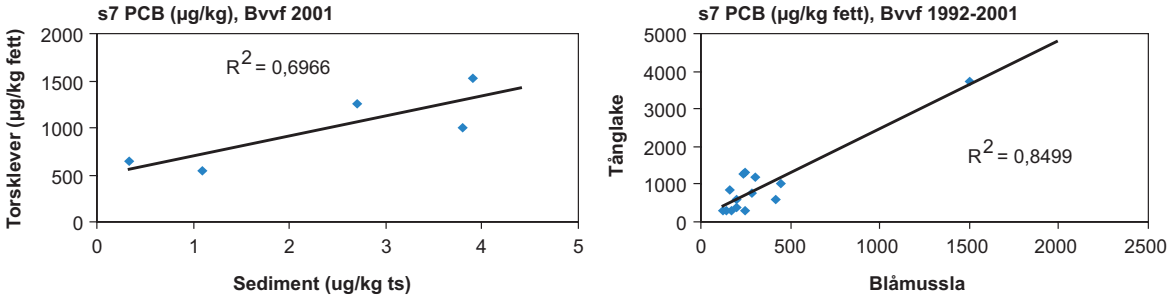
Av r^2-värdena (tabellerna 7:57–7:67) framgår att endast 10 och 15 % av klusterfördelningen i sambandet mellan tånglake och blåmussla respektive sediment beror på andra faktorer.

I figur 7:71 illustreras sambanden mellan torsk (torsklever) och sediment respektive tånglake och blåmussla.

s7 PCB	Sediment	Blåstång	Blåmussla	Tånglake	Torsklever	Torskfilé
Sediment	1,00					
Blåstång		1,00				
Blåmussla	0,13		1,00			
Tånglake	0,95		0,92	1,00		
Torsklever	0,83		0,66	0,08	1,00	
Torskfilé	-		0,98	-0,25	0,67	1,00
	p<75	75<p<90	90<p<95	95<p<97,5	97,5<p<99	p>99

Figur 7:70. Korrelationskoefficienter och sannolikheten för de linjära sambanden mellan olika medier vad avser koncentrationen av polyklorerade bifenyler (∑7 PCB) utmed Bohuskusten under 1992–2001.

The correlation coefficients and the probability of the linear relationships between different media with respect to polychlorinated biphenyles (∑7 PCB) along the Bohus Coast in 1992–2001.



Figur 7:71. Sambanden mellan polyklorerade bifenyler (s7 PCB) i sediment och torsklever respektive tånglake och blåmussla utmed Bohuskusten under 2001.

The relationship between polychlorinated biphenyles (s7 PCB) in sediment and cod liver and in eel-pout and blue mussel respectively at the Bohus Coast in 2001.

7.5.1.15 Polybromerade difenyletrar (PBDE)

Resultatet av sambandsanalyserna med avseende på polybromerade difenyler (kongenerna PBDE-47, PBDE-99, PBDE-100 och DekaBDE) visar endast på två starkt signifikanta (p>99 %) och positiva samband i den undersökta matrisen; sambandet mellan sediment och blåmussla vad avser PBDE-47 och sambandet mellan blåmussla och blåstång vad avser DekaBDE (fig. 7:72–7:75). PBDE-99 och PBDE-100 kunde inte detekteras i sedimentproven.

Ett måttligt signifikant positivt samband mellan blåmussla och tånglake föreligger också (fig. 7:76), medan övriga samband är svaga med låg signifikans (p<95 %) (fig. 7:72–7:75). Osäkerheten är dock stor när det gäller sambanden för PBDE beroende på att antalet mätvärden är få (tabellerna 7:57–7:67).

I figur 7:76 illustreras ytterligare några av de berörda sambanden vad avser PBDE-47, PBDE-99 och DekaBDE.

PBDE-47	Sediment	Blåstång	Blåmussla	Tånglake	Torsklever
Sediment	1,00				
Blåstång	0,26	1,00			
Blåmussla	0,97	-0,26	1,00		
Tånglake	-0,47	0,70	0,54	1,00	
Torsklever	0,62	-0,82	0,69	-0,83	1,00

p<75	75<p<90	90<p<95	95<p<97,5	97,5<p<99	p>99

Figur 7:72. Korrelationskoefficienter och sannolikheten för de linjära sambanden mellan olika medier vad avser koncentrationen av PBDE-47 utmed Bohuskusten under 2001.

The correlation coefficients and the probability of the linear relationships between different media with respect to PBDE-47 along the Bohus Coast in 2001.

PBDE-99	Sediment	Blåstång	Blåmussla	Tånglake	Torsklever
Sediment	1,00				
Blåstång	-	1,00			
Blåmussla	-	-0,04	1,00		
Tånglake	-	0,56	0,98	1,00	
Torsklever	-	-0,16	0,93	0,65	1,00

p<75	75<p<90	90<p<95	95<p<97,5	97,5<p<99	p>99

Figur 7:73. Korrelationskoefficienter och sannolikheten för de linjära sambanden mellan olika medier vad avser koncentrationen av PBDE-99 utmed Bohuskusten under 2001.

The correlation coefficients and the probability of the linear relationships between different media with respect to PBDE-99 along the Bohus Coast in 2001.

PBDE-100	Sediment	Blåstång	Blåmussla	Tånglake	Torsklever
Sediment	1,00				
Blåstång	-	1,00			
Blåmussla	-	-0,24	1,00		
Tånglake	-	-0,30	0,22	1,00	
Torsklever	-	-0,54	0,90	0,74	1,00

p<75	75<p<90	90<p<95	95<p<97,5	97,5<p<99	p>99

Figur 7:74. Korrelationskoefficienter och sannolikheten för de linjära sambanden mellan olika medier vad avser koncentrationen av PBDE-100 utmed Bohuskusten under 2001.

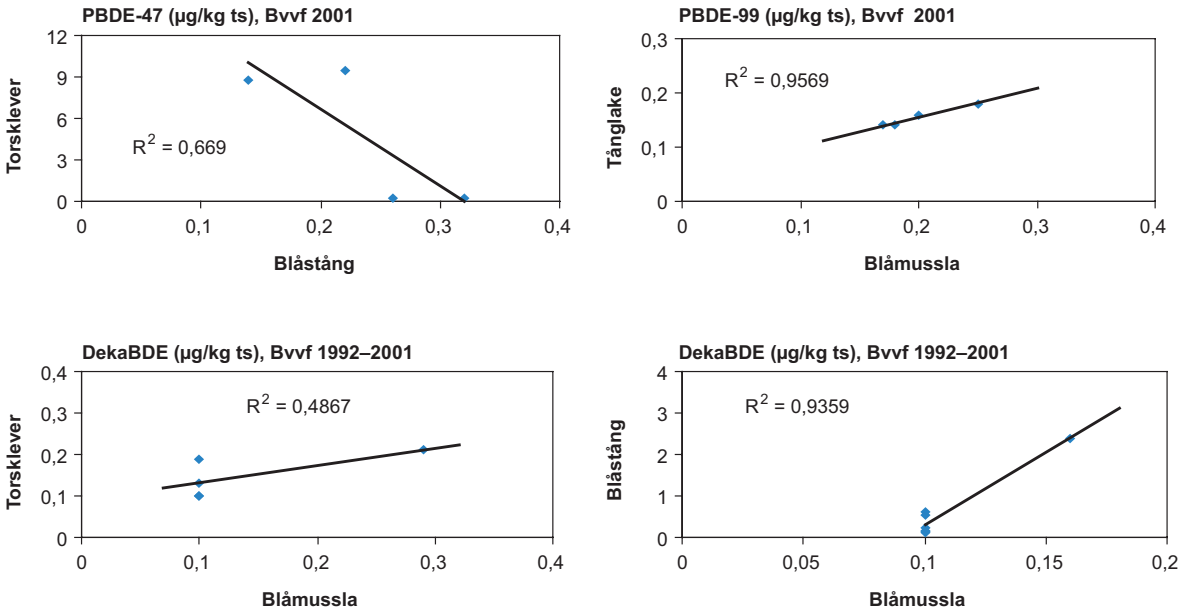
The correlation coefficients and the probability of the linear relationships between different media with respect to PBDE-100 along the Bohus Coast in 2001.

DekaBDE	Sediment	Blåstång	Blåmussla	Tånglake	Torsklever
Sediment	1,00				
Blåstång	0,30	1,00			
Blåmussla	0,40	0,97	1,00		
Tånglake	0,57	-0,25	0,25	1,00	
Torsklever	-0,48	0,22	0,70	-	1,00

p<75	75<p<90	90<p<95	95<p<97,5	97,5<p<99	p>99

Figur 7:75. Korrelationskoefficienter och sannolikheten för de linjära sambanden mellan olika medier vad avser koncentrationen av DekaBDE utmed Bohuskusten under 2001.

The correlation coefficients and the probability of the linear relationships between different media with respect to DecaBDE along the Bohus Coast in 2001.



Figur 7:76. Sambanden mellan några polybromerade difenyler (PBDE, DekaBDE) i olika typer av biota utmed Bohuskusten under 2001.
The relationship between polybrominated diphenyles (PBDE, DecaBDE) in different types of biota at the Bohus Coast in 2001.

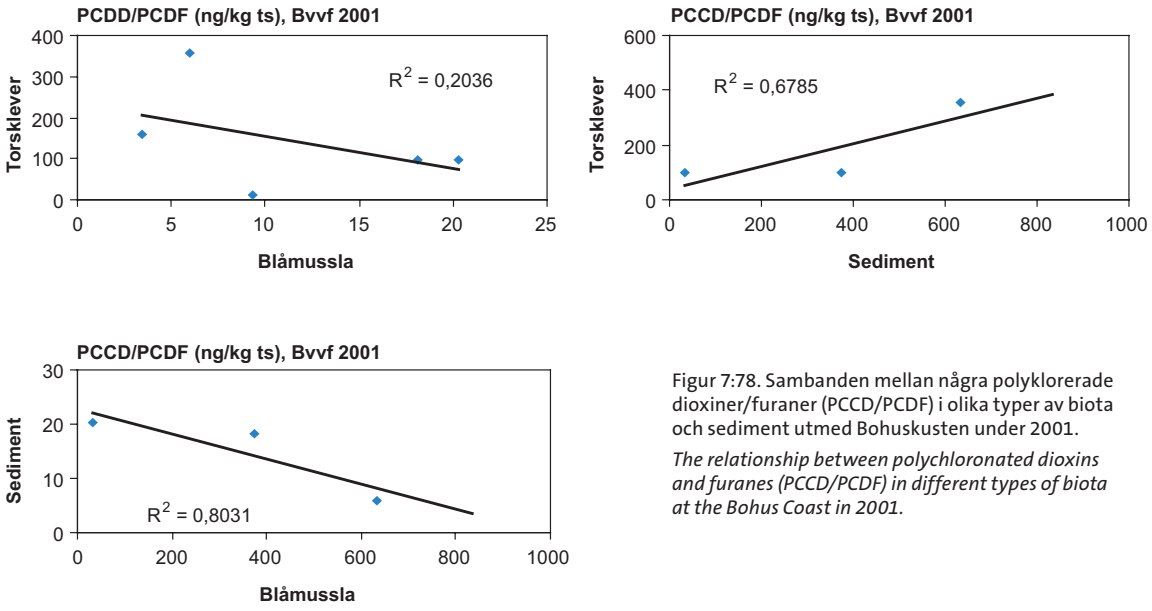
7.5.1.16 Polybromerade dioxiner och furaner (PCCD/PCDF)

Sambandsanalyserna för polyklorerade dioxiner (PCCD) och furaner (PCDF) visar inte på några signifikanta (p<90 %) samband alls (fig. 7:77). Det skall dock understrykas att analysen baseras på endast ett fåtal mätdata och att några slutsatser därför inte kan dras i detta avseende (fig. 7:78).

PCCD/PCDF	Sediment	Blåstång	Blåmussla	Tånglake	Torsklever
Sediment	1,00				
Blåstång		1,00			
Blåmussla	-0,90		1,00		
Tånglake				1,00	
Torsklever	0,82		-0,45		1,00

p<75	75<p<90	90<p<95	95<p<97,5	97,5<p<99	p>99

Figur 7:77. Korrelationskoefficienter och sannolikheten för de linjära sambanden mellan olika medier vad avser koncentrationen av polyklorerade dioxiner/furaner utmed Bohuskusten under 2001.
The correlation coefficients and the probability of the linear relationships between different media with respect to polychlorinated dioxins/furanes along the Bohus Coast in 2001.



Figur 7:78. Sambanden mellan några polyklorerade dioxiner/furaner (PCCD/PCDF) i olika typer av biota och sediment utmed Bohuskusten under 2001.

The relationship between polychloronated dioxins and furanes (PCCD/PCDF) in different types of biota at the Bohus Coast in 2001.

7.6 Faktoranalys av kemiska ämnen i sediment och biota

(av Johan Nyberg och Ingemar Cato)

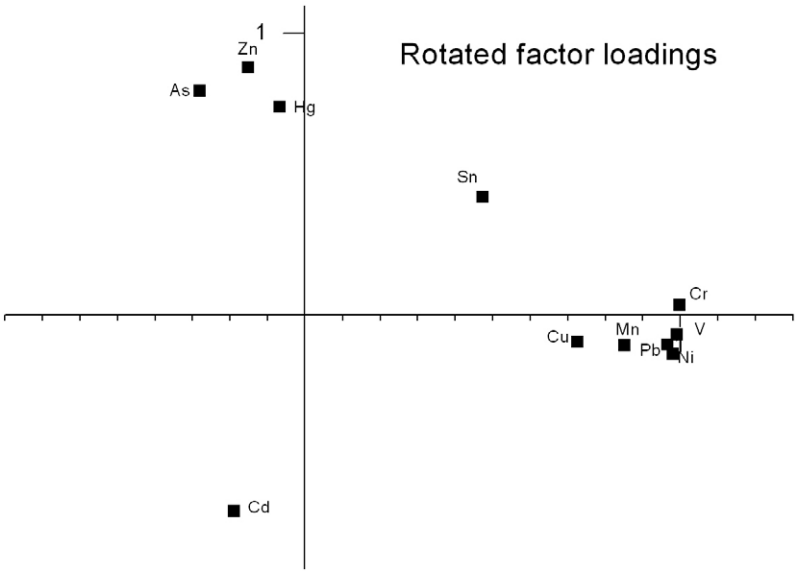
En faktoranalys har utförts på halter av ämnen och substanser som är analyserade i de olika medierna (sediment, blåstång, blåmussla, torsklever och tånglake) längs med Bohuskusten. För att närma sig en normalfördelning på indata utfördes en logtransformation innan faktoranalyserna genomfördes.

Resultaten från en faktoranalys utförd enbart på halter av tungmetaller (tabell 7:68) visar en tydlig gruppering av As, Zn och Hg och av Cr, V, Ni, Pb, Mn och Cu, medan Sn och Cd avskiljde sig (se figur 7:79). För de olika medierna utskiljer sig en grupp bestående av tånglake på alla stationer och torsklever på stationerna 10 och 13 och en annan grupp bestående av samtliga stationers sediment, se figur 7:80. Resultaten indikerar att tånglake vid alla stationer samt torsklever på stationerna 10 och 13 innehåller förhållandevis högre koncentrationer av As, Zn och Hg samt att koncentrationerna av Cr, V, Ni, Pb, Mn och Cu är betydligt högre i sedimentet jämfört med de andra medierna vid samtliga stationer. Detta visar bl.a. sedimentens betydelse som sänka för metaller och möjliga risk i form av sekundär källa.

Tabell 7:68. Korrelationsmatris som visar Pearson korrelationskoefficienten mellan de olika metaller i alla medier analyserade. Fet stil markerar signifikanta värden (förutom diagonalt) över signifikansnivån alpha=0,050 (two-tailed test).

