

SVERIGES GEOLOGISKA UNDERSÖKNING

SER. C.

Avhandlingar och uppsatser.

N:o 289.

ÅRSBOK 12 (1918): N:o 6.

OM JÄRNETS FÖREKOMSTSÄTT I
LIMNISKA AVLAGRINGAR

MED SÄRSKILD HÄNSYN TILL PYRITENS BILDNINGSG-
FÖRUTSÄTTNINGAR OCH UPPTRÄDANDE DÄRI

AV

EINAR NAUMANN

MIT 2 TAFELN

HIERZU EIN RESUMÉ IN DEUTSCHER SPRACHE



Pris 0,50 kr.

SVERIGES GEOLOGISKA UNDERSÖKNING

SER. C.

Avhandlingar och uppsatser.

N:o 289.

ÅRSBOK 12 (1918): N:o 6.

OM JÄRNETS FÖREKOMSTSÄTT I
LIMNISKA AVLAGRINGAR

MED SÄRSKILD HÄNSYN TILL PYRITENS BILDNINGSG-
FÖRUTSÄTTNINGAR OCH UPPTRÄDANDE DÄRI

AV

EINAR NAUMANN

MIT 2 TAFELN

HIERZU EIN RESUMÉ IN DEUTSCHER SPRACHE

STOCKHOLM 1919

KUNGL. BOKTRYCKERIET. P. A. NORSTEDT & SÖNER

185405

Järnet i dess olika former är som bekant av en mycket ingripande betydelse för flertalet av de limniska avlagringarnas grundstruktur. Dock är detsamma visserligen i allmänhet mera diffust utbrett i slammet och endast i undantagsfall koncentrerat till verkliga mineralförekomster. Av dylika äro de vanliga sjömalmera i form av järnoxid de enda, som inom vissa sjötyper förekomma i någon större mängd. Över huvud taget torde ävenledes i stort sett järnet i oxidform dominera inom de limniska avlagringarna. Då emellertid vissa typer av dessa sistnämnda dock äro att hänföra till en kraftigt reducerande eller åtminstone syrgasspärriad miljö, så kunna naturligen under dessa förutsättningar även andra järnföreningar uppstå, vilka i vissa fall t. o. m. avgjort måste dominera över den eljest förhärskande oxiden.

Ett närmare samband måste därför vara tillfinnandes mellan olika arter av limniska avlagringar samt däremot svärande förekomstsätt för järnet. I den på området föreliggande litteraturen saknas visserligen ingalunda detaljupplysningar angående förekomsten av olika järnföreningar i olika limniska avlagringar, men några mera allmänna synpunkter kunna näppeligen i och för bedömande av detta spörsmål utvinnas härav. Under senare år har jag emellertid ägnat hithörande frågor en mera ingående uppmärksamhet. I det följande skall jag därför lämna en kortfattad redogörelse för järnets förekomstsätt i vissa av mig studerade limniska avlagringar, varvid en särskild hänsyn kommer att tagas till den förut i detta sammanhang skäligen förbisedda pyritens bildningsförutsättningar och uppträdande. Av de limniska avlagringarna komma dock väsentligen endast de till nutidens sjöbottnar knutna att i det följande upptagas till närmare behandling. Klart är ju emellertid, att över huvud taget de limniska avlagringarnas principiella beskaffenhet härav måste framgå.

Jag anknyter därtill sedan en sammanfattande översikt över till olika avlagringstyper överhuvudtaget knutna järnförekomster. Detta senare dock i första hand som en allmän orientering över ännu föga utforskade frågor, vid vilkas lösning enligt min mening geologien i särskild grad måste samarbeta med limnologien för att därom ernå en i erforderlig grad mångsidig uppfattning.

I. Översikt över på området föreliggande litteratur.

Den första och f. ö. hittills enda sammanfattande framställningen över limniska avlagringar och deras genesis har lämnats av H. POTONIE 1908. POTONIE har därstädes meddelat en sammanfattande översikt över den äldre och mera betydelsefulla litteraturen angående de vanliga sjömalmernas uppträdande och bildningsförutsättningar — alltså järnet i oxidform — samt därtill — för första gången inom limnologien — i en större utsträckning upptagit frågan om svaveljärnföreningarnas förekomst i limniska avlagringar. En särskild uppmärksamhet ägnas därvid gyttjans — eller sappelets — halt av dylika bildningar, såväl i form av den finflockiga FeS som i gestalt av kulformiga konkretioner av FeS₂, pyrit. Dyns resp. dygyttjans järnförhållanden avhandlas emellertid icke alls.