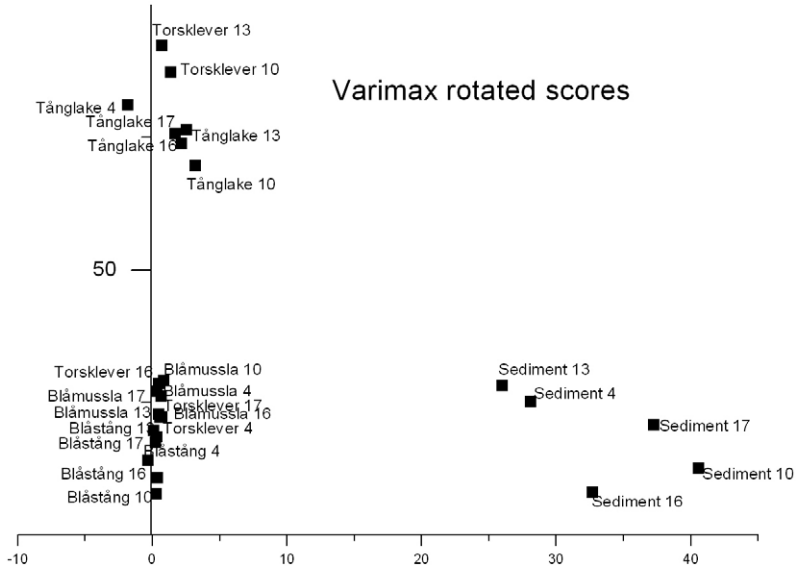
Correlation matrix showing the Pearson correlation coefficients of different metals in all media analysed. Bolded text marks significant values (except diagonal) above the significance level alpha=0.050 (two-tailed test).

	Hg	Cd	Pb	Cu	Ni	Zn	Cr	V	Sn	As	Mn
Hg	1	**−0,648**	−0,062	0,273	−0,059	**0,878**	**0,565**	0,226	**0,616**	0,311	−0,325
Cd	**−0,648**	1	**0,531**	0,039	**0,514**	**−0,741**	−0,189	0,238	**−0,561**	**−0,564**	**0,548**
Pb	−0,062	**0,531**	1	0,325	**0,934**	−0,227	**0,613**	**0,836**	0,188	−0,232	**0,861**
Cu	0,273	0,039	0,325	1	0,184	0,021	**0,641**	**0,557**	0,451	−0,377	0,281
Ni	−0,059	**0,514**	**0,934**	0,184	1	−0,233	**0,570**	**0,786**	0,162	−0,231	**0,845**
Zn	**0,878**	**−0,741**	−0,227	0,021	−0,233	1	0,335	−0,016	**0,516**	0,449	−0,440
Cr	**0,565**	−0,189	**0,613**	**0,641**	**0,570**	0,335	1	**0,851**	**0,704**	−0,005	0,466
V	0,226	0,238	**0,836**	**0,557**	**0,786**	−0,016	**0,851**	1	0,441	−0,126	**0,695**
Sn	**0,616**	**−0,561**	0,188	0,451	0,162	**0,516**	**0,704**	0,441	1	0,298	0,089
As	0,311	**−0,564**	−0,232	−0,377	−0,231	0,449	−0,005	−0,126	0,298	1	−0,206
Mn	−0,325	**0,548**	**0,861**	0,281	**0,845**	−0,440	0,466	**0,695**	0,089	−0,206	1



Figur 7:79. Faktoranalys utförd enbart på halter av tungmetaller i sediment, blåstång, blåmussla, torsklever och tånglake, utvisande metallgrupperingen (se även figur 7:80).

Rotated factor loading for metals in sediment, bladder wrack, blue mussel, cod liver and eel-pout, showing the grouping of metals (see also Figure 7:80).



Figur 7:80. Faktoranalys baserad på halter av tungmetaller i sediment, blåstång, blåmussla, torsklever och tånglake, utvisande grupperingen av olika media i relation till metaller (se också figur 7:79).

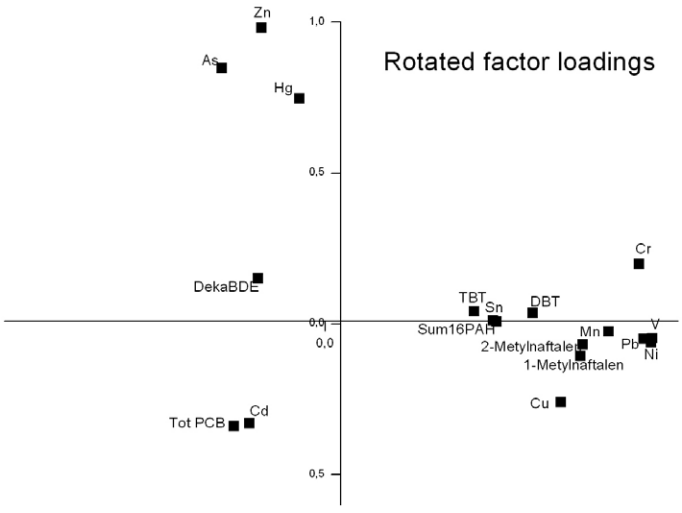
Factor analysis for metals in sediment, bladder wrack, blue mussel, cod liver and eel-pout, showing the grouping of different media in relation to metals (see also, Figure 7:79).

En faktoranalys baserad på halterna av alla studerade ämnen, metaller och organiska miljögifter (tabell 7:79), visar grupperingar av (1) As, Zn och Hg, (2) V, Ni och Pb, (3)1-Metylnaftalen och 2-Metylnaftalen, (4) Sn, ∑16 PAH och TBT samt (5)Tot-PCB och Cd, medan främst DekaBDE och Cr, samt i viss mån DBT och Mn avskiljer sig (se figur 7:81). Noterbart är att Sn och TBT grupperar sig tillsammans med ∑16 PAH. När det gäller Sn och TBT visar resultaten att tennhalten påverkas av det tenn som finns i TBT. Varför ∑16 PAH och tenn grupperar sig är mer ovisst, men kan tolkas som att sjöfarten inte bara bidrar med TBT från vissa påväxthämmande färger utan också med PAH genom nyttjande och förbränning av fossila bränslen.

En svag gruppering av sedimenthalter vid stationerna 10, 16 och 17 samt för torskleverhalter vid stationerna 4, 16 och 17 kan också utskiljas (se figur 82). Även i detta fall visar resultaten på sedimentens betydelse som sänka för kemiska ämnen och substanser. Resultaten visar dessutom att torsklevern, i form av torskens ”reningsverk” ansamlar miljögifter.

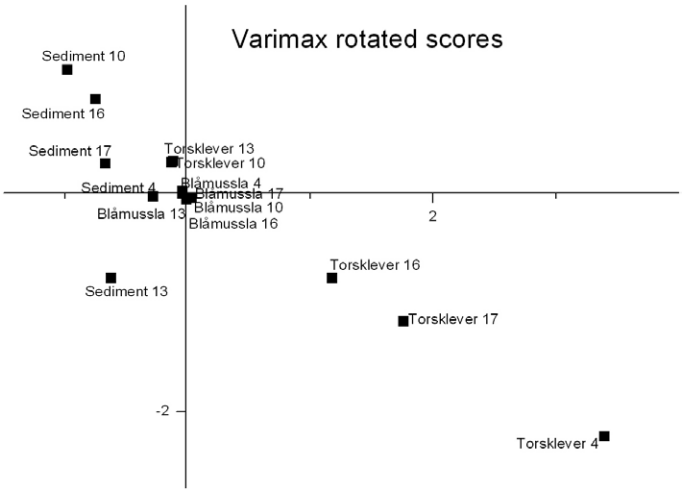
Tabell 7:69. Korrelationsmatris som visar Pearson korrelationskoefficienten mellan de olika elementen i alla medier analyserade. I fet stil, signifikanta värden (förutom diagonalt) över signifikansnivån alpha=0,050 (two-tailed test).

	Sum 16 PAH	2-Metyl-naf-talen	1-Metyl-naf-talen	Dek-aBDE	Hg	Cd	Pb	Cu	Ni	Zn	Cr	V	Sn	As	Mn	Tot PCB	TBT	DBT
Sum 16 PAH	1	**0,880**	**0,769**	−0,133	0,313	0,113	**0,726**	**0,688**	**0,691**	−0,181	**0,844**	**0,784**	**0,670**	−0,058	**0,778**	−0,336	**0,783**	**0,847**
2-Metylnaf-talen	**0,880**	1	**0,892**	−0,069	0,217	−0,089	**0,535**	**0,702**	**0,515**	−0,238	**0,797**	**0,640**	**0,632**	0,040	**0,664**	−0,190	**0,572**	**0,685**
1-Metylnaf-talen	**0,769**	**0,892**	1	−0,053	0,073	−0,300	0,351	**0,799**	0,297	−0,242	**0,702**	0,471	**0,655**	−0,010	**0,532**	0,037	0,428	**0,548**
DekaBDE	−0,133	−0,069	−0,053	1	0,180	−0,178	−0,046	−0,357	−0,114	0,118	−0,108	−0,186	−0,162	0,047	−0,235	0,010	−0,256	−0,173
Hg	0,313	0,217	0,073	0,180	1	−0,275	0,365	−0,118	0,279	**0,747**	0,440	0,296	0,179	0,374	0,202	−0,403	0,179	0,273
Cd	0,113	−0,089	−0,300	−0,178	−0,275	1	0,386	0,039	0,490	−0,507	−0,016	0,293	−0,353	−0,446	0,284	−0,334	**0,550**	0,392
Pb	**0,726**	**0,535**	0,351	−0,046	0,365	0,386	1	0,266	**0,970**	0,013	**0,851**	**0,918**	0,467	0,054	**0,873**	**−0,856**	**0,874**	**0,903**
Cu	**0,688**	**0,702**	**0,799**	−0,357	−0,118	0,039	0,266	1	0,249	**−0,533**	**0,546**	0,445	0,463	−0,094	**0,545**	0,075	**0,560**	**0,600**
Ni	**0,691**	**0,515**	0,297	−0,114	0,279	0,490	**0,970**	0,249	1	−0,077	**0,810**	**0,898**	0,377	−0,112	**0,887**	**−0,842**	**0,866**	**0,885**
Zn	−0,181	−0,238	−0,242	0,118	**0,747**	−0,507	0,013	**−0,533**	−0,077	1	0,038	−0,091	0,057	0,432	−0,174	−0,203	−0,281	−0,211
Cr	**0,844**	**0,797**	**0,702**	−0,108	0,440	−0,016	**0,851**	**0,546**	**0,810**	0,038	1	**0,877**	**0,695**	0,156	**0,905**	**−0,660**	**0,768**	**0,886**
V	**0,784**	**0,640**	0,471	−0,186	0,296	0,293	**0,918**	0,445	**0,898**	−0,091	**0,877**	1	**0,549**	0,161	**0,916**	**−0,746**	**0,835**	**0,882**
Sn	**0,670**	**0,632**	**0,655**	−0,162	0,179	−0,353	0,467	0,463	0,377	0,057	**0,695**	**0,549**	1	0,315	**0,547**	−0,252	0,459	**0,553**
As	−0,058	0,040	−0,010	0,047	0,374	−0,446	0,054	−0,094	−0,112	0,432	0,156	0,161	0,315	1	0,001	−0,254	−0,098	−0,026
Mn	**0,778**	**0,664**	**0,532**	−0,235	0,202	0,284	**0,873**	**0,545**	**0,887**	−0,174	**0,905**	**0,916**	**0,547**	0,001	1	**−0,723**	**0,833**	**0,910**
TotPCB	−0,336	−0,190	0,037	0,010	−0,403	−0,334	**−0,856**	0,075	**−0,842**	−0,203	**−0,660**	**−0,746**	−0,252	−0,254	**−0,723**	1	**−0,628**	**−0,666**
TBT	**0,783**	**0,572**	0,428	−0,256	0,179	**0,550**	**0,874**	**0,560**	**0,866**	−0,281	**0,768**	**0,835**	0,459	−0,098	**0,833**	**−0,628**	1	**0,972**
DBT	**0,847**	**0,685**	**0,548**	−0,173	0,273	0,392	**0,903**	**0,600**	**0,885**	−0,211	**0,886**	**0,882**	**0,553**	−0,026	**0,910**	**−0,666**	**0,972**	1



Figur 7:81. Faktoranalys utförd på både metaller och organiska miljögifter i sediment, blåmussla och torsklever, utvisande grupperingen av kemiska ämnen och föreningar (se även figur 7:82).

Factor analysis for metals and organic micropolutants in sediment, blue mussel and cod liver, showing the grouping of chemical elements and sustances(see also, Figure 7:82).



Figur 7:82. Faktoranalys baserad på halter av tungmetaller och organiska miljögifter i sediment, blåmussla och torsklever, utvisande grupperingen av olika media i relation till metaller och organiska miljögifter (se också figur 7:81).

Rotated scoresr for metals and organic micropollutants in sediment, blue mussel and cod liver, showing the grouping of different media in relation to metals and organic pollutants (see also, Figure 7:81).

7.7 Bohuskustens variation i miljögiftsbelastning

I de föregående avsnitten har miljökemiska data och utvecklingstrenden för dessa presenterats per undersökt media, station, ämne och undersökningsår redovisats. Detta har gett svar på enskilda detaljer, om belastningen och utvecklingen i respektive media på varje enskild station. Sambandet mellan koncentrationen av ett ämne i ett medium har också testats mot motsvarande koncentration i en annan del av undersökningsmatrisen. Härigenom har information erhållits om organismerna och sedimenten genom upptag och deposition, i var media för sig, ger liknande svar på belastningen i miljön.

En annan fråga som inställer sig i miljöövervakningssammanhang är om en, med avseende på ett visst miljögift i ett medium, maxbelastad station också uppvisar en maxbelastning vad avser andra media och andra miljögifter. I ett försök att besvara denna fråga har följande sammanställning gjorts (tabell 7:70) utvisande på vilken av Bohuskustens fem, för olika media (sediment, blåstång, tånglake, blåmussla och torsklever), gemensamma miljökontrollstationer och i vilket media den högsta och näst högsta påvisade koncentrationen för respektive undersökt ämne föreligger år 2001. Endast de ämnen som analyserats i samtliga media ingår, totalt 22 ämnen och föreningar.

Av tabellen framgår att för sediment uppvisar Kungshamn den högsta och näst högsta registrerade halten för 14 ämnen, medan motsvarande siffra för torsklever är 11 i Danafjord respektive Brofjorden och för blåmussla 10 i Danafjord och Kungshamn. Flest ämnen med maxkoncentration i tånglake påträffas i Stenungsund och i blåstång i Brofjorden.

Resultaten visar, inte helt oväntat, att miljögiftsbelastningen, baserat på högsta funna halter i respektive media, varierar mellan stationerna och de olika delarna i den studerade matrisen. Sammantaget för alla medier i matrisen kan dock konstateras att 11 % av alla högsta och näst högsta halter återfinns i Kosterfjorden medan motsvarande siffra för övriga stationer varierar mellan 20 och 25 %, dvs. fördelningen dem emellan är relativt jämn. Slutsatsen från denna jämförelse är att Kungshamn och Danafjord, totalt sett, är något mer belastat av miljögifter än Stenungsund och Brofjorden, medan Kosterfjorden är minst belastat av de fem studerade stationerna.

Tabell 7:70. Matris utvisande antalet ämnen med högsta registrerade koncentration i respektive media på respektive station år 2000/2001.
Matrix showing the number of chemicals with the highest concentration registered in each media and station respectively in 2000/2001.

	Sediment	Blåstång	Tånglake	Blåmussla	Torsklever
Danafjord	5	2	8	10	**11**
Stenungsund	3	4	**10**	8	7
Brofjorden	8	**7**	5	3	**11**
Kungshamn	**14**	5	4	10	7
Kosterfjorden	3	2	3	**6**	3

7.8 Sammanfattning

Miljögiftsundersökningar utförda på biologiskt material; blåmussla (*Mytilus edulis*), blåstång (*Fucus vesiculosus*), tånglake (*Zoarces viviparus*) och torsk (*Gadus morhua*) samt på två stationer också på krabbtaska (*Cancer pagurus*), utmed Bohuskusten, från Strömstad i norr till Göteborgs södra skärgård i söder, har på uppdrag av Bohuskustens vattenvårdsförbund utvärderats gemensamt. Utvärderingen har skett med avseende på den rumsliga fördelningen av miljögifter i olika medier, förändringar över tiden (1992–2001), förekommande koncentrationssamband mellan olika undersökta medier (inklusive sedimentdata från avsnitt 2, denna volym) och med avseende på tillstånd enligt svenska bedömningsgrunder för kust och hav.