Under det att järnets förekomstsätt i form av oxid inom *limniska* avlagringar varit bekant sedan mycket lång tid tillbaka, är däremot upptäckten av pyritens allmänna utbredning av ett ganska ungt datum, väsentligen härrörande från POTONIE själv. Liknande företeelser voro dock sedan länge kända från *marina* avlagringar. Sålunda beskrev BEHRENS redan 1873 från Östersjön i slammet påträffade pyritkuler, vilka iakttagits såväl i det fria slammet självt som också i döda algceller. RHUMBLER behandlade i själva verket betydligt senare (1892, 1894) i princip alldeles samma sak som BEHRENS — i hans specialfall den allmänna förekomsten av pyritkuler i döda skalrhizopoder, vilka förut från zoolo-

gisk sida misstolkats som cellulära organ; jfr f. ö. ävenledes v. BEMMELEN, SCHUCHT 1907. — Klassiskt är i viss mån ANDROUSSOW's arbete om sedimentbildningen i Svarta havet (l. c. 1897). Dock avhandlas här *icke* — vilket eljest ofta citeras i litteraturen — »mikropyrit»-förekomster i form av kulformiga aggregat. — En sammanfattning av den på hela detta område för marina avlagringar föreliggande litteraturen återfinnes hos ANDRÉE 1916—1917.

Betydelsefulla erfarenheter angående särskilt svaveljärnföreningarnas bildningsförutsättningar — särskilt med hänsyn till bakteriologiska frågor — härröra under senare år från den ryska limanforskningen och ha vid flera tillfällen sammanställts av R. DOSS; jfr ävenledes NADSON 1903, OMELIANSKY 1904—06. Principiellt sett erbjuda de naturligtvis — lika såväl som oceanografiska erfarenheter — även för limnologien ett betydande intresse. — Jfr härtill ävenledes den sammanfattande litteraturöversikt, som i limanfrågan lämnats av ANDRÉE 1916—1917.

Inom torvmosseforskningen upptäcktes de förut städse som »sporer» feltolkade pyritkulornas egentliga beskaffenhet först av FRÜH (1885). Åtskilliga år senare (1904) lämnade FRÜH och SCHRÖTER en sammanfattande översikt såväl över dessa företeelser som över »torvmineral» överhuvudtaget. Det synes härav framgå, att pyritbildningen i stort sett är begränsad till bättre och mera näringsrika torvslag, varemot den icke konstaterats i sämre, mera näringsfattiga.

Av sådan litteratur, som behandlar i nutiden försiggående avlagringar av andra järnföreningar än oxid- och svavelföreningar, bör särskilt nämnas VAN BEMMELEN (1900) och GÆRTNER (1898), vilka visserligen arbetat med limniskt mindre företrädde mineral, men vilkas erfarenheter dock i flera hänseenden även för våra uppgifter äro av stort intresse.

Vad slutligen beträffar sådana författare, vilka förut särskilt behandlat frågan om de fossila järnföreningarnas paralleller i nutidens avlagringar, så torde jag för oxidens och

karbonatets vidkommande särskilt kunna hänvisa till BEYSCHELAGS, KRUSCH's och VOGTS sammanfattande arbete (1913), vartill för svaveljärnföreningarna ytterligare kommer särskilt Doss' i flera hänseenden mycket intressanta utredningar, l. c. 1900, 1912 a och b. Jfr ävenledes POTONIE 1908, 1910.

Detta är i stora drag en exposé över den på området föreliggande litteraturen. Man saknar däri framförallt varje försök till en jämförande översikt över sambandet mellan olika slamtyper och järnets förekomstsätt i desamma. En dylik sammanställning skulle tvivelsutan bl. a. särskilt vara ägnad att ytterligare fördjupa vår uppfattning om de olika nutida avlagringstypernas biokemiska förutsättningar, varav vissa slutsatser tvivelsutan även skulle framgå angående forntida bildningars genesis. Utgående från nya undersökningar över järnets förekomstsätt i gyttje- och dyavlagringar skola vi i det följande göra ett första försök till en dylik sammanfattande översikt.

II. Översikt över de limniska sjöavlagringarnas grundtyper.

Med hänsyn till den grundläggande kemiska beskaffenheten kunna de limniska avlagringarna som bekant indelas i två stora grupper: å ena sidan de, där de oorganiska beståndsdelarna alldeles dominera, och å andra sidan de, där den organiska substansen bildar huvudmassan. Hänsynstages därvid endast till de verkligt grundläggande avlagringstyper, vilka utbreda sig över den totala sjöbotten, kan således i stort sett denna skematiska översikt uppställas.

1. Huvudmassan bildas av oorganiska beståndsdelar.

Gruppen är genetiskt sett skäligen heterogen och omfattar såväl autoktona som alloktona, minerogena såväl som organogena sediment. Med hänsynstagande särskilt till denna sistnämnda synpunkt torde i det här föreliggande sammanhanget härunder följande typer böra särskiljas.

1. Ler.

2. Kalk.

a) Minerogen, kemisk eller klastisk.

b) Organogen, antingen primärt sorterande under denna grupp eller först sekundärt framgången genom mineralisering eller överhuvudtaget diagenes av kalkhaltiga gyttjor.

3. Kisel.

a) Minerogen, klastisk.

b) Organogen, antingen primärt sorterande under denna grupp (t. ex. kiselgur på botten av djupa sjöar) eller först sekundärt framgången genom mineralisering eller överhuvudtaget diagenes av rikligt kiselsedimentförande gyttjor.

4. Järn.

Järnavlagringar av denna typ äro icke bekanta. Väl existera mycket järnrika gyttje- och dyavlagringar, men järnhalten dominerar dock aldrig över den organiska substansen — utom på begränsade litorala nivåer, där den oxidförande järngyttjans diagenetiska slutprodukt blir sjömalmen; eller ock uppkommer där en dylik malm redan primärt på annat sätt. — Då jag i ett under förberedning varande större arbete kommer att lämna en utförlig skildring av sjömalmens förekomstsätt och bildningsförutsättningar, ingår jag i den följande framställningen icke vidare på dessa litoralt specialiserade avlagringstyper.

5. Mangan.

Betydligt sällsyntare än järn men förhåller sig i övrigt på samma sätt. Varken järn eller mangan kan alltså bilda en för botten i dess helhet grundläggande avlagringstyp. Däremot förekomma bäggedera såsom ytterst karakteristiska insprängningar i andra, huvudsakligen av annat material uppbyggda bildningar samt därtill i form av litoralt specialiserade avlagringar såsom sjömalmer.

2. Huvudmassan bildas av organiska ämnen.

Genetiskt kan här utskiljas:

1. Gytjtjan, en typiskt limnoautokton bildning. Rik på höggradigt förruttelsekraftiga ämnen. Halt av mineral-salter riklig.

2. Dyn, en typiskt limnoallokton bildning. Rik på höggradigt resistent, under de givna betingelserna icke förruttelsekraftiga humifikationsprodukter. Halt av mineral-salter ytterst obetydlig.

Såväl gytjtjan som dyn uppträder i en serie profundala resp. litorala strukturvarianter, av vilka de sistnämnda föra över till torvbildningarna.

Begreppen gytjtja och dy — vilka ju representera i alla hänseenden, såväl genetiskt som biokemiskt, grundväsentligt skilda bildningar — måste med största skärpa hållas i sär från varandra. Av en särskild vikt är detta, som vi i det följande skola finna, vid en mera ingående diskussion angående de olikartade järnföreningarnas förekomst i dessa bägge olika arter av limniska avlagringar.

I den följande framställningen skola vi korteligen skärskåda de olika limniska sjöavlagringarnas grundtyper i deras förhållanden till det i desamma diffust utbredda järnet. Däremot är det, som redan i förbigående påpekats, icke vår avsikt att i detta sammanhang närmare ingå på frågan om de litoralt specialiserade sjömalternas förekomst och bildningsbetingelser.

III. Järnets förekomstsätt, särskilt i form av pyrit, i gytjtje-avlagringar.

1. Allmänna förutsättningar. Undersökningsmaterial.

Gytjtjan är, som jag förut (1917 a) utförligen klarlagt, en typiskt limnoautokton bildning, d. v. s. härledbar väsent-

ligen ur sådana sediment, som falla inom ramen för sjöarnas eget liv. Den uppstår överhuvudtaget endast i en relativt näringsrik miljö, och framförallt synes en viss kalkhalt erforderlig för de biokemiska processer, varav den typiska gyttjebildningen är beroende. Gyttjeförande sjöar saknas därför under normala förhållanden fullständigt inom urbergets kalkfattiga moränområden, varemot de typiskt uppträda inom ramen för slättlandets mera bördiga avlagringar.

Gyttjan är ofta nog i vått tillstånd mer eller mindre grå och består av en finflockig, övervägande grå men partiellt också svart, brun eller röd detritus av obestämbär härkomst med däri insprängda rester av mikroskopiska organismer, finare och grövre vävnadsfragment samt koprogena bildningar: den genom djurvärldens verksamhet »konsoliderade» detritus. De grövre vävnadsfragmenten dominera i litorala, de koprogena bildningarna däremot i pelagiska avlagringar. Denna grundläggande struktur upprepar sig överallt för typiska gyttjor. Skillnaden mellan dylika bildningar av olika härkomst ligger väsentligen i den kvantitativt resp. också kvalitativt växlande halten av rester av särskilt pelagiska organismers skelettbildningar.