Underlagsmaterialet har hämtats från tidigare presenterade rapporter över biota (Olsson 1993 och 1998, Granmo & Ekelund 1993, Cato 2000, Alcontrol 2004).

Biologiska prover har insamlats med fem års intervall från fasta stationer som insamlats vid tre olika tillfällen. 1992/93, 1997/98 och 2001. Analyserna har utförts på blåstångens toppskott, blåmusslans mjukdelar, tånglakefilén, torskfilén, torsklevern och krabbtaskans smör.

Vilka ämnen och föreningar som analyserats i respektive biologiskt material under åren 1992–2001 framgår av tabellerna 7:3, 7:12, 7:21, 7:36 och 7:53 ovan. I det följande behandlas enbart de ämnen som också analyserades 2001.

Resultaten visar att ett stort antal ämnen är spridda utmed Bohuskusten, men att koncentrationen av olika ämnen varierar mellan olika medier och stationer. Detta gäller även maxkoncentrationerna. Vissa tendenser kan dock utläsas i det senare fallet. Betraktar man de högsta halterna i respektive media från det första undersökningstillfället (1992/93) så föll ca 53 % av uppmätta maxkoncentrationer i området utanför Göteborg. Motsvarande siffra för det andra undersökningstillfället (1997/98) var 35 % och för det senaste undersökningstillfället (2001) var siffran 23 %. Siffrorna visar på en före 1998 tydlig övervikt i miljögiftsbelastning för Göteborgsområdet. Denna övervikt har reducerats och år 2001 är den sammantagna belastningen för biota ungefär densamma i Göteborgsregionen, Stenungsundsområdet, Brofjorden och Kungshamn, alla studerade mediakategorier inräknat. I de tre förstnämnda fallen är detta inte helt överraskande eftersom dessa området är det mest urbaniserade och/eller industrialiserade områdena utmed Bohuskusten. Kosterfjorden är i detta avseende minst belastat av de fem studerade stationerna. Utvärderingen visar också att i inte mindre än 38 fall återfinns maxkoncentrationen i två eller flera medier samtidigt på samma station.

Sambandet mellan koncentrationen av respektive ämne i två olika medier har testats i drygt 500 bivariata kombinationer omfattande data från samtliga tre undersökningstillfällen 1992–2001 och för sediment 1990–2000. Provtagningsplatserna för de olika medierna har parats samman så att de skall representera en gemensam vattenmiljö motsvarande en station med likartade förhållanden. Detta med syfte att skapa en optimal jämförbarhet mellan de olika medierna. I vissa fall har medianvärdet från flera närliggande platser fått bilda en ”matchande station”. Detta är fallet för sedimentdata i Brofjorden och utanför Stenungsund (Galterön) äldre än 1994. Resultaten redovisas i kapitel 7.5. Av de 192 utvalda sambandstesterna har i en tredjedel (30 %) av fallen samband påvisats med mer än 95 % sannolikhet. Endast 19 (10 %) av dessa samband är negativa. Av de olika studerade medierna uppvisar blåstång följt av sediment och blåmussla flest positiva koncentrationssamband med övriga media.

Att signifikanta samband mellan medierna konstaterats råda i en stor del av det nuvarande materialet visar till yttermera att en belastad miljö återspeglas både i sediment och i biologiskt material. Det är uppenbart att antropogena spill av olika kemiska ämnen och substanser inte enbart deponeras i sedimenten utan att dessa också återfinns i näringskedjan samt att en relation däremellan är vanlig. Ett förhållande som på intet sätt är oväntat, men som sällan påvisats i svenska kustvatten. Resultaten visar också på nödvändigheten av att övervaka miljön i en matris bestående av flera media som i detta fall. Detta inte minst mot bakgrund av att i ca 70 % av fallen har inga signifikanta (>95 %) samband kunnat påvisas.

Faktoranalysen (avsnitt 7.6) visar att koncentrationen av metallerna är betydligt högre i sedimentet vid samtliga stationer jämfört med övriga studerade medier (blåstång, tånglake, blåmussla och torsk). Detta visar bl.a. på sedimentens betydelse som sänka för flera metaller, men också på möjliga risk som sekundär källa för dessa. Analysen visar också på en stark koppling mellan fisk (torsklever och tånglake) och metallerna arsenik (As), kvicksilver (Hg) och zink (Zn) samt mellan torsklever och metylnaftalener samt polycykliska aromatiska kolväten (PAH). Resultaten beror sannolikt på att torsklevern, i form av torskens ”reningsverk” ansamlar miljögifter. Kopplingen mellan tenn (Sn), tributyltenn (TBT) och PAH är mer osäker, men kan vara en effekt av att sjöfarten inte bara bidrar med spridning av påväxthämmande båtbottenfärger utan även med utsläpp av PAH genom förbränning av fossila bränslen (olja).

Betraktar man Bohuskustens miljökvalitet 2001 utifrån svenska bedömningsgrunder för kust och hav med avseende på förekomsten av metaller i biologiskt material och enligt motsvarande norska kriterier för de organiska miljögifterna (eftersom Sverige saknar sådana kriteria) kan följande konstateras.

Miljökvaliteten i blåstång 2001 är bra till relativt bra (klasserna 1-2) med avseende på arsenik (As), kadmium (Cd), nickel (Ni) och zink (Zn) på i allmänhet mer än 75 % av stationerna (Fig. 7:83). Förhållandena är sämst med avseende på bly (Pb) och krom (Cr) där beroende på ämne mellan 50 och 60 % av stationerna, alla belägna från Gullmaren och norrut, uppvisar en dålig miljökvalitet (klass 4). Detta gäller även Cd i yttre Gullmaren (Flatholmen). Hg låg under detektionsgränsen på samtliga stationer utom i Kosterfjorden, medan Sn och V påvisades på samtliga stationer. Den högsta tennhalten noterades i Brofjorden. Svenska bedömningsgrunder för Hg, Sn och V (vanadin) i blåstång saknas.

Vad gäller alla de kemiska föreningar som saknar bedömningsgrunder kan konstateras att tributyltenn (TBT) och polycykliska aromatiska kolväten (PAH) inte kunde detekteras i blåstång på någon av stationerna 2001, men att polybromerade difenyletrar (PBDE) kunde påvisas på samtliga stationer. De högsta halterna noterades i de mest urbaniserade/industrialiserade områdena. Enda undantag var dekaBDE som i yttre Gullmaren låg mer än fem gånger högre än i andra områden.

Även tånglaken uppvisar en bra till relativt bra miljökvalitet (klasserna 1–2) 2001 vad avser metaller (Fig. 7:84) om man bortser från As och Hg. Med avseende på As uppvisar 100 % av stationerna en mycket dålig miljökvalitet (klass 5), medan miljökvalitet vad avser Hg är mindre bra (klass 3) på en station (Brofjorden) och dålig till mycket dålig (klasserna 4–5) på övriga fyra stationer. Den högsta halten av Hg och Sn noterades i Danafjord. V detekterades i låga halter på samtliga stationer. Svenska bedömningsgrunder för Sn och V i tånglake saknas.

Av bicykliska och polycykliska aromatiska kolväten (PAH) kunde endast naften, 1-metylnaftalen, acenaften och fluoren påvisas i små mängder i tånglake. De högsta halterna återfanns i Kosterfjorden och Stenungsund. Polyklorerade bifenyler (PCB) och polybromerade difenyletrar (PBDE) däremot återfanns på samtliga stationer. De högsta halterna noterades i Stenungsundsområdet respektive Danafjord utanför Göteborg.

Med avseende på blåmussla och metaller (Sn undantaget) var miljökvaliteten 2001 bra till relativt bra (klasserna 1–2) på 78 % av stationerna (fig. 7:85). Endast på två stationer var kvaliteten dålig (klass 4) med avseende på Pb (Inre Gullmaren) och mycket dålig (klass 5) med avseende på Ni (Kungshamn). Miljökvaliteten med avseende på Sn däremot var dålig till mycket dålig (klasserna 4-5) på 88 % av stationerna. Endast i Danafjord var den relativt bra med avseende på Sn. As, Cr, V och Zn kunde påvisas på samtliga stationer utmed kusten. Svenska bedömningsgrunder för dessa element i blåmussla saknas.

PAH och PCB detekterades på alla stationer. Enligt norska kriterier var miljökvaliteten i blåmussla bra till acceptabel på alla stationer vad avser PAH, PCB och toxisitetsekvivalenten för dioxiner/furaner. Enda undantag utgör Kungsviken i Koljefjorden där miljökvaliteten var relativt dålig (klass 3) med avseende på PCB.

Blåstång Bvvf 2001 Ämne/förening	Klass 1 *Bakgrund* *Background*	Klass 2 *Låg halt* *Low cont.*	Klass 3 *Medelhög halt* *Medium cont.*	Klass 4 *Hög halt* *High cont.*	Klass 5 *Mycket hög halt* *Very high cont.*
Arsenik (As)	4	3	1		
Bly (Pb)	1	1	1	5	
Kadmium (Cd)	6		1	1	
Koppar (Cu)	4	1	3		
Krom (Cr)		1	3	4	
Kvicksilver (Hg)					
Nickel (Ni)	8				
Zink (Zn)	2	6			

Fig. 7:83. Blåstångens (*Fucus vesiculosus*) miljökvalitet utmed Bohuskusten 2001 med avseende på metallinnehåll. Klassning enligt svenska bedömningsgrunder (Naturvårdsverket 1999). Siffrorna visar antalet stationer inom varje klass.

The environmental quality of the bladder wrack (Fucus vesiculosus) along the Bohus Coast with respect to the content of metals in 2001. Classification according to Swedish Environmental Quality Criteria (Naturvårdsverket 1999). The figures refer to the number of stations within each class.

Tånglake Bvvf 2001 Ämne/förening	Klass 1 *Bakgrund* *Background*	Klass 2 *Låg halt* *Low cont.*	Klass 3 *Medelhög halt* *Medium cont.*	Klass 4 *Hög halt* *High cont.*	Klass 5 *Mycket hög halt* *Very high cont.*
Arsenik (As)					5
Bly (Pb)	5				
Kadmium (Cd)	5				
Koppar (Cu)	3	2			
Krom (Cr)					
Kvicksilver (Hg)			1	3	1
Nickel (Ni)	5				
Zink (Zn)					

Fig. 7:84. Tånglakens (*Zoarces viviparus*) miljökvalitet utmed Bohuskusten 2001 med avseende på metallinnehåll. Klassning enligt svenska bedömningsgrunder (Naturvårdsverket 1999). Siffrorna visar antalet stationer inom varje klass.

The environmental quality of the eel-pout (Zoarces viviparus) along the Bohus Coast with respect to the content of metals in 2001. Classification according to Swedish Environmental Quality Criteria (Naturvårdsverket 1999). The figures refer to the number of stations within each class.

Toxafen påvisades på alla stationer (ej analyserat i Stenungsund och Kosterfjorden) och lindan på de två stationer (Danafjord och Stenungsund) som undersöktes 2001. Även hexaklorbensen (HCB) påvisades på de tre stationer som undersöktes (Danafjord, Stenungsund och Kungshamn). Den högsta toxafenhalten noterades i inre Gullmaren och de högsta halterna av lindan och HCB vid Stenungsund. Polybromerade difenyletrar (PBDE) detekterades på samtliga åtta stationer. Med undantag för dekaBDE var halterna högst i Kungshamn. Svenska bedömningsgrunder för dessa föreningar saknas.

Inga metaller undersöktes i torskfilé, men väl i levern. Samtliga elva metaller kunde påvisas på samtliga stationer med undantag för Cd i Stenungsund och Brofjorden. De högsta halterna av As, Pb, V och Zn noterades i Brofjorden, medan Cr, Hg och Ni var högst vid Stenungsund och Sn mycket högt i Kungshamn. Tributyltenn (TBT) kunde endast detekteras på den senare platsen.

Svenska bedömningsgrunder för miljökvaliteten i torskfilé och lever saknas, men enligt motsvarande norska bedömningsgrunder kan konstateras, att miljökvaliteten med avseende på både PCB och den nordiska toxisitetsekvivalenten (TE-nordisk) 2001, var bra till acceptabel (klasserna 1–2) (Fig. 7:86). Filén undersöktes enbart med avseende på PCB på två stationer (Danafjord och Kosterfjorden).

Blåmussla Bvvf 2001 Ämne/förening	**Klass 1** ***Bakgrund*** *Background*	**Klass 2** ***Låg halt*** *Low cont.*	**Klass 3** ***Medelhög halt*** *Medium cont.*	**Klass 4** ***Hög halt*** *High cont.*	**Klass 5** ***Mycket hög halt*** *Very high cont.*
Bly (Pb)	3	4		1	
Kadmium (Cd)	6	2			
Koppar (Cu)	8				
Kvicksilver (Hg)	8				
Nickel (Ni)	3	4			1
Tenn (Sn)		1		1	6
*Sum 11 PAH **	*8*				
*Sum 7 PCB **	*5*	*2*	*1*		
*HCB **		*3*			
*TE nordisk **	*7*	*1*			
** enligt SFT*					

Fig. 7:85. Blåmusslans (*Mytilus edulis*) miljökvalitet utmed Bohuskusten 2001 med avseende på metallinnehåll och organiska miljögifter. Klassning enligt svenska och norska bedömningsgrunder (Naturvårdsverket 1999, SFT 1993). Siffrorna visar antalet stationer inom varje klass.

The environmental quality of the blue mussel (Mytilus edulis) along the Bohus Coast with respect to the content of metals and organic micropollutants in 2001. Classification according to Swedish and Norwegian Environmental Quality Criteria (Naturvårdsverket 1999, SFT 1993). The figures refer to the number of stations within each class.

Torskfilé Bvvf 2001 Ämne/förening	**Klass 1** ***Bakgrund*** *Background*	**Klass 2** ***Låg halt*** *Low cont.*	**Klass 3** ***Medelhög halt*** *Medium cont.*	**Klass 4** ***Hög halt*** *High cont.*	**Klass 5** ***Mycket hög halt*** *Very high cont.*
*Sum 7 PCB **		*2*			
*TE nordisk **	*2*				
** enligt SFT*					

Torsklever Bvvf 2001 Ämne/förening	**Klass 1** ***Bakgrund*** *Background*	**Klass 2** ***Låg halt*** *Low cont.*	**Klass 3** ***Medelhög halt*** *Medium cont.*	**Klass 4** ***Hög halt*** *High cont.*	**Klass 5** ***Mycket hög halt*** *Very high cont.*
*Sum 7 PCB **	*4*	*1*			
*TE nordisk **	*5*				
** enligt SFT*					

Fig. 7:86. Torskens (*Gadus morhua*) miljökvalitet utmed Bohuskusten 2001 med avseende på PCB och toxisitetsekvivalenten för dioxiner/furaner i filé (överst) och lever (underst). Klassning enligt norska bedömningsgrunder (SFT 1993). Siffrorna visar antalet stationer inom varje klass.

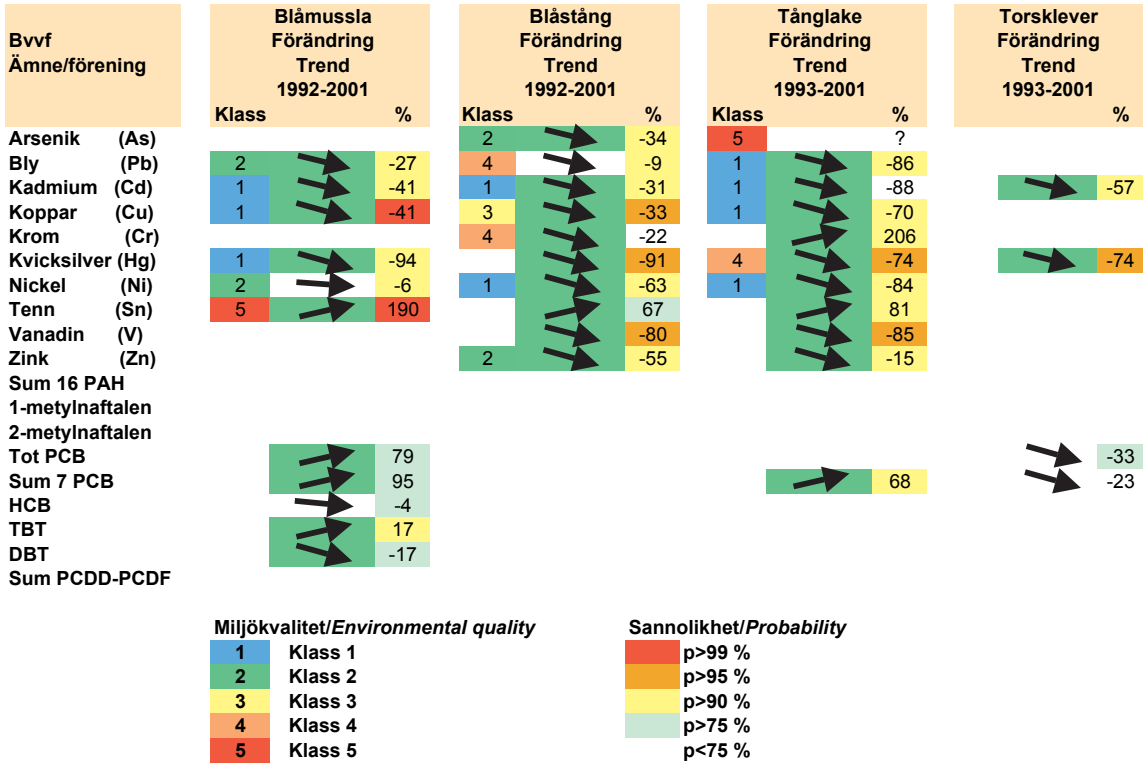
The environmental quality of the cod (Gadus morhua) along the Bohus Coast with respect to the content of PCB and toxicity equivalent of dioxins/furanes in 2001. Classification according to Norwegian Environmental Quality Criteria (SFT 1993). The figures refer to the number of stations within each class.

Av bicykliska och polycykliska aromatiska kolväten (PAH) detekterades naftalen i torsklever på samtliga stationer utom i Brofjorden. Högsta halten noterades i Kungshamn. 1-metylnaftalen påvisades i låg halt i Brofjorden.

Polybromerade difenyletrar (PBDE) detekterades på samtliga stationer. Flest kongener, sju av åtta, och med högst halt påträffades i torsklever från Danafjord. Även toxafen detekterades på samtliga stationer. De högsta halterna påträffades i Danafjord, Kungshamn och Kosterfjorden. På dessa platser låg halterna ca tio gånger högre än övriga stationer. På de två stationer (Danafjord och Kosterfjorden) där toxafen också undersöktes i filén påträffades föreningen i låga till relativt låga halter.

Krabbtaska undersöktes på två stationer (Danafjord och Kosterfjorden) med avseende på PCB, toxafen och dioxiner/furaner 2001. Resultaten visar att koncentrationen av PCB var ca 65 gånger högre i krabbtaska från Kosterfjorden jämfört med Danafjord. Även koncentrationen av dioxiner/furaner var högre i Kosterfjorden jämfört med Danafjord, medan förhållandet var det omvända för toxisitetsekvivalenten (TE-nordisk). Toxafen kunde endast detekteras i krabbtaska från Kosterfjorden.

Den sammantagna utvecklingstrenden utmed hela Bohuskusten med avseende på medelvärdeskoncentrationen av metaller och organiska miljögifter i undersökt biota mellan 1992/93 och 2001 illustreras i figur 7:87. Pilarna visar om medelkoncentrationen för respektive ämne ökat, minskat eller är oförändrad. I syfte att erhålla en mer allmängiltig bild av koncentrationsförändringen i respektive biologiskt media har respektive medelvärde över stationernas data testats statistiskt med hjälp av s.k. t-test med (n–1) frihetsgrader för matchade datapar. Härigenom har den statistiska sannolikheten (p) för respektive medelvärdesförändring kunnat fastläggas. I vissa fall saknas data från 1992/93 alternativt var detektionsgränserna för höga 2001 för att en trend skall kunna bedömas. Motsvarande trender mellan de olika undersökningsomgångarna 1992/93, 1997/98 och 2001 redovisas i avsnitten 7.4.1–7.4.4.



Tabell 7:87. Sammanställning över förändringen av medelvärdeskoncentrationen för några ämnen och föreningar i blåmussla, blåstång, tånglake och torsklever utmed Bohuskustens mellan 1992/93 och 2001. Nedåtriktad pil betyder minskad halt och uppåtriktad pil ökad halt. Grönmarkerade fält markerar förändringar som är större än de minst 10 % som baserat på reproducerbarheten vid den kemiska analysen krävs för att en förändring med säkerhet skall kunna bedömas.

Compilation of the changes of the average concentrations of some elements and compounds between 1992/93 and 2001 in blue mussel, bladder wrack, eel-pout and cod liver from the Bohus Coast. Arrow pointed downwards implies decreasing concentration and arrow pointed upwards implies increasing concentration. Green areas mark changes bigger than the minimum of 10 % due to the precision of chemical analyses.

Till övervägande del är trenderna samstämmiga mellan de olika medierna i den studerade biologiska matrisen och i allmänhet visar dessa, med mer än 90 % sannolikhet, på sjunkande medelvärden för metaller mellan 1992/93 och 2001. Enda undantag utgör tenn (Sn) som ökat under perioden, vilket också tributyltenn (TBT) och PCB gjort i blåmussla samt i det senare fallet även i tånglake. I torsklever däremot har PCB-halterna minskat.

Resultaten av trendanalysen står i god samklang med ovan presenterade miljökvalitetsförändringar baserade på förskjutningarna av stationer mellan tillståndsklasserna mellan de tre undersökningsomgångarna. Sammantaget kan konstateras att förhållandena med avseende på miljögifter i biologiskt material, med några undantag, förbättrats utmed Bohuskusten under 1990-talet.

7.9 Summary

Investigations of environmentally harmful substances carried out on biota have been evaluated from areas along the Bohus Coast from Strömstad in the north to the Gothenburg archipelago in the south on behalf of the Bohus Coast Water Conservation Association. The biota investigated were blue mussel (*Mytilus edulis*), bladder wrack (*Fucus vesiculosus*), eel-pout (*Zoarces viviparus*) and cod (*Gadus morhua*); at two stations crab (*Cancer pagurus*) were also sampled. The evaluations were conducted to record dispersion of chemicals, changes over time (1992–2001), existing concentration relationships between various investigated media and environmental quality according to the Swedish criteria for coast and sea.

The basic data were taken from previous published reports of biota (Olsson 1993 and 1998, Granmo & Ekelund 1993, Cato 2000, Alcontrol 2004).

Biological samples were collected five years apart at static sites. Biota was collected in 1992/93, 1997/1998 and 2001. The analyses were carried out on the leading shoots of the bladder wrack, the soft tissues of the blue mussel, the fillets of the eel-pout and the cod, the liver of the cod, and the butter of the crab.

The types of elements and substances analysed in the biological media in 1992–2001 are shown above in Tables 7:3, 7:12, 7:21, 7:36 and 7:53. In the following, only those elements and substances also analysed in 2001, are discussed.

The results show that a number of elements and compounds are dispersed along the Swedish Bohus Coast, but that the concentrations of the different elements and compounds vary between different media and sites. This conclusion is also valid for the maximum concentrations, but as the following shows some trends can be found. About 53% of measured maximum concentrations in the respective media in the first investigation (1992/93) fell in the area outside Gothenburg. The corresponding figure for the second investigation phase (1997/98) was 35% and for the last investigation phase the figure was 23%. The figures before 1998 evidently showed an excess of harmful substances in the Gothenburg region for all studied media categories. Since then the excess has been reduced and in 2001 the strain taken together is about the same in the Gothenburg region, the Stenungsund area, the Brofjorden and the Kungshamn for all studied media categories. In the first three areas this is not a complete surprise, since these regions are the most urbanised and/or industrialised areas along the Bohus Coast. The Kosterfjorden area is in this respect least strained. The evaluation also shows that in not less than 38 cases, the maximum concentration was found in two or more media at the same time at the same site.

The relationship between the concentration of the compounds in two different media was tested in more than 500 bivariate combinations embracing all three investigation phase 1992–2001 and for sediment 1990-2001. The sampling sites of the different media were grouped together so that they represented the same water body, corresponding to only one site with similar conditions so as to create an optimal comparison between the different media. In some cases the median value of several adjacent sites was used as a "matching site". This was the case for sediment data of the Brofjorden and of the Stenungsund (Galterön Island) older than 1994. The results are shown in chapter 7.5. Among the 192 selected tests, relationships with a significance higher than 95% were found in one third (30%) of the cases. Only 19 (10%) of these relationships were negative. Of all studied media, the concentrations in bladder wrack followed by sediment and blue mussels showed the most positive relationships with the other media.

The factoranalyses (chapter 7.6) shows that the concentrations of metals is evidently higher in sediments at all stations compared with the other media studied (bladder wrack, eel-pout, blue mussel and cod). Among

others, this indicate the importance of sediment as a sink for several metals, but also to a possible risk as a secondary source of the metals. The analyses also show a strong relationship between fish (cod liver and eel-pout) and the metals arsenic (As), mercury (Hg), and zink (Zn), and between cod liver and methylnaphtalenes and polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH) respectively. The results are probably due to the fact that the cod liver, in the form of the "treatment plant" of the cod, accumulates toxic substances. The relationship between tin (Sn), tributhyltin (TBT) and polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH) is more unsure, but may be an effect of the contribution from the shipping that not only disperse antifouling ship-paints but also by the emission of PAH from burning of fossil fuels (oil).

The environmental quality of the Bohus Coast in terms of Swedish environmental criteria with respect to the appearance of metals in biota and the Norwegian criteria with respect to organic micropollutants (as Sweden lacks such criteria) reveal the following.

The environmental quality in bladder wrack in 2001 is good to fairly good (classes 1–2) regarding As, Cd, Ni och Zn at in general more than 75% of all sites (7:83). The conditions are worst regarding Pb and Cr where, depending on the element, between 50 and 60% of the sites, all situated between Gullmaren and northward, show a bad environmental quality (class 4). This is also valid for Cd in the outer Gullmaren (Flatholmen). Hg was below the the detection limit at all sites except in the Kosterfjorden, while Sn and V (vanadium) were found at all sites. The most elevated concentration of tin was found in the Brofjorden. There are no Swedish environmental criteria of Hg, Sn and V in bladder wrack.

Regarding all those chemical compounds which lack environmental quality criteria it can be stated that tributhyltin (TBT) and polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH) not were detected in bladder wrack at the sites in 2001. On the other hand, polybrominated diphenylethers (PBDE) were found at all sites. The highest concentration appeared in the most urbanised/industrialised areas. The only exception was dekaBDE which in the outer Gullmaren was more than five times higher than in other areas.

Also eel-pout shows a good to fairly good environmental quality (classes 1-2) in 2001 with respect to metals (Fig 7:84) with the exception of As and Hg. Regarding As 100% of the sites show a very bad environmental quality (class 5), while the quality with respect to Hg is less good at one site (Brofjorden) and bad to very bad (classes 4–5) at the other five sites. The highest concentration of Hg and Sn were found in Danafjord. V was detected in low concentrations at all sites. There are no Swedish environmental criteria of Sn and V in eel-pout.

Out of the bicyclic and polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH) only naphtalene, 1-methylnaphtalene, acenaphtene and fluorine were found in low concentrations in eel-pout. The highest concentrations were observed in Kosterfjorden and the Stenungsund area. Polychloronated biphenyls (PCB) and polybrominated diphenylethers (PBDE) were found in all sites. The highest concentrations appeared in the Stenungsund area and the Danafjord outside Gothenburg.

Regarding blue mussel and metals (with exception of Sn) the environmental quality in 2001 was good to fairly good (classes 1–2) at 78% of the sites (Fig. 7:85). Only at two sites the quality was bad (class 4) with respect to Pb (Inner Gullmaren) and very bad (class 5) with respect to Ni (Kungshamn). The environmental quality regarding Sn was bad to very bad (classes 4–5) at 88% of all sites. Only in Danafjord the quality was fairly good with respect to tin. As, Cr (chromium),V and Zn were found at all sites along the coast. There are no Swedish environmental criteria for these elements in blue mussel.

PAH and PCB were detected at all sites. According to Norwegian criteria the environmental quality in blue mussel is fairly good at all sites with respect to PAH, PCB and the toxicity equivalent of dioxins/furans. The only exception is Kungsviken in the Koljefjord where the quality was relatively bad (class 3).

Toxaphene was found at all sites (not analysed in Stenungsund and the Kosterfjorden) and lindane at those two sites (Danafjord and Stenungsund) investigated in 2001. Also hexachlorobenzene (HCB) were detected at the three sites investigated (Danafjord, Stenungsund and Kungshamn). The highest concentration of toxaphene was observed in Gullmaren and the highest concentrations of lindane and HCB in the Stenungsund area. Polybrominated diphenylethers (PBDE) were detected at all eight sites. With exception of dekaBDE the concentrations were most elevated in Kungshamn. There are no Swedish environmental criteria for these compounds in blue mussel.

No metals were analysed in cod file, but in the liver. All eleven metals were found at all sites with exception of Cd in Stenungsund and in the Brofjorden. The highest concentrations of As, Pb, V and Zn were observed

in the Brofjorden, while Cr, Hg and Ni concentrations were highest in the Stenungsund area and Sn very high in Kungshamn. Tributhyltin (TBT) was not detected at the latter site.

There are no Swedish environmental criteria for cod file and liver, but according to the Norwegian criteria, it may be stated that the environmental quality with respect to both PCB and the toxicity equivalent (TE-Nordic) in 2001 were good to fairly good (classes 1–2) (Fig. 7:86). The file was only analysed at two sites (Danafjord and Kosterfjorden).

Out of the bicyclic and polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH) only naphtalene in cod liver was detected at all sites except in the Brofjorden. The highest concentration was found in Kungshamn- 1-methylnaphtalene was detected in low concentrations in Brofjorden.

Polybrominated diphenylethers (PBDE) were detected at all sites. Most congenes, seven out of eight, and with the highest concentrations were found in cod liver from Danafjord. Also toxaphene was detected at all sites. The highest concentrations were found in Danafjord, Kungshamn and in the Kosterfjorden. At those places the concentrations were about ten times higher compared to other sites. At the two sites (Danafjord and Kosterfjorden) where toxaphene also was analysed in cod file the chemical was found.

The concentrations of PCB, toxaphene and dioxins/furanes were investigated in crab at two sites (Danafjord and Kosterfjorden) in 2001. The results show that the concentration of PCB was about 65 times higher in crabs from Kosterfjorden compared to Danafjord. Also the concentrations of dioxins/furans were higher in the Kosterfjord compared to Danafjord, while the opposite condition was valid for the toxicity equivalent (TE-Nordic). Toxaphene was only detected in crab from the Kosterfjord.

The summarized trend of the average changes of the concentrations of metals and organic micropollutants in biota along the Bohus coast between 1992/93 and 2001 is illustrated in Figure 7:87. The arrows show whether the average concentration of each element or compound increased, decreased or is unchanged. For the purpose to clarify a more generalized view of the concentration changes in respective media each average value of the site data has been statistically tested using a t-test with (n–1) degrees of freedom for matched pairs. By this method the statistical probability (p) of each average change was established. In some cases data are lacking from 1992/93 alternative the detection limits used in 2001 were too high to make an evaluation of the trend possible. Corresponding trends between the different investigations 1992/93, 1997/98 and 2001 are given in chapters 7.4.1–7.4.4.

Mainly the trends are concordant between different media in the biological matrix studied, and with more than 90% probabilities they generally show decreasing average metal concentrations between 1992/93 and 2001. The only exceptions are tin (Sn) which increased during the period, as was the case of tributhyltin (TBT) and PCB in blue mussel and in the latter case also in eel-pout. In cod liver the average PCB concentrations have decreased.