Som material för undersökning över järnets förekomstsätt i den typiska gyttjan har jag valt en serie skånska sjöar: Börringesjön, Ellestadsjön, Fjällfotasjön, Havgårdssjön, Krageholmsjön, Snogeholmsjön och Sövdeborgsjön. Samtliga äro ganska grunda (Fjällfotasjön 2.5 m. och de övriga mellan 3.3—9 m.), och samtliga utmärka sig genom en mycket hög planktonproduktion. Den däri pelagiskt bildade gyttjans principiellt viktiga strukturföreteelser har jag förut i annat sammanhang (1917 b) demonstrerat. Med hänsyn till nutidsgyttjans närmare struktur kunna de uppdelas i två grupper.

A. Den pelagiskt bildade gyttjan har en relativt normal profundal fysiologi, d. v. s. de grövre vävnadsfragmenten spela i jämförelse med den finflockiga detritus en mindre påfallande roll.

B. Grövre (*litorigena*) vävnadsfragment dominera ävenledes i den pelagiskt bildade gyttjan.

Under gruppen A sortera samtliga sjöar utom Fjällfotasjön, vilken sålunda ensam här representerar gruppen B. Vad den finare strukturen beträffar, så äro samtliga dessa förstnämnda gyttjor i stort sett skäligen likartade: överallt dominerar den finflockiga detritus, oftast med en så avsevärd halt av cladocerskal, att man för samtliga sjöars — utom för Havgårdssjöns — vidkommande egentligen bör tala om en grå kitin-findetritus-gyttja; i Havgårdssjön föreligger rätt och slätt en grå findetritus-gyttja. Med hänsyn till rådande bildningsförutsättningar måste denna finflockiga detritus till väsentlig del härröra från planktonproduktionen och sannolikt i första hand från dess myxophycéer. Grå planktogen findetritus-kitin-gyttja blir alltså enligt min mening den lämpligaste beteckningen för en dylik avlagring. Även om densamma alltså genetiskt i första hand just beror av myxophycé-produktionen, så är den dock ingalunda identisk med vad WESENBERG-LUND (1901) — mindre korrekt — kallat Cyanophycé-gyttja. Denna — rätteligen myxophycé-gyttja — består nämligen till väsentlig del av strukturellt ännu påvisbara blågröna alger samt är till färgen svart. Inga av dessa karaktärer stämmer emellertid för de av mig undersökta Skånesjöarna. Gyttjans ytlager är där städse grått, och strukturellt påvisbara blågröna alger saknas alldeles. Om därför verkligen en »cyanophycé»-gyttja av angiven typ existerar, så måste den representera undantagsfall och bör alltså ingalunda uppföras som ett karakteristikon för den baltiska sjötypen. Sant är visserligen, att de blågröna algerna här jämte produktionen av mindre resistent plaktonformer i övrigt ofta nog är av en avgörande betydelse för bottenavlagringarnas närmare beskaffenhet; men den gyttja, som på detta sätt uppkommer, kan dock strukturellt icke betecknas som annat än en planktogen findetritus-gyttja, och beteckningen »cyanophycé»-gyttja vore fullständigt missvisande, såväl — framförallt — struk-

turellt som delvis också genetiskt. Om därför verkligen en gyttja existerar, som strukturellt och genetiskt — tvenne dessvärre i allmänhet sammanblandade synpunkter — kan förtjäna beteckningen myxophycé-gyttja enligt den av WESENBORG-LUND givna definitionen, så representerar denna en inom de baltiska sjöarna antagligen mindre allmänt utbredd bildning. Fastmera torde den ofta rikligt kitinhaltiga findetritusgyttjan därstädes i allmänhet dominera. Strukturellt erbjuder densamma, som redan förut framhållits, ofta inga mera resistent sediment, än just kitinet. Genetiskt är den i första hand att härleda såväl ur zooplankton som framförallt ur hela det ej resistent fytoplankton överhuvudtaget, varibland myxophycéerna antagligen ofta nog spela en dominerande roll.

Frånses Fjällfotasjön, så representera samtliga dessa avlagringar fullt typiska gyttjor av profundal typ, d. v. s. limnoautoktona bildningar av en övervägande planktogen härkomst. Man har alltså här att räkna med sediment av i hög grad förruttnelsekraftig typ, d. v. s. med möjligheten av en understundom övervägande reducerande bildningsmiljö. I gyttjans ytlager torde dock med hänsyn till det överallt konstaterade grå slamskiktet oxidationen vara förhärskande, varemot — som jag redan förut l. c. 1917 b närmare visat — reduktionen synes dominera först något djupare ned. Det är under hänsynstagande till dessa grundläggande företeelser klart, att vi i typiska gyttjeavlagringar måste räkna med järnförekomster på olika oxidationsstadier, men framförallt i form av svavelföreningar. — Av de exemplifierade sjöarna är Fjällfotasjöns gyttja något grövre och mera trådig. Den har alltså en mera litoral karaktär men avviker icke eljest från de andra sjöarnas med hänsyn till järnfrågan.

2. Undersökningsresultat.

Undersökas nytagna prov av typiska grå ytgyttjor under mikroskopet vid en förstoring av c:a 100 gånger och vid

öppen iris, så finner man i den övervägande grå grundmassan med dess findetritus, koprogena bildningar och kitinsediment även här och var andra färgnyanser, vilka redan vid första påseendet synas antyda närvaron av järn i olika typer: dels här och var, bland allt det grå, kolsvarta eller rödbruna koprogena bildningar eller vävnadsfragment och slutligen, kring-spridda här och var i synfältet, små svarta kulor av en eller annan hundradels mm:s diameter. — Försättes provet med svag saltsyra, försvinna momentant de svarta och röda färginslagen: den grå grundmassan blir kvar, och därtill de svarta kulorna. Underkastas provet den bekanta Berlinerblåttreaktionen,¹ så blåfärgas alla de ursprungligen rödbruna bildningarna; de svarta kulorna förbli oförändrade.

Detta är det principiella resultat, som alltid upprepar sig vid arbete med gyttjor av denna typ. Vi finna redan härav, vilken betydelsefull roll, järnet kan spela som ett allmänt »impregnationsmedel» för slammassan, särskilt i form av oxidföreningar, vilka framförallt anrikas i koprogena bildningar och vävnadsfragment. Slammans exempelvis ett gyttje-prov från dessa sjöar, så att endast koprogena bildningar och vävnadsfragment återstå, så befinnes städse en mycket avsevärd del härav färgad i rött eller mörkbrunt, och ofta nog uppträda i slammingsresten svarta eller rödbruna korn, vilka efter behandling med HCl resp. HCl + K₄(CN)₆ Fe visa sig vara intet annat än av järn i oxidform fullständigt överfällda koprogena bildningar, vävnadsfragment av högre växter, eller bitar av myxophycékolonier o. s. v. Sålunda anrikas på detta sätt järnoxiden städse i vissa bestämda element av gyttjan, och på detta sätt uppstår en obetydlig men spridd förekomst av en alldeles specifik »mikrolimonit». Det är av intresse

¹ Provet behandlas först — minst ett par timmar — med K₄(CN)₆ Fe 2 % och försättes därpå med HCl 5 %. Uppkomsten av en blå fällning av Fe₄ [(CN)₆ Fe]₃ — Berlinerblått — anger förekomsten *in situ* av Fe^{III}, d. v. s. ferriföreningar eller, vid våra arbeten, övervägande järnoxid eller dess hydrat.

Jfr i analystekniska frågor särskilt MOLISCH l. c. 1892, 1913.

att konstatera, i vilken utsträckning dessa företeelser faktiskt äro karakteristiska ävenledes för dessa baltiska sjöbottnar på dess olika nivåer, litoralt och pelagiskt, ehuru de där aldrig föra till en sjömalmsbildning i vanlig mening. Också är ju det härför erforderliga alloktona järntillskottet i detta fall merendels skäligen betydelselöst. — Det kan emellertid i förbigående påpekas, att även den egentliga sjömalmen till stor del uppstår genom dylika separata anrikningar av järn, om också den utflockade ockergyttjans koncentration kring vissa bestämda kärnor av mera kemiskt indifferent natur ävenledes spelar en mycket avsevärd roll härvidlag.

Av en väl så stor, resp. i vissa fall betydligt mera ingående betydelse med hänsyn till avlagringarnas allmänna fysionomi, är emellertid för den typiska gyttjan, och framförallt på dess pelagiska nivå, järnet i form av svavelföreningar. Med hänsyn till urmaterialets beskaffenhet och möjligheten av en fullständig syrgasspär, måste dessa särskilt i djupare lager under slamytan dominera. Detta är också fallet — dels i form av svartflockigt FeS , lösligt i syror och i proven snart nog övergående i $\text{Fe}(\text{OH})_3$, dels också i form av FeS_2 , till övervägande grad föreliggande i kulform. Den förstnämnda av dessa föreningar och dess betydelse inom vissa slamavlagringar, särskilt gyttjan, är sedan länge väl bekant (jfr t. ex. sammanställningen hos POTONIE 1908) och torde därför icke tarva någon mera ingående granskning i detta sammanhang: dess närvaro är överhuvudtaget den vanligaste orsaken till slamavlagringarnas svarta färg, såväl under limniska som marina förutsättningar. Pyritens uppträdande, särskilt i limniska avlagringar, är däremot föga känd och torde därför vara förtjänt av en mera utförlig uppmärksamhet.