The results of the trend analyses show good agreement with the above-mentioned changes in environmental quality based on the displacement of sites between classes of quality between the three investigation phases. In summary, the conditions regarding environmentally harmful substances in biota, with a few exceptions, improved along the Bohus Coast during the 1990s.

7.10 Referenser

Alcontrol, 2004: Bohuskustens vattenvårdsförbund 2001-2002. Resultat från undersökningar av sediment och biologiskt material. Rapport Alcontrol Laboratories 2004, 361 s.

Cato, I., 1997: Sedimentundersökningar längs Bohuskusten 1995 samt nuvarande trender i kustsedimentens miljökvalitet – en rapport från fem kontrollprogram. *Sveriges geologiska undersökning Rapporter & meddelanden 95*, 365 s.

Cato, I., 2000: Miljögifter och miljökvalitet längs Bohuskusten 1990–1998 – förändringar, belastning och samband. *Sveriges geologiska undersökning Rapporter & meddelanden 103*, 135 s.

Danielsson, Å., Cato, I. Carman, L. & Rahm, L., 1999: Spatial clustering of metals in the sediments of the Skagerrak/Kattegat. *Applied Geochemistry 14*, 689–706.

De Voogt, P. & Brinkman, U.A.T., 1989: Production, properties and usage of polychlorinated biphenyls. *I* R. Kimbrough & S. Jensen (red.): *Halogenated biphenyls, terphenyls, naphtalenes, dibenzodioxines and related products.* Elsivire Sci. Publ. B.V.

Fowler, J. & Cohen, L., 1996: *Practical statistics for field biology*. John Wiley & Sons. New York. 227 s.
Fält, L.-M., 1982: Late Quaternary sea-floor deposits off the Swedish West Coast. CTH och Göteborgs universitet. *Geol. Inst. Publ. A37*, 259 s.
Granmo, Å. & Ekelund, R., 1993: Undersökning av miljögifter längs Bohuskusten 1993. Göteborgs universitets marina forskningsstation Kristineberg. *Rapport Göteborgs och Bohusläns vattenvårdsförbund*, 63 s.
Gunnarsson, J.S. & Sköld, M., 1999: Accumulation of polychlorinated biphenyls by the infaunal brittle stars *Amphiura filiformis* and *A. Chiajei*: effects of eutrophication and selective feeding. *Mar. Ecol. Prog. Ser. 186*, 173–185.
HydroGIS, 2001: *Lokalbeskrivningar för insamling av blasting, blåmusslor, krabba och fisk utmed <bohuskusten. I* Alcontrol 2004: Bohuskustens vattenvårdsförbund 2001–2002. Resultat från undersökningar av sediment och biologiskt material. Rapport Alcontrol Laboratories 2004, 220–236.
Naes, K., Hylland, K., Oug, E., Förlin, L. & Ericsson, G., 1999: Accumulation and effects of aluminium smelter-generated polycyclic aromatic hydrocarbons on soft-bottom invertebrates and fish. *Environmental Toxicology and Chemistry 18*, 2205–2216.
Naturvårdsverket 1999: Bedömningsgrunder för miljökvalitet: Kust och hav. *Naturvårdsverket Rapport 4914*, 134 s.
Nordberg, K., Gustafsson, M. & Krantz, A.-L., 2000: Decreasing oxygen concentrations in the Gullmar Fjord, Sweden, as confirmed by benthic foraminifera, and the possible association with NAO. *Journal of Marine Systems 23*, 303–316.
Olsson, L., 1993: Miljögifter i musslor. Kustvattenprojektet 1990-1992. Sammanställning av analysresultat. AnalyCen Nordic AB. *Rapport Bohuskustens vattenvårdförbund*, Uddevalla, 13 sid.
Olsson, L., 1998: Miljögiftsundersökning 1997–1998. AnalyCen Nordic AB. *Rapport Bohuskustens vattenvårdförbund*, Uddevalla, 51 s.
Oug, E., Naes, K., & Rygg, B., 1998: Relationship between soft bottom macrofauna and PAH from smelter discharge in Norwegian fjords and coastal waters. *Mar. Ecol. Prog. Ser. 173*, 39–52.
Rohde, J., 1996: On the dynamics of the large-scale circulation of the Skagerrak. *Jounal of Sea Research 35*, 9–21.
Rosenberg, R., Cato, I., Förlin, L., Grip, K. &, Rohde, J., 1991: Marine environment quality assessment of the Skagerrak - Kattegat. *Journal of Sea Research 35*, 1–8.
Rygg, B. & Thélin, I., 1993: Klassificering av miljøkvalitet i fjordar og kystfarvann. Kortversion. *SFT-veiledning nr 93:02*, 20 s.
SFT 1993: *Klassifissering av miljøkvalitet I fjordar og kystfarvann. Kortversjon.* Statens forureningstilsyn. 20 s.
Svansson, A., 1975: Physical and chemical oceanography of the Skagerrak and the Kattegat. I. Open Sea Conditions. Fish. Bd. *Swedish Inst. Mar. Res., Report No. 1*, 88 s.

Del 8

Föroreningar och miljökvalitet hos blåmussla i Göteborgs skärgård 2001 samt förändringar under de senaste 10 åren

Contaminants and environmental quality in blue mussel in the Göteborg archipelago in 2001, and changes during the last 10 years

Innehållsförteckning

Abstract 477
8.1. Inledning 477
8.2 Undersökningsområde 477
8.3 Metoder 478
8.4 Analyser 479
8.5 Resultat 479
8.5.1 Tungmetaller samt förändringar efter 1990 479
8.5.2 Polyklorerade bifenyler (PCB) samt förändringar efter 1996 482
8.5.3 Diklordifenyltrikloretan (DDT) samt förändringar efter 1996 485
8.6 Sammanfattning 486
8.7 Summary 488
8.8 Referenser 489

Abstract

Blue mussels (*Mytilus edulis*) collected from six sites in the Göteborg archipelago, south-western Sweden, were analysed for heavy metals (As, Cd, Cr, Cu, Hg, Mn, Ni, Pb, Sn, V, Zn), polychlorinated biphenyls (PCB) and dichlorodiphenyltrichloroethane (DDT) and its metabolites (DDD and DDE). The main purposes were: 1) to describe the present status (Environmental Quality) of the sampling sites, 2) to identify the changes that have taken place between 1996 and 2001, and 3) to try to clarify whether any unknown or unwanted loads of contaminants exist in the archipelago. The results show that the mussels were strongly to very strongly contaminated with respect to Pb and Sn, and low or not contaminated with respect to Cd, Cu, Hg, Ni, PCB and DDTs. The trend of the changes in quality between 1996/97 and 2001 demonstrated a moderate to strongly significant increase of Pb, Sn and PCB, and decrease of Cd and Hg (since 1990), Cu and the metabolites p,p-DDD and p,p-DDE.

8.1 Inledning

Föreliggande undersökning av blåmusslor i Göteborgs skärgård utgör ett särskilt miljögiftsprogram inom ramen för Bohuskustens vattenvårdsförbunds (Bvvf) kustvattenkontroll. Programmet som startades av Göteborgs kommun 1989/90 (från början ett samprojekt mellan Delegationen för miljöprojekt i Göteborg och Miljö- och hälsoskyddsförvaltningen, Göteborgs kommun, 1989) omfattade ursprungligen tio stationer. Med tiden har antalet stationer ändrats och reducerats till sex fasta stationer, samtidigt som programmets huvudmannaskap övertagits av Bohuskustens vattenvårdsförbund. Undersökningarna omfattar analys av blåmusslans mjukdelar med avseende på vissa tungmetaller och organiska miljögifter.

Blåmussla, *Mytilus edulis* (Ursing 1972)

2001 års undersökning har samordnats och upphandlats av Bohuskustens vattenvårdsförbund. För provtagning har HydroGIS (2001) i Kungälv svarat (HydroGis 2001), analys och rapportering av analysdata har utförts av Alcontrol AB i Nyköping (Alcontrol 2004). Sveriges geologiska undersökning svarar för sammanställning och utvärdering av resultaten.

De föregående undersökningarna genomfördes 1990, 1996 och 1997 av AnalyCen Nordic AB. Resultaten av den först nämnda undersökningen finns redovisad av Åke Granmo och Rolf Ekelund, Göteborgs universitets marina forskningsstation vid Kristineberg (Granmo & Ekelund 1993) medan AnalyCen Nordic AB svarade för redovisningen av de tre andra undersökningarna (Olsson 1993, 1998). Data från 1997 års undersökningar ingår även i en samlad utvärdering av Bohuskustens miljögiftsstatus (Cato 2000).

8.2 Undersökningsområde

Undersökningsområdet omfattar Göta älvs mynningsområde i Göteborgs skärgård (fig. 8:1) innefattande Hakefjord och Danafjord i norr till Valö i Askimsfjordens i sydvästra del, dvs. i princip Göta älvs påverkansområde utmed kusten (fig 8:2). Skärgårdens ytvatten påverkas också av den s.k. Baltiska strömmen, som utgörs av ett bräckt vatten som kommer från Östersjön via Öresund och Bälten och som i Kattegatt blandas upp med underliggande saltare vatten (Svansson 1975). Den Baltiska strömmen följer den svenska västkusten norrut förbi Göteborgs skärgård och vidare upp i Skagerrak.

Göteborgs skärgård karakteriseras av en oregelbunden, mestadels småkuperad bergrundsmorfologi. Öar och skär utgörs uteslutande av blottad berggrund dominerad av ådergnejs vilken genombryts av diabasgångar. Sunden och havsområdena täcks vanligen av mer eller mindre mäktiga avlagringar avsatta efter landisens avsmältning från området för drygt 12 000 år sedan (Cato 1986, SGU 2000).

De sediment som avsätts i våra dagar inom området utgörs mestadels av erosionsprodukter transporterade till kusten av de utströmmande vattendragen samt av omlagringsprodukter inom kustområdet vilka omlagras genom vågor och strömmar. Via Göta älv transporteras ca 130 000 ton oorganiskt material till området per år (Sundborg & Norrman 1963).

8.3 Metoder

Vid 2001 års undersökningar insamlades i likhet med tidigare år blåmusslor med hjälp av dykare. Insamlingarna utfördes av HydroGIS AB under perioden 2001-09-26 till 2001-10-18 (HydroGIS 2001). Insamlingsmetoderna har i möjligaste mån följt de rekommendationer som angetts i OSPAR. Detta innebär att minst 50 musslor med skallängden 40–60 mm insamlats på respektive station. Ett samlingsprov av mjukdelarna från varje station har sedan analyserats av Alcontrol. Analysmetoderna finns beskrivna av Alcontrol (Alcontrol 2004). Stationernas läge bestämdes med hjälp av GPS (Global Positioning System). Dessa uppgifter redovisas i tabell 8:1.

Station G10 innehöll mycket döda musslor (HydroGIS 2001).

Tabell 8:1. Provtagningsstationer vid 2001 års undersökning av blåmussla (*Mytilus edulis*) i Göteborgs skärgård. DGPS-positioner i WGS 84 (HydroGIS 2001).

Sampling sites of the investigation of blue mussel (Mytilus edulis) in 2000. DGPS-positions are given in WGS 84 (HydroGIS 2001).

Station	Namn	År	Latitud N	Longitud E	Vattendjup (m)	Bottentyp
G 2	Galterö	2001	57°39,905'	11°44,474'	0,5–1	Sand
G 3	Ränneskär	2001	57°40,877'	11°44,077'	0,7	Berg
G 4	Skeppstadsholmen	2001	57°41,628'	11°46,957'	0,5–1	Berg
G 6	Kopparholmen	2001	57°40,127'	11°49,440'	0,3–2	Berg
G 9	Kungsö	2001	57°33,722'	11°46,446'	0,5–1	Berg
G 10	L. Rösö	2001	57°38,024'	11°51,983'	1–1,5	Sand/grus

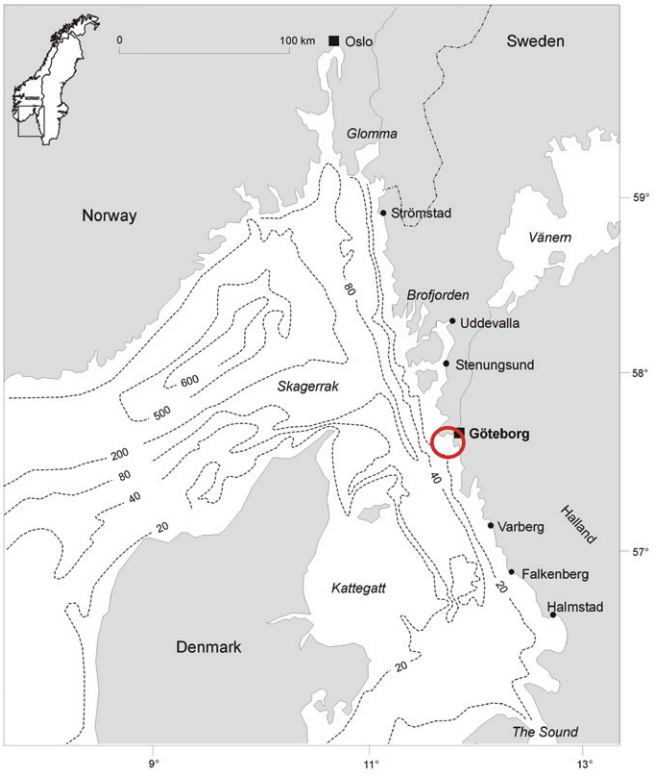


Fig. 8:1. Översiktskarta över Skagerrak och Kattegatt med undersökningsområdet markerat.

Outline map of the Skagerrak and Kattegat showing the location of the investigated area.

8.4 Analyser

Analysresultaten av blåmussla från 2001 redovisas tillsammans med 1990, 1996 och 1997 års undersökningar i tabellerna 8:3–8:9. Vilka ämnen som analyserats respektive år redovisas översiktligt i tabell 8:2. Av tabellen framgår det att hexaklorbensen (HCB) inte undersöktes 1990 och 2001.

Tabell 8:2. Analyserade miljögifter i blåmussla från Bohuskusten 1990, 1996, 1997 och 2001. * markerar vad som analyserats respektive år.
Toxic elements and substances analysed in blue mussel from the Bohus Coast in 1990, 1996, 1997 and 2001.

Ämnesgrupper undersökt i Blåmussla 1990 och 2001	Specifikation	1990	1996	1997	2001
Metaller	Al, As, Cd, Cr, Cu, Hg, Mn, Ni, Pb, Sn, V, Zn,	*	*	*	*
Polyklorerade bifenyler	Dutch 7 PCB, tot PCB		*	*	*
Hexaklorbensen	HCB		*	*	
Diklordifenyltrikloretan	p,p-DDT, p,p-DDE. p,p-DDD, o,p-DDT		*	*	*

8.5 Resultat

8.5.1 TUNGMETALLER SAMT FÖRÄNDRINGAR EFTER 1990

Analysresultaten från 2001 års undersökningar av blåmussla redovisas för varje station tillsammans med motsvarande data från 1990, 1996 och 1997 i tabell 8:3. I tabell 8:4 redovisas medelvärden, medianvärden, standardavvikelse och spridning för respektive metall och år.

1990 undersöktes endast Cd och Hg på två (G2 och G4) respektive en station (G4). Båda metallerna kunde detekteras. Vid samtliga tre undersökningstillfällen 1996–2001 har metallerna kadmium (Cd), kvicksilver (Hg), bly (Pb) och tenn (Sn) analyserats, medan arsenik (As), krom (Cr), mangan (Mn), nickel (Ni), vanadin (V) och zink (Zn) undersöktes för första gången 2001.

Fig. 8:2. Karta över Göteborgs skärgård utvisande läget för de stationer där blåmussla undersöks.

Map of the Göteborg archipelago showing the position of the sites where blue mussel is monitored.