Som redan förut framhållits, uppträder i gyttjan ofta nog en betydlig insprängning av små svarta kulformiga konkretioner av endast en eller annan hundradels mm. i diameter. De äro framförallt karakteristiska för rester av kitinskelett — en sedimenttyp, vilken f. ö. — jämte vävnadsfragment

och koprogena bildningar — synes utmärka sig genom sina särskilda förutsättningar för en härtill anrikad utfällning av järn på dess olika oxidationsstadier. Sålunda äro dessa sedi-

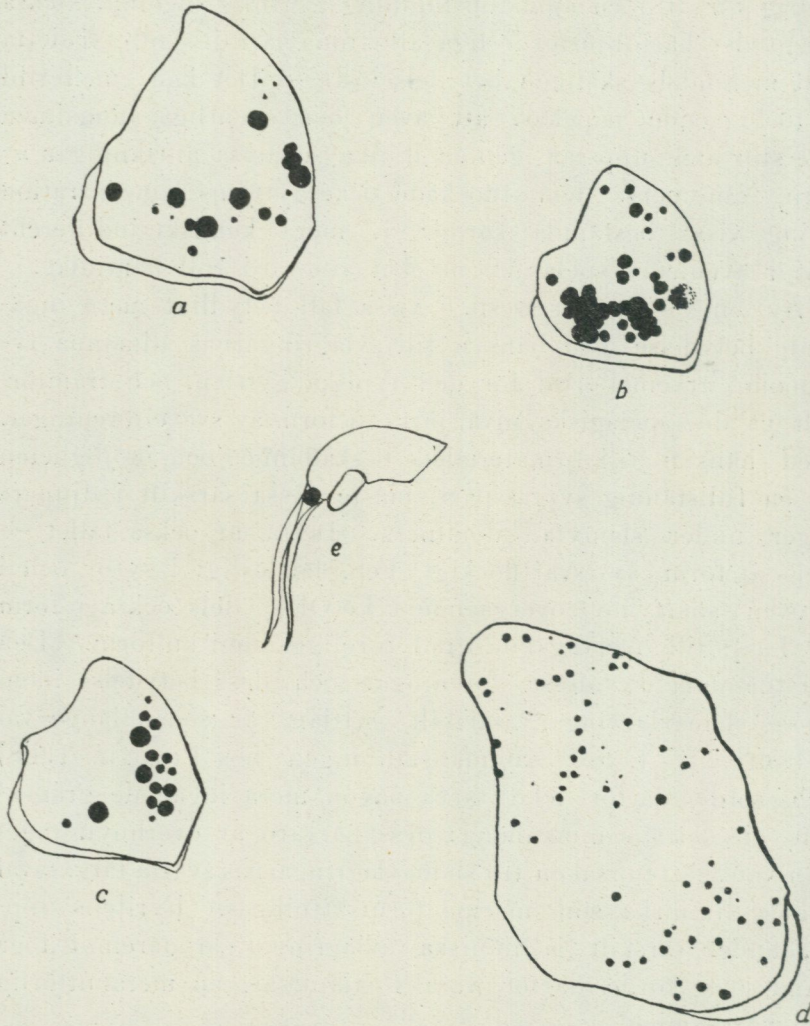


Fig. 1. Skelettdelar (kitin) av pelagiska cladocerer från skånska sjögyttjor, rikligt besatta med kulformiga pyritkonkretioner.

Fig. a—d representera ryggsköldar av typiskt baltiska *Bosminer*; a—c tillhörande typen *B. Coregoni*, d *B. Coregoni-gibbera*. Fig. e visar huvudsköld med kvarsittande första antennparet resp. basaldel av det andra. — Förstoring = ca. 100 gånger.

ment inom urbergsområdenas sjöar merendels alldeles brunröda, men i gyttjeavlagringar därtill merendels rikligen besatta med dessa små kulformiga konkretioner, vilka också förläna de särskilt i gyttjan rikligt företrädda cladocerskalen en säregen fysionomi. Några karakteristiska bilder av denna typ äro reproducerade på motstående fig. 1.

Dessa kulformiga, i genomfallande ljus kolsvarta konkretioner, torde utan vidare kunna tolkas som FeS_2 och pyrit.

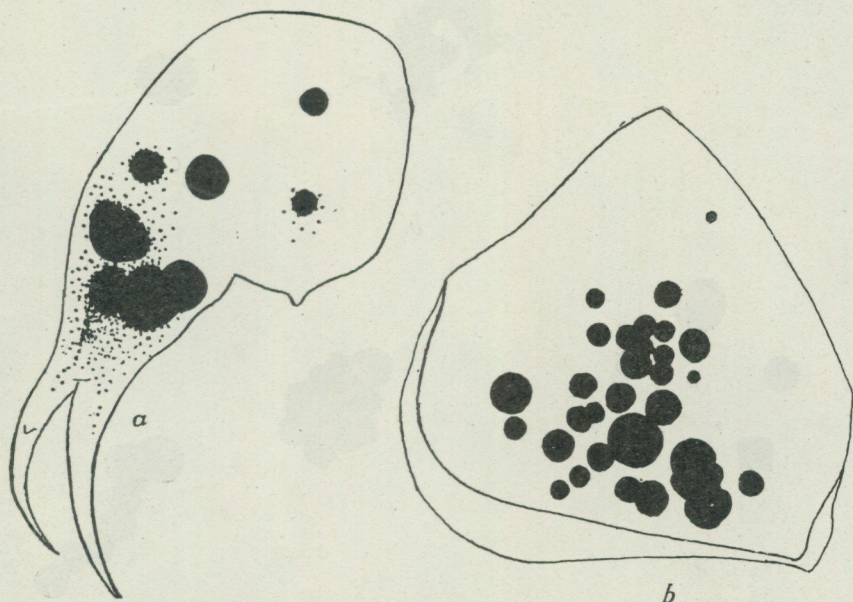


Fig. 2. Skelettdelar (kitin) av pelagiska cladocerer från skånska sjögyttjor, rikligt besatta med pyrit i kulformiga konkretioner, dels färdiga, dels ännu i bildning ur en svart, fingranulerad grundmassa.

Båge figurerna representera en *Bosmina* av typen *B. Coregoni*, a huvud-, b ryggskölden. — Förstoring = ca. 300 gånger.

I motsats mot den svarta flockigheten av FeS äro de ytterst resistent gentemot förvittring och hålla sig enligt mina erfarenheter årtal igenom fullständigt intakta, såväl i mikroskopiska preparat som i provburkar.¹ De äro vidare

¹ Mina erfarenheter i denna fråga gå dock ej längre tillbaka än till hösten 1915, då jag vid mina bottenundersökningar på skånska sjöar först lärde känna dessa egenartade bildningar. Lättvittrande föreningar kollabera ju emellertid redan efter dagar eller veckor, vadan det torde vara fullt tillåtligt, att efter årslånga erfarenheter uttala sig i resistensfrågan som skett.

mycket motståndskraftiga gentemot syror: angripas ej alls av HCl, varemot de lätt kollabera för HONO₂. Utsätts kulorna för ett svagt tryck under täckglaset, kollabera de till små svarta granulationer av merendels endast en μ eller mindre i diameter; jfr fig. 3. Vid närmare undersökning



Fig. 3. Pyritens olika förekomsttyper i recenta sjögyttjor, från den fingranulerade grundmassan till väl utbildade kristaller och kulor resp. aggregat därav.

De olika bilderna här visa:

- a) Den fingranulerade grundmassan före konsolideringens början.
- b) Kulformiga konkretioner utdifferencieras ur den fingranulerade grundmassan.
- c) Tvenne snart färdigbildade kulor.
- d) Färdigbildade kulformiga konkretioner resp. kuber.
- e) Druvformigt aggregat av kulor.
- f) Pärlbandformig sammanväxning av kulor.

befinnas de kulformiga konkretionerna också erbjuda en svagt facetterad yta, redan utan vidare antydande deras uppkomst ur en fingranulerad grundmassa. I själva verket framträder en dylik massa av fina svarta granulä ytterst

vanligt i gyttjans olika sediment, och det vållar ingen svårighet att ur den morfologiska undersökningen rekonstruera kulorna som en i den svarta grundmassan genomförd konkretionsbildning. Man finner vidare — om också endast mera sällsynt — att förekomsten av dessa svarta granulationer och kulformiga konkretionstyper på olika utbildningsstadier i själva verket ävenledes är kombinerad med förekomsten av kubiska kristaller, vilka erbjuda en därmed över-

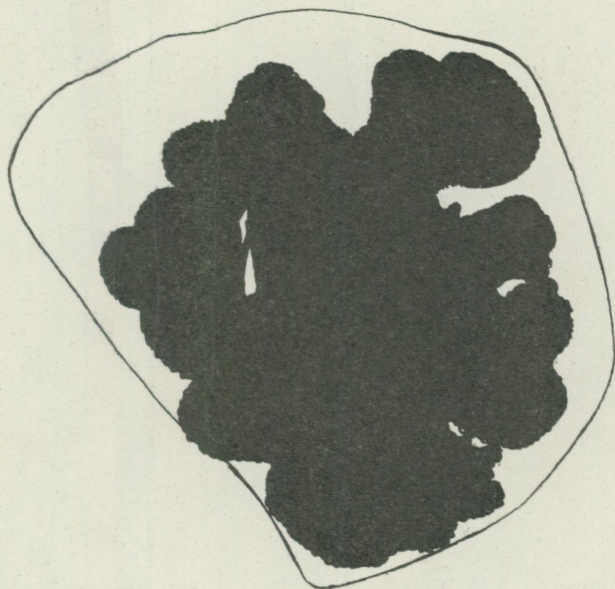


Fig. 4. Ryggsköld från en skånsk sjögyttja av en pelagisk *Bosmina* av typen *B. Coregoni*, uppfylld av pyrit. — Förstoring ca. 300 gånger.