Vid det andra undersökningstillfället (1996) kunde Hg bara detekteras på en station (G10) medan Sn inte kunde detekteras på någon station. Vid undersökningarna 1997 hade detektionsgränsen sänkts något vilket resulterade i att Hg detekterades på två stationer (G3 och G6) och Sn på en station (G2). Först vid undersökningarna 2001 kunde, till följd av ytterligare sänkning av detektionsgränserna, både kvicksilver och tenn detekteras på samtliga stationer. Detektionsgränserna hade då pressats ned till 0,04 respektive 0,1 mg/kg ts.

Tabell 8:3. Koncentrationen (mg/kg ts) av tungmetaller i blåmussla (*Mytilus edulis*) i Göteborgs skärgård mellan 1990 och 2001.
The concentration (mg/kg dw) of heavy metals in blue mussel (Mytilus edulis) in the Göteborg archipelago between 1990 and 2001.

Station	År	As mg/kg ts	Cd mg/kg ts	Cr mg/kg ts	Cu mg/kg ts	Hg mg/kg ts	Mn mg/kg ts	Ni mg/kg ts	Pb mg/kg ts	Sn mg/kg ts	V mg/kg ts	Zn mg/kg ts
G2	1990		3,4									
	1996		2		4,9	<0,28			2	<1,4		
	1997		0,6		5,1	<0,13			2,9	0,67		
	2001	17	0,81	2	5,6	0,071	6,2	1,3	3,6	0,71	5,5	73
G 3	1996		1,4		7,6	<0,26			1,7	<1,3		
	1997		1,1		7,2	<0,21			2,7	<1		
	2001	11	0,91	1,8	6,9	0,13	18	1,2	5	0,69	4,2	84
G 4	1990		2,4			0,22						
	1996		2,2		9,6	<0,29			2,2	<1,4		
	1997		0,84		7,0	0,35			3,3	<1		
	2001	10	1,3	2,8	5,8	0,2	9	1,6	3,3	1,5	2,1	130
G 6	1996		2		7,7	<0,3			3,9	<1,5		
	1997		1,3		8,5	0,21			4,4	<1		
	2001	13	1,7	3,2	7,5	0,18	6,6	1,7	4,8	1,5	7,9	90
G 9	1996		2,6		5,1	<0,35			2,1	<1,8		
	1997		0,9		4,7	<0,13			1,0	<0,69		
	2001	10	1,3	1,3	5,3	0,04	5	1,4	0,78	1,1	1,6	79
G 10	1996		0,62		6,7	0,16			2,1	<0,78		
	1997		0,61		7,2	<0,15			1,9	<0,75		
	2001	13	0,79	1,5	5,8	0,096	7,1	0,94	5,2	0,73	3,6	87

Halterna mellan stationerna varierar i allmänhet inom ett relativt begränsat intervall. Den högsta koncentrationen för Cd, Cr, Cu, och Ni i blåmussla 2001 påträffas på station Kopparholmen (G6), medan Pb förutom på denna station också uppvisade liknande koncentrationsnivåer på stationerna Ränneskär (G3) och L Rösö (G10).

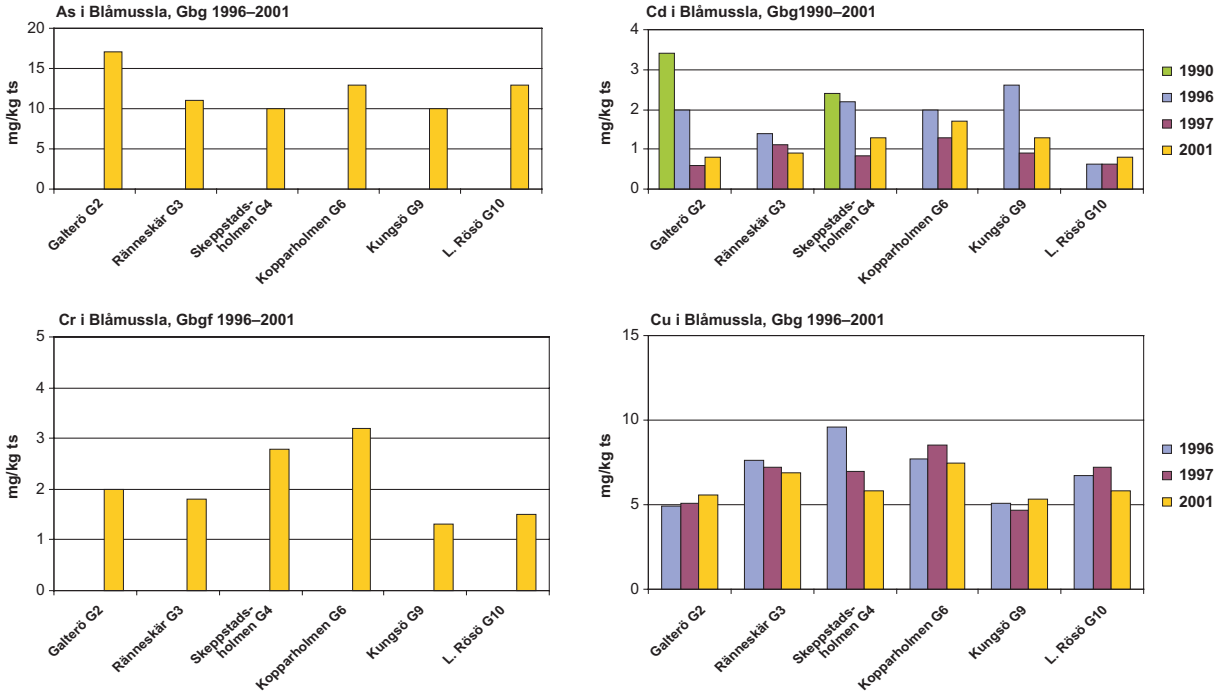
Förändringen av metallkoncentrationerna för de metaller där data föreligger för perioden 1990 till 2001 illustreras i diagrammen i figurerna 8:3a–b. Halten av Cd och Cu har i genomsnitt minskat med 37 % (95<p<97,5) respektive 11 % (75<p<90) sedan 1996 medan halten av Pb ökat med i genomsnitt 62 % (90<p<95) under samma period. Halten av kvicksilver har också minskat under perioden på de stationer där data överstigande detektionsgränsen finns att tillgå. På övriga stationer kan inga förändringar för Hg avgöras till följd av för höga detektionsgränser och för övriga metaller saknas data från åren 1996 och 1997.

Halterna av kadmium och kvicksilver har också minskat sedan 1990, men här är osäkerheten större till följd av få mätningar 1990 (se ovan).

Enligt svenska bedömningsgrunder för miljökvalitet i kust och hav (Naturvårdsverket 1999) visar undersökningarna att under perioden 1990/1996 till 2001 har i Göteborgs skärgård miljökvaliteten i blåmussla (fig. 8:4) försämrats vad gäller Pb (till klass 4) och förbättrats vad gäller Cd och Cu till klass 1. För Hg är miljökvaliteten oförändrat bra (klass 1) och med avseende på Ni är den ganska bra (klasserna 1-3). Med avseende på Sn är den dock mycket dålig (klass 5). Svenska bedömningsgrunder saknas för övriga metaller i blåmussla.

Tabell 8:4. Spridning och medelvärden (mg/kg ts) för metaller i blåmussla (*Mytilus edulis*) i Göteborgs skärgård 1990, 1996, 1997 och 2001.
Range and means (mg/kg dw) of metals in blue mussel (Mytilus edulis) in the Göteborg archipelago in 1990, 1996, 1997 and 2001.

Blåmussla Göteborg	År	Antal stationer n	Intervall mg/kg ts	Medelvärde mg/kg ts	Medianvärde mg/kg ts	Standardavvikelse mg/kg ts
As	2001	6	10–17	12	12	2,7
Cd	1990	2	2,4–3,4	2,9	2,9	0,7
	1996	6	0,62–2,6	1,8	2,0	0,70
	1997	6	0,60–1,3	0,89	0,87	0,27
	2001	6	0,79–1,7	1,1	1,1	0,36
Cr	2001	6	1,3–3,2	2,1	1,9	0,75
Cu	1996	6	4,9–9,6	6,9	7,2	1,8
	1997	6	4,7–8,5	6,6	7,1	1,4
	2001	6	5,3–7,5	6,2	5,8	0,85
Hg	1990	1	0,22	0,22		
	1996	6	<0,3	<0,3	–	–
	1997	6	<0,13–0,35	0,2	0,2	–
	2001	6	0,04–0,20	0,12	0,11	0,062
Mn	2001	6	5–18	8,7	6,9	4,8
Ni	2001	6	0,94–1,7	1,4	1,4	0,28
Pb	1996	6	1,7–3,9	2,3	2,1	0,79
	1997	6	1–4,4	2,7	2,8	1,17
	2001	6	0,78–5,2	3,8	4,2	1,7
Sn	1996	6	<0,78	–	–	–
	1997	6	<0,6–0,67	0,63	–	–
	2001	6	0,38–1,5	0,85	0,72	0,39
V	2001	6	1,6–7,9	4,2	3,9	2,3
Zn	2001	6	73–130	91	86	20



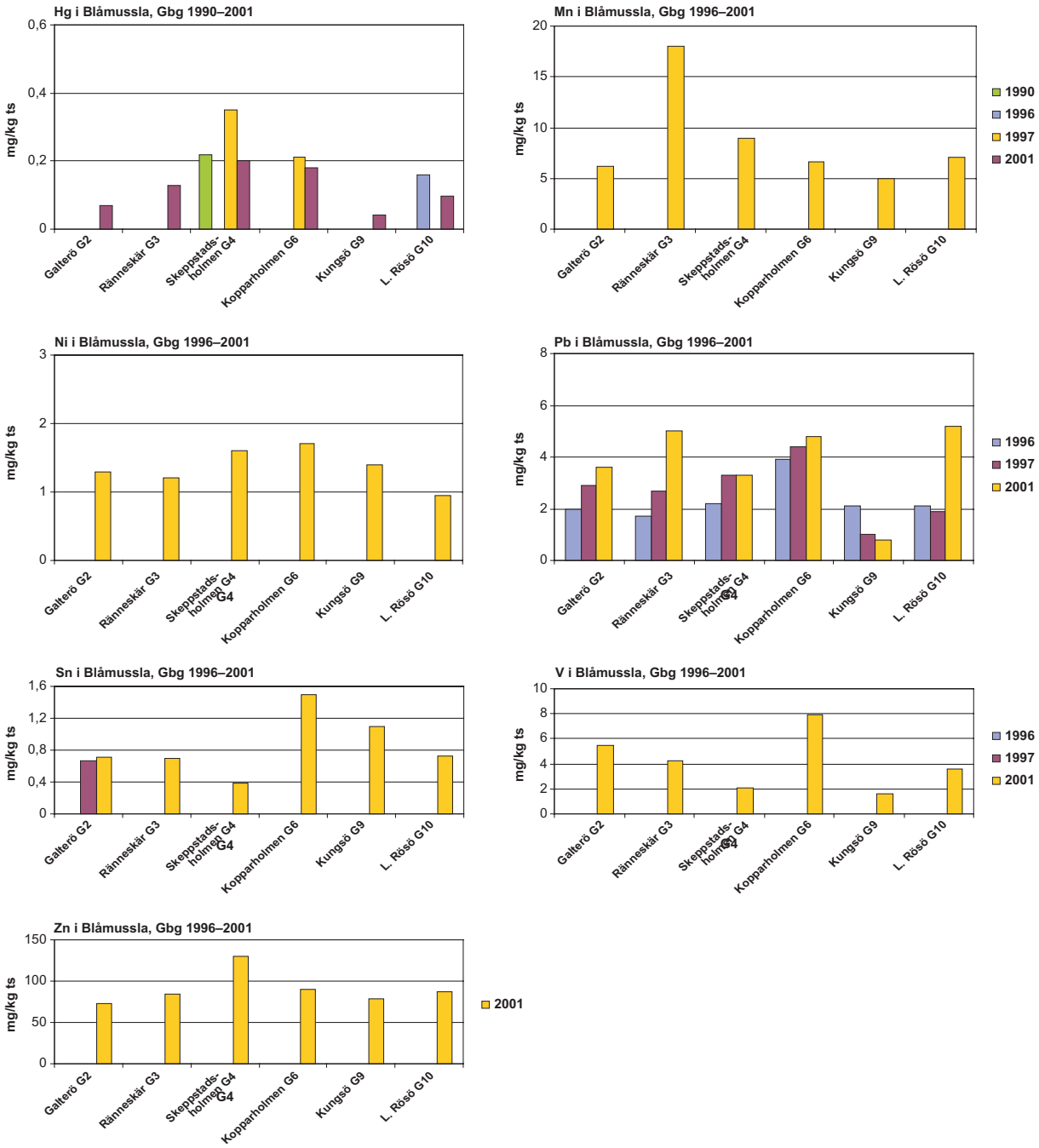
Figur 8:3a. Koncentrationen av några tungmetaller (mg/kg ts) i blåmussla (*Mytilus edulis*) på respektive station i Göteborgs skärgård 1990–2001.

The concentration of some hevy metals (mg/kg dw) in blue mussel (Mytilus edulis) at each station in the Göteborg archipelago in 1990–2001 respectively.

8.5.2 POLYKLORERADE BIFENYLER (PCB) SAMT FÖRÄNDRINGAR EFTER 1996

Polyklorerade bifenylerna (PCB) har analyserats i blåmussla vid samtliga tre undersökningstillfällen 1996 1997 och 2001. Analysresultaten redovisas per torrsubstans i tabell 8:5 och per fettsubstans i tabell 8:7. I tabellerna 8:6 och 8:8 redovisas per torrsubstans respektive fettsubstans medelvärden, medianvärden, standardavvikelse och spridning för respektive kongen, ∑7 PCB och total-PCB.

Av de sju studerade polyklorerade bifenylerna (PCB) kunde kongenerna PCB 28 och PCB 52 inte detekteras i blåmussla på alla stationer (tabell 8:5). Övriga fem PCB detekterades på samtliga stationer 2001.



Figur 8:3b. Koncentrationen av några tungmetaller (mg/kg ts) i blåmussla (*Mytilus edulis*) på respektive station i Göteborgs skärgård 1990–2001.

The concentration of some hevy metals (mg/kg dw) in blue mussel (Mytilus edulis) at each station in the Göteborg archipelago in 1990–2001 respectively.

Den högsta halten ∑7 PCB och total-PCB återfanns på station G3 vid Ränneskär. I figur 8:5 illustreras koncentrationsutvecklingen per torrsubstans för perioden 1996–2001. Jämförelsen visar att ∑7 PCB i genomsnitt har ökat med 650 % (95<p<97,5) och total-PCB med över 1000 % (95<p<97,5) sedan 1996. Mellan 1996 och 1997 låg ökningen på i genomsnitt 230 %. Dessa siffror är mycket höga och ligger långt över den ökning som noterats i blåmussla utmed hela Bohuskusten (se del 7, denna volym).

Svenska bedömningsgrunder för PCB i blåmussla saknas, men enligt norskt system (SFT 1993) faller stationerna i klasserna 1–3 (dvs. från ”god” till ”nokså dålig”).

Tabell 8:5. Koncentrationen (µg/kg ts) av PCBer i blåmussla (*Mytilus edulis*) i Göteborgs skärgård 1996–2001.
The concentration (µg/kg dw) of PCBs in blue mussel (Mytilus edulis) in the Göteborg archipelago in 1996–2001.

Station	År	PCB 28 µg/kg ts	PCB 52 µg/kg ts	PCB 101 µg/kg ts	PCB 118 µg/kg ts	PCB 138 µg/kg ts	PCB 153 µg/kg ts	PCB 180 µg/kg ts	Sum 7 PCB µg/kg ts	Sum PCB som Aroklor 1254 µg/kg ts
G2	1996								1,3	5
	1997								6,1	22
	2001	<0,2	<0,4	1,6	1,6	2,4	3,7	0,45	9,4	33
G3	1996								2,5	9
	1997								5,9	21
	2001	0,066	1,6	9,8	8,5	12	17	2	51	180
G4	1996								3,0	11
	1997								10	37
	2001	0,29	<0,4	4,1	3,8	4,9	7,8	0,81	21	74
G6	1996								3,9	14
	1997								11	40
	2001	<0,3	0,54	5,4	4,6	5,8	8,9	1,2	27	93
G9	1996								0,4	2,3
	1997								1,8	7,3
	2001	0,62	<0,1	0,49	0,55	0,9	1,4	0,13	3,5	12
G10	1996								8,1	2,9
	1997								7,5	26
	2001	0,18	<0,5	6,5	6,8	7,7	12	1,3	34	120

Station	Cd mg/kg 1990	Cd mg/kg 1996	Cd mg/kg 1997	Cd mg/kg 2001	Cu mg/kg 1996	Cu mg/kg 1997	Cu mg/kg 2001	Hg mg/kg 1990	Hg mg/kg 1996	Hg mg/kg 1997	Hg mg/kg 2001
G2	3,4	2	0,6	0,81	4,9	5,1	5,6		<0,28	<0,13	0,071
G3		1,4	1,1	0,91	7,6	7,2	6,9		<0,26	<0,21	0,13
G4	2,4	2,2	0,84	1,3	9,6	7	5,8	0,22	<0,29	0,35	0,2
G6		2	1,3	1,7	7,7	8,5	7,5		<0,3	0,21	0,18
G9		2,6	0,9	1,3	5,1	4,7	5,3		<0,35	<0,13	0,04
G10		0,62	0,61	0,79	6,7	7,2	5,8		0,16	<0,15	0,096

Station	Ni mg/kg 2001	Pb mg/kg 1996	Pb mg/kg 1997	Pb mg/kg 2001	Sn mg/kg 1996	Sn mg/kg 1997	Sn mg/kg 2001
G2	1,3	2	2,9	3,6	<1,4	0,67	0,71
G3	1,2	1,7	2,7	5	<1,3	<1	0,69
G4	1,6	2,2	3,3	3,3	<1,4	<1	0,38
G6	1,7	3,9	4,4	4,8	<1,5	<1	1,5
G9	1,4	2,1	1	0,78	<1,8	<0,69	1,1
G10	0,94	2,1	1,9	5,2	<0,78	<0,75	0,73

Bedömningsgrunder enl. Naturvårdsverket (1999)	Avvikelse från jämförvärdet
Klass 1	Ingen/obetydlig avvikelse
Klass 2	Liten avvikelse
Klass 3	Tydlig avvikelse
Klass 4	Stor avvikelse
Klass 5	Mycket stor avvikelse

Figur 8:4. Blåmusslans (*Mytilus edulis*) miljökvalitet i Göteborgs skärgård 1996–2001 med avseende på metallinnehåll. Klassning enligt svenska bedömningsgrunder (Naturvårdsverket 1999).

The environmental quality of the blue mussel (Mytilus edulis) in the Göteborg archipelago with respect to the metal content in 1996–2001. Classification according to Swedish Environmental Quality Criteria (Naturvårdsverket 1999).

Tabell 8:6. Spridning och medelvärden (µg/kg ts) för PCBer i blåmussla (*Mytilus edulis*) i Göteborgs skärgård 1996–2001.
Range and means (µg/kg dw) of PCBs in blue mussel (Mytilus edulis) in the Göteborg archipelago in 1996–2001.

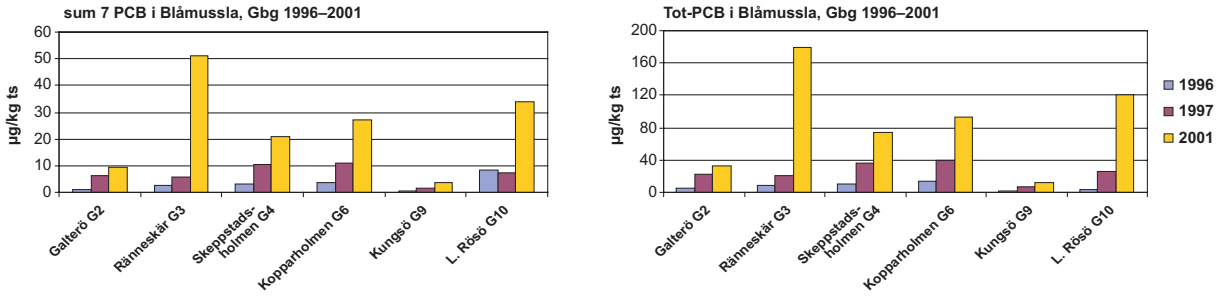
Blåmussla	År	Antal stationer n	Intervall µg/kg ts	Medelvärde µg/kg ts	Medianvärde µg/kg ts	Standardavvikelse µg/kg ts
PCB 28	2001	6	0,066–0,62	0,28	0,25	0,19
PCB 52	2001	6	0,1–1,6	0,59	0,45	0,52
PCB 101	2001	6	0,49–9,8	4,7	4,8	3,39
PCB 118	2001	6	0,55–8,5	4,3	4,2	3,0
PCB 153	2001	6	0,9–12	5,6	5,4	4
PCB 138	2001	6	1,4–17	8,5	8,4	5,6
PCB 180	2001	6	0,13–2	0,98	1,0	0,67
Sum 7 PCB	2001	6	3,5–51	24	24	17
Tot PCB	2001	6	12–180	85	84	61

Tabell 8:7. Koncentrationen (µg/kg fett) av PCBer i blåmussla (*Mytilus edulis*) i Göteborgs skärgård 1996–2001.
The concentration (µg/kg fat) of PCBs in blue mussel (Mytilus edulis) in the Göteborg archipelago in 1996–2001.

Station	År	PCB 28 µg/kg fett	PCB 52 µg/kg fett	PCB 101 µg/kg fett	PCB 118 µg/kg fett	PCB 138 µg/kg fett	PCB 153 µg/kg fett	PCB 180 µg/kg fett	Sum 7 PCB µg/kg fett	Sum PCB som Aroklor 1254 µg/kg fett
G2	2001	15	31	123	123	185	285	35	723	2538
G3	2001	2,9	70	426	370	522	739	87	2217	7826
G4	2001	21	29	293	271	350	557	58	1500	5286
G6	2001	19	34	338	288	363	556	75	1688	5813
G9	2001	33	5,3	26	29	47	74	6,8	184	632
G10	2001	6,9	19	250	262	296	462	50	1308	4615

Tabell 8:8. Spridning och medelvärden (µg/kg fett) för PCBer i blåmussla (*Mytilus edulis*) i Göteborgs skärgård 1996–2001.
Range and means (µg/kg fat) of PCBs in blue mussel (Mytilus edulis) in the Göteborg archipelago in 1996–2001.

Blåmussla	År	Antal stationer n	Intervall µg/kg fett	Medelvärde µg/kg fett	Medianvärde µg/kg fett	standardavvikelse µg/kg ts
PCB 28	2001	6	2,9–33	16,3	17	10,7
PCB 52	2001	6	5,3–70	31,4	30	21,6
PCB 101	2001	6	26–426	243	272	146
PCB 118	2001	6	29–370	224	267	124
PCB 153	2001	6	47–522	294	323	163
PCB 138	2001	6	74–739	446	509	234
PCB 180	2001	6	6,8–87	52,0	54	28,7
Sum 7 PCB	2001	6	184–222	1270	1400	722
Tot PCB	2001	6	630–7830	4450	4950	2540



Figur 8:5. Koncentrationen av Σ7 PCB (µg/kg ts) i blåmussla (*Mytilus edulis*) på respektive station i Göteborgs skärgård 1996–2001.
The concentration of Σ7PCB (µg/kg dw) in blue mussel (Mytilus edulis) in the Göteborg archipelago in 1996–2001 respectively.

8.5.3 DIKLORDIFENYLTRIKLORETAN (DDT) SAMT FÖRÄNDRINGAR EFTER 1996

Analysresultaten över insecticiden diklordifenyltrikloretan (p,p-DDT) med dess metaboliter (p,p-DDE och p,p-DDD) i blåmussla 2001 samt motsvarande isomerer med ortoparaposition för kloratomerna (o,p-DDT, o,p-DDE, o,p-DDD) redovisas tillsammans med motsvarande data från 1996 och 1997 i tabell 8:9. Spridning, medel- och medianvärden återfinns i tabell 8:10.

2001 kunde metaboliterna p,p-DDD påvisas i halter över detektionsgränsen på stationerna G2, G3 och G4 medan p,p-DDE endast kunde påvisades på en station (G3). Moderprodukten p,p-DDT låg under detektionsgränsen på samtliga sex stationer. Förhållandet mellan moderprodukten och metaboliterna visar att föroreningen är av äldre datum. Även halterna för motsvarande isomerer men med kloratomen i ortoparaposition låg under detektionsgränsen på de sex stationerna. De högsta halterna återfanns på vid Ränneskär (G3) och Kopparholmen (G6) (fig. 8:6).

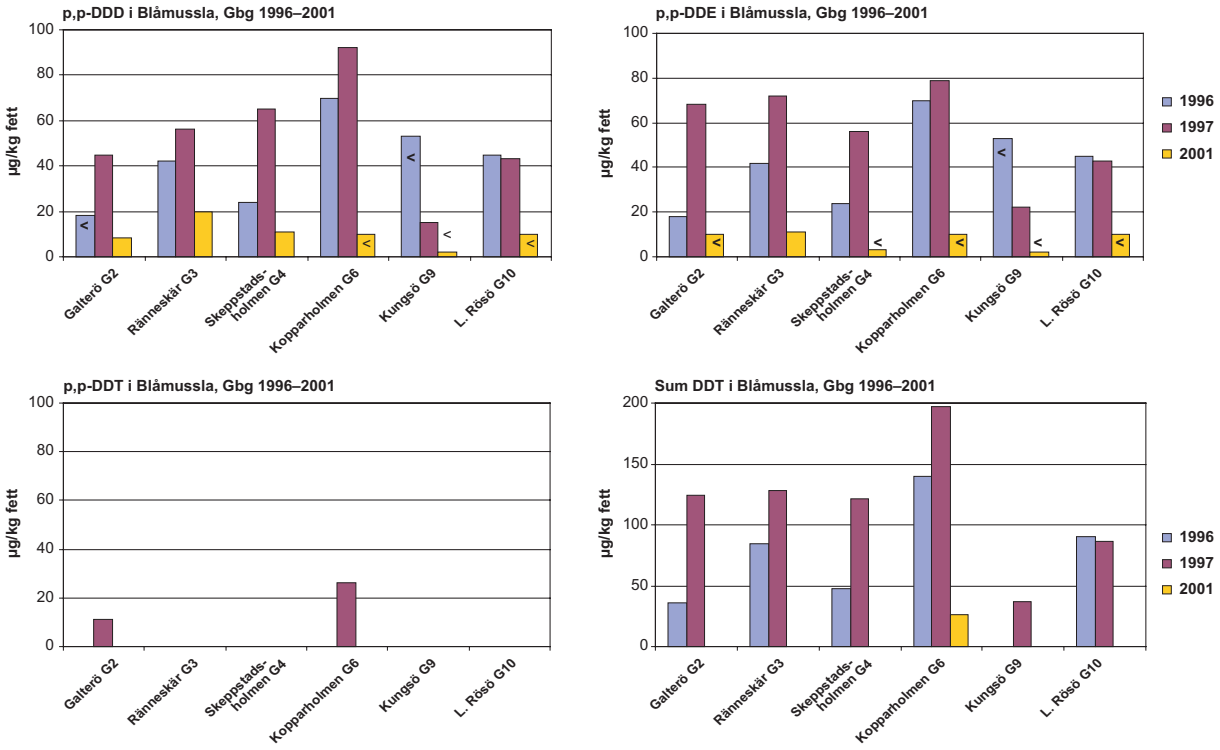
Svenska bedömningsgrunder för ∑DDT i blåmussla saknas, men enligt norskt system (SFT 1993) faller stationerna år 2001 i klass 2, dvs. i tillståndsklass ”mindre bra”. Det skall dock understrykas att ∑DDT i Göteborgs skärgård numera byggs upp av de mindre giftiga metaboliterna, dvs. nedbrytningsprodukterna från DDT.

Utvecklingen mellan 1996 och 2001 illustreras i figur 8:6. På samtliga stationer har halterna minskat i blåmussla mellan 1996 och 2001. I genomsnitt har ∑DDT minskat med 67 % (75<p<90), p,p-DDD med 78 % (95<p<97,5) och p,p-DDE med 82 % (97,5<p<99) sedan 1996.

På motsvarande sätt kan en ökning av halterna noteras mellan 1996 och 1997. Huruvida denna ökning är reell eller bara är en effekt av skillnader i laboratorieanalysteknik kan inte avgöras.

Tabell 8:9. Koncentrationen av DDT, DDE och DDD (µg/kg fett) i blåmussla (Mytilus edulis) i Göteborgs skärgård 1996–2001.
The concentration of DDT, DDE and DDD (µg/kg fat) in blue mussel (Mytilus edulis) in the Göteborg archipelago in 1996–2001.

Station	År	p,p-DDD µg/kg fett	p,p-DDE µg/kg fett	p,p-DDT µg/kgfett	Σ DDT µg/kg fett	o,p-DDD µg/kg fett	o,p-DDE µg/kg fett	o,p-DDT µg/kg fett
G2	1996	18	18	<18	36			
	1997	45	68	11	124			
	2001	8,5	<10	<20	8,5	<20	<3	<6
G3	1996	42	42	<21	84			
	1997	56	72	<14	128			
	2001	20	11	<30	31	<2	<40	<4
G4	1996	24	24	<12	48			
	1997	65	56	<9	121			
	2001	11	<3	<25	11	<10	<45	<3
G6	1996	70	70	<35	140			
	1997	92	79	26	197			
	2001	<10	<10	<15	<15	<6	<3	<5
G9	1996	<53	<53	<53	<53			
	1997	15	22	<8	37			
	2001	<2	<2	<40	<40	<6	<3	<4
G10	1996	45	45	<9	90			
	1997	43	43	<9	86			
	2001	<10	<10	<25	<25	<10	<3	<5



Figur 8:6. Koncentrationen av DDT och metaboliterna DDE och DDD (µg/kg fett) i blåmussla (Mytilus edulis) på respektive station i Göteborgs skärgård 1996–2001.

The concentration of DDT and the metabolites DDE and DDD (µg/kg fat) in blue mussel (Mytilus edulis) at each station in the Göteborg archipelago in 1996 – 2001 respectively.

Tabell 8:10. Spridning och medelvärden (µg/kg fett) för DDT, DDE och DDD i blåmussla (Mytilus edulis) i Göteborgs skärgård 1996–2001.
Range and means (µg/kg fat) of DDT, DDE and DDD in blue mussel (Mytilus edulis) from the Göteborg archipelago in 1996–2001.

Blåmussla	År	Antal stationer n	Intervall µg/kg fett	Medelvärde µg/kg fett	Medianvärde µg/kg fett	Standardavvikelse µg/kg fett
Σ DDT	1996	6	36–140	80	84	41
	1997	6	37–197	116	123	53
	2001	6	26	26	26	-
p,p-DDD	1996	6	18–70	42	44	19
	1997	6	15–92	53	51	26
	2001	6	<2–20	10	10	5,8
p,p-DDE	1996	6	18–70	42	44	19
	1997	6	22–79	57	62	21
	2001	6	<2–11	7,7	10	4

6.6 Sammanfattning

Föreliggande undersökning av blåmusslor i Göteborgs skärgård utgör ett särskilt miljögiftsprogram inom ramen för Bohuskustens vattenvårdsförbunds (Bvvf) kustvattenkontroll. Programmet som startade 1990 omfattar fr.o.m. 1996 sex fasta stationer. Undersökningarna omfattar analys av blåmusslans mjukdelar (minst 50 exemplar per station) med avseende på vissa tungmetaller och organiska miljögifter. HydroGIS har svarat för provinsamling och Alcontrol för analys av musslornas mjukdelar samt avrapportering av laboratoriedata, medan Sveriges geologiska undersökning (SGU) har svarat för utvärdering, trendanalys och slutlig avrapportering.

De föregående undersökningarna genomfördes 1990 (Granmo & Ekelund 1993), 1996 och 1997 (Olsson 1993, 1998). Data från 1997 års undersökningar ingår även i en samlad utvärdering av Bohuskustens miljögiftsstatus (Cato 2000).

Resultaten visar att halterna för respektive metall varierar inom ett relativt begränsat intervall i skärgården. Den högsta koncentrationen för Cd, Cr, Cu, och Ni i blåmussla 2001 påträffas på station Kopparholmen

(G6), medan Pb, förutom på denna station, också uppvisade liknande koncentrationsnivåer på stationerna Ränneskär (G3) och L Rösö (G10).

Halten av Cd och Cu har i genomsnitt minskat med 37 % respektive 11 % sedan 1996 medan halten av Pb ökat med i genomsnitt 62 % under samma period. Halten av kvicksilver har också minskat under perioden på de stationer där data överstiger detektionsgränsen. Halterna av kadmium och kvicksilver har också minskat sedan 1990, men här är osäkerheten större till följd av få mätningar 1990.

Sju polyklorerade bifenyler (PCB) kunde, med undantag för kongenerna PCB-28 och PCB-52, detekteras i blåmusselvävnad på samtliga sex stationer. Den högsta halten ∑ 7 PCB och total-PCB återfanns på station G3 vid Ränneskär i norra Danefjord. Trendanalysen för perioden 1996-2001 visar att ∑ 7 PCB i genomsnitt har ökat med 650 % och total-PCB med över 1000 % sedan 1996.

p,p-DDT låg under detektionsgränsen på samtliga sex stationer. Förhållandet mellan moderprodukten och metaboliterna visar att föroreningen är av äldre datum. På samtliga stationer har halterna minskat mellan 1996 och 2001. I genomsnitt har ∑ DDT minskat med 67 %, p,p-DDD med 78 % och p,p-DDE med 82 % sedan 1996.

I figur 8:7 sammanfattas blåmusslornas miljökvalitet i Göteborgs skärgård år 2001 vad avser de metaller där svenska gränsvärden finns att tillgå. Siffrorna visar hur antalet stationer fördelar sig för varje metall och

Blåmussla Göteborg Ämne/förening	Klass 1 ***Bakgrund*** *Background*	Klass 2 ***Låg halt*** *Low cont.*	Klass 3 ***Medelhög halt*** *Medium cont.*	Klass 4 ***Hög halt*** *High cont.*	Klass 5 ***Mycket hög halt*** *Very high cont.*
Bly (Pb)	1			5	
Kadmium (Cd)	3	2	1		
Koppar (Cu)	6				
Kvicksilver (Hg)	6				
Nickel (Ni)	1	3	2		
Tenn (Sn)				1	5

Figur 8:7. Klassificering av blåmusslans (*Mytilus edulis*) miljökvalitet på de 6 stationer som ingår i kustvattenkontrollen av Göteborgs skärgård år 2001. Siffrorna visar antalet stationer inom varje klass. Klassificering enligt svenska bedömningsgrunder (Naturvårdsverket 1999).

Classification of environmental blue mussel (Mytilus edulis) quality for the 6 stations run by the Coastal Water Monitoring Programme of the Göteborg archipelago in 2001. The figures refer to the number of stations within each class. Classification according to Swedish Environmental Quality Criteria (Naturvårdsverket 1999).

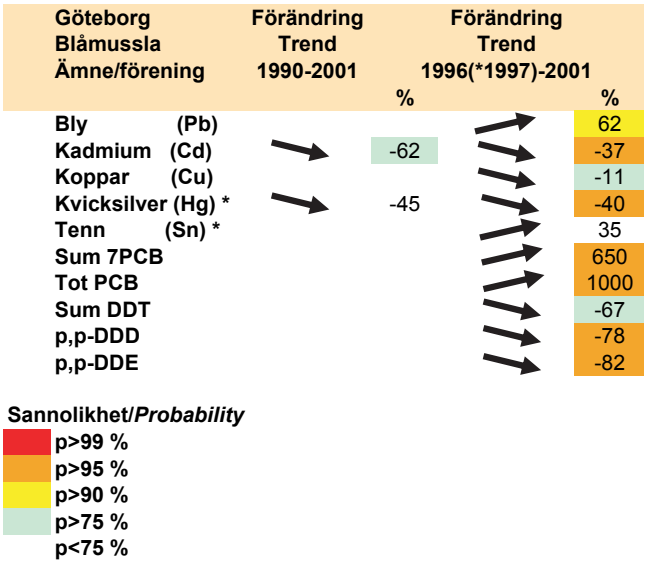


Fig. 8:8. Sammanställning över förändringen av koncentrationen för några ämnen och föreningar i blåmussla (*Mytilus edulis*) i Göteborgs skärgård mellan 1990 och 2001. Nedåtriktad pil betyder minskade halter och uppåtriktad pil ökande halter.

Compilation of the changes of the average concentrations of some elements and compound between 1990 and 2001 in blue mussel (Mytilus edulis) in the Göteborg archipelago. Arrow pointed downwards implies decreasing concentration and arrow pointed upwards implies increasing concentration.

tillståndsklass. Resultaten visar att musslorna på de flesta stationerna är förorenade (klass 4) med avseende på bly (Pb) och mycket förorenade (klass 5) med avseende på tenn (Sn). Med avseende på övriga metaller, kadmium (Cd), koppar (Cu), kvicksilver och nickel (Ni) är, med några få undantag för Cd och Ni, miljökvaliteten bra (klass 2) till mycket bra (klass 1).

Utvecklingstrenden mellan 1996 och 2001 illustreras översiktligt i figur 8:8. Pilarna visar om medelkoncentrationen för respektive ämne ökat, minskat eller är oförändrad. I syfte att erhålla en mer allmängiltig bild av koncentrationsförändringen av respektive miljögift har respektive medelvärde över de sex stationerna testats statistiskt med hjälp av s.k. t-test med (n–1) frihetsgrader för matchade datapar. Härigenom har den statistiska sannolikheten (p) för respektive medelvärdesförändring kunnat fastläggas. Resultaten av testen visas med olika färger för olika sannolikhetsnivåer i figur 8:8. Förändringar under 10 % är inte statistiskt signifikanta.

Resultatet från trendanalysen visar en starkt signifikant ökning mellan 1996 och 2001 av bly (Pb) och PCB. Kadmium (Cd), koppar (Cu) och ∑ DDT med metaboliterna p,p-DDD och p,p-DDE visar en markant koncentrationsminskning under perioden. Trenden för kvicksilver (Hg) mellan 1997 och 2001 (sjunkande halter) och tenn (Sn) (ökande halter) är statistiskt osäker till följd av få mätdata. Detta gäller också den koncentrationsminskning som Cd och Hg uppvisar mellan 1990 och 2001.

Sammanfattningsvis kan konstateras att blåmusslorna i Göteborgs skärgårdsområde är kontaminerade med metallerna tenn och bly och i något mindre utsträckning med avseende på PCB och DDTs metaboliter (nedbrytningsprodukter). Trenden visar att belastningen av Sn, Pb och PCB ökat sedan 1996, medan den för övriga ämnen minskat.

8.7 Summary

The present investigation of blue mussel in the Göteborg archipelago forms a special monitoring programme within the framework of the coast-water control run by the Bohus Coast Water Conservation Association (Bvvf). The programme set up in 1990 embraces six stations from 1996. The Blue-mussel tissue (more than 50 specimen per station) was examined for certain heavy metals and organic micropollutants. HydroGIS was responsible for collecting mussels, Alcontrol for analyses of the samples and preliminary reporting, while the Geological Survey of Sweden (SGU) carried out the evaluation, trend analyses and final reporting. The former studies were carried out in 1990 (Granmo & Ekelund 1993), 1992, 1996 and 1997 (Olsson 1993, 1998). Data from 1997 have also been used in an integrated evaluation of the environmental status of the Bohus coast (Cato 2000).

The results show that the concentration of each metal varies within a relative limited interval in the archipelago. The highest concentration of Cd, Cr, Cu and Ni in blue mussel 2001 was found at the site Kopparholmen (G6), while Pb in addition to this site also was found in similar concentrations at the sites Ränneskär (G3) and L Rösö (G10).

On average the concentration of Cd and Cu has decreased by 37% and by 11% respectively since 1996, while the concentration of Pb has increased by 62% during the same period. Also the content of mercury has decreased at the sites where the concentrations have been above the detection limit. The concentrations of cadmium and mercury have also decreased since 1990, but here the uncertainty is larger as a consequence of few measurements in 1990.

Seven polychlorinated biphenyles (PCB) were, with exception for the congenes PCB-28 and PCB-52, detected in the blue mussel tissue at all six stations. The highest concentration of ∑ 7 PCB and total-PCB were found at site G3 vid Ränneskär in the northern Danafjord. The trend analysis for the period 1996–2001 show that ∑ 7 PCB on average has increased with 650% and total-PCB with more than 1000% since 1996.

p,p-DDT was below the detection limit at all six sites. The ratio between the parent product and the metabolites show that the contamination is of older date. At all sites the concentrations have decreased between 1996 and 2001. On average ∑ DDT has decreased by 67%, p,p-DDD by 78% and p,p-DDE by 82% since 1996.

In Figure 8:7 the environmental quality of the blue mussels in the Göteborg archipelago in 2001 is summarized with respect to each element when suitable Swedish criteria are available. The figures show the distri-

bution of the number of sites with respect to each element and the class of anthropogenic impact. The results imply that the blue mussels at most sites, with respect to lead (Pb) are contaminated (class 4) and with respect to tin (Sn) very contaminated (class 5). For all other metals, cadmium (Cd), copper (Cu), mercury (Hg) and nickel (Ni), the status, with a few exceptions for Cd and Ni, is good (class 2) to very good (classes 1).

The trend of the quality status between 1996 and 2001 is summarized in Figure 8:8. The arrows show whether the average concentration of each element or compound increased, decreased or is unchanged. For the purpose to clarify a more generalized view of the concentration changes of the contaminants each average value of the site data has been statistically tested using a t-test with (n–1) degrees of freedom for matched pairs. By this method the statistical probability (p) of each average change was established. The results of the test are presented in Figure 5:112. Changes less than 10% can not be considered as statistically significant.

The result from the trend analysis demonstrated a strong significant increase of lead (Pb), and PCB between 1996 and 2001. Cadmium (Cd), copper (Cu) and ∑ DDT with the metabolites p,p-DDD and p,p-DDE show a marked decrease in consentration during the same period. The trends of mercury (Hg) (decreasing concentrations) and tin (Sn) (increasing concentrations) between 1997 and 2001 are statistically uncertain as a consequence of few data above the detection limit. This is also valid to the decrease of Cd and Hg between 1990 and 2001.

To sum up one can state that the blue mussels in the Göteborg archipelago are contaminated with respect to tin and lead and to less extent with respect to PCB and metabolites of DDT. The trend show that the load of Sn, Pb and PCB increased since 1996.

8.8 Referenser

Alcontrol, 2004: Bohuskustens vattenvårdsförbund 2001–2002. Resultat från undersökningar av sediment och biologiskt material. Rapport Alcontrol Laboratories 2004, 361 s.

Axe, P., Andersson, L., Håkansson, B., Sahlsten, E. & Ingemansson, A., 2004: Sammanställning och utvärdering av hydrografiska mätningar längs Bohuskusten. *SMHI Rapport 2004-57*, 144 s.

Cato, I., 1986: Sedimentens belastning av tungmetaller och närsalter i Göteborgs skärgård 1982, samt förändringar efter 1966. Göteborgs universitet, *Maringeologiska institutionen, Rapp. 2*. 95 s.

Cato, I., 1992:Sedimentundersökningar längs Bohuskusten 1990 – Göteborgs och Bohus läns kustvattenkontroll. *Sveriges geologiska undersökning Rapporter & meddelanden 74*, 97 s.

Cato, I., 2000: Miljögifter och miljökvalitet längs Bohuskusten 1990–1998 – förändringar, belastning och samband. *Sveriges geologiska undersökning Rapporter & meddelanden 103*, 135 s.

Fowler, J. & Cohen, L., 1996: *Practical statistics for field biology*. John Wiley & Sons. New York. 227 s.

Fält, L.-M., 1982: Late Quaternary sea-floor deposits off the Swedish West Coast. *CTH och Göteborgs universitet. Geol. Inst. Publ. A37*, 259 s.

Granmo, Å. & Ekelund, R., 1993: Undersökning av miljögifter längs Bohuskusten 1993. Göteborgs universitets marina forskningsstation Kristineberg. *Rapport Göteborgs och Bohusläns vattenvårdsförbund*, 63 s.

Gunnarsson, J.S. & Sköld, M., 1999: Accumulation of polychlorinated biphenyls by the infaunal brittle stars *Amphiura filiformis* and *A. Chiajei*: effects of eutrophication and selective feeding. *Mar. Ecol. Prog. Ser. 186*, 173–185.

Göteborgs kommun, 1989: Miljöfarliga ämnen I lakvatten, sediment och musslor: en studie av Göta Älvs mynningsområde och av lakvatten från Göteborgs avfallstippar. *Miljöprojekt Göteborg, Rapport 20,* 19 s. 58 s. bil.

HydroGIS 2001: Lokalbeskrivningar för insamling av blåstång, blåmusslor, krabba och fisk utmed Bohuskusten. Göteborg och Bohusläns vattenvårdsförbund – kustvattenkontrollen 2001, HydroGIS AB rapport nr 265. I Alcontrol, 2004: Bohuskustens vattenvårdsförbund 2001-2002. Resultat från undersökningar av sediment och biologiskt material. *Rapport Alcontrol Laboratories 2004,* 220–236.

Konieczny, R.M., 1994: Miljøgiftundersøkelser i Indre Oslofjord. Delrapport 4. Miljøgifter i sedimenter. *NIVA Rapport TA nr 1074/1994,* 124 s.

Konieczny, R.M. & Juliussen, A., 1995: Sonderende undersøkelser i Norske havner og utvalgte kystområder. Fase 1. Miljøgifter i sedimenter på strekningen Narvik Kragerø. *NIVA-Rapport 587/94.* 185 s.

Naturvårdsverket 1999: Bedömningsgrunder för miljökvalitet i Kust och hav. *Naturvårdsverket Rapport 4914*, 134 s.

Naturvårdsverket 2005: ://www.naturvardsverket.se/index.php3?main=/dokument/fororen/orggift/organisk.html.

Olsson, L., 1993: *Miljögifter i musslor. Kustvattenprojektet 1990–1992. Sammanställning av analysresultat.* AnalyCen Nordic AB. Rapport Bohuskustens vattenvårdförbund, Uddevalla, 13 sid.

Olsson, L., 1998: *Miljögiftsundersökning 1997–1998.* AnalyCen Nordic AB. Rapport Bohuskustens vattenvårdförbund, Uddevalla, 51 s.

Rohde, J., 1996: On the dynamics of the large-scale circulation of the Skagerrak. *Jounal of Sea Research 35*, 9–21.

Rosenberg, R., Cato, I., Förlin, L., Grip, K. &, Rohde, J., 1991: Marine environment quality assessment of the Skagerrak–Kattegat. *Journal of Sea Research 35*, 1–8.

Rygg, B. & Thélin, I., 1993: Klassificering av miljøkvalitet i fjordar og kystfarvann. Kortversion. *SFT-veiledning nr 93:02*, 20 s.

SGU 2000: Maringeologisk karta over Göteborgs kommun. *Sveriges geologiska undersökning, kartdatabas*.

Sundborg, Å., & Norrman, J., 1963: Göta Älv. Hydrologi och morfologi med särskild hänsyn till erosionsprocesserna. *Sveriges geologiska undersökning Ca 43*, 88 s.

Svansson, A., 1975: Physical and chemical oceanography of the Skagerrak and the Kattegat. I. Open Sea Conditions. Fish. Bd. *Swedish Inst. Mar. Res., Report No. 1*, 88 s.

Geological Survey of Sweden
Box 670
SE-751 28 Uppsala
Phone: +46 18 17 90 00
Fax: +46 18 17 92 10
www.sgu.se

Uppsala 2006
ISSN 0349-2176
ISBN 91-7158-702-0
Tryck: Elanders Tofters, Östervåla