Den utpräglad druvlika strukturen visar i detalj pyritskorpans uppkomst av sammanvuxna kulformiga konkretioner.

ensstämmande kemisk karaktär. Jag har på motstående fig. 3 lämnat en skematisk framställning över de föreliggande bildningarnas olika förekomstsätt i gyttjans sediment. Ur koexistensen av dessa formtyper, granulär, kulformiga konkretioner och kubiska kristaller — resp. ur deras överensstämmelse med hänsyn till prövade järnreaktioner — finner jag det fullt berättigat att överhuvudtaget beteckna

samtliga dylika bildningar som pyrit. Detta så mycket mer, som varje tanke på att kulorna till någon del skulle kunna anses representera eventuella mellanstadier $\text{FeS} \rightarrow \text{FeS}_2$ (jfr Doss 1912 b) måste anses vara utesluten med hänsyn till deras förhållande till HCl . Ävenledes synes mig tanken på deras

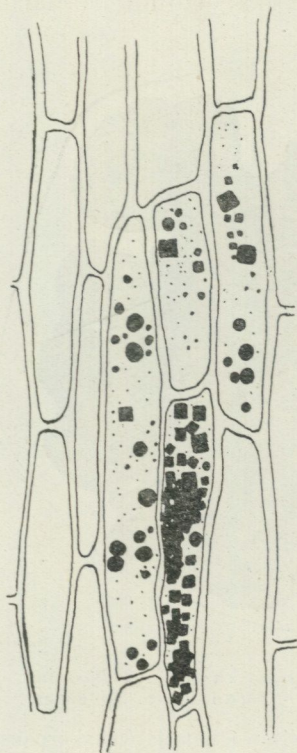


Fig. 5.

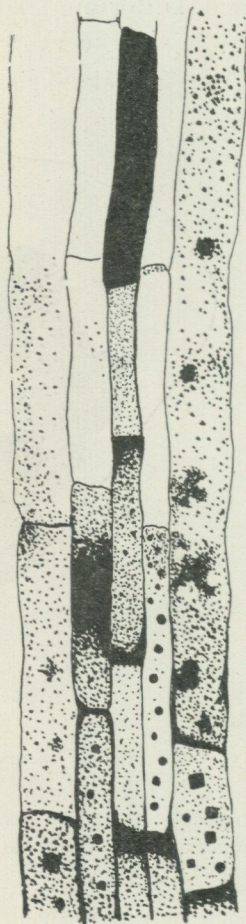


Fig. 6.

Fig. 5 och 6. Vävnadsfragment av fanerogama växter från skånska sjögyttjor.

Cellerna med riklig pyrithalt i olika utbildningsformer. Först. ca. 200 gånger.

Fig. 5. Kulformiga koncretioner dominera jämsides med kubiska kristaller, vilka i en cell äro så massvis förhånda, att lumen därmed alldeles utfylles.

Fig. 6. Den svarta granulerade grundmassan dominerar alldeles, i ett fall föranledande en kontinuerlig hålrumutfyllning, eljes konsoliderande sig i form av ett mindre antal, väl markerade kulformiga aggregat.

delvisa identitet med markasit omöjlig, såväl med hänsyn till konstaterad resistens, som ock därför, att några för markasiten karakteristiska kristalltyper aldrig påträffats i koexistens med de svarta granulationerna eller kulorna. Jag finner denna tolkning ytterligare bekräftad genom hänvisning till likartade erfarenheter från marina avlagringar. Jfr härtill särskilt RHUMBLER 1892, 1894, vilken också haft tillfälle underkasta dylika kulor en mera ingående kemisk undersökning och därvid städse fastställt deras pyritkaraktär.

Pyriten i granulerad, kul- eller kubform förekommer till någon del redan fritt i slammassan. Vanligen uppstår den dock inne i vissa bestämda sediment, genom vilkas sönderfallande den antagligen först sedan blir »fri». Särskilt cladocerernas kitinskal synas därvid, som vi redan förut framhållit, erbjuda en mycket lämplig bildningsmiljö för dessa pyritavlagringar, och dylika med pyritkulor rikligt besatta cladocersköldar representera överhuvudtaget också ett karakteristikon för den typiska gyttjan. Understundom flyta dessa kulor samman till större aggregat, vilka i sällsynta undantagsfall — ett dylikt är framställt i fig. 4 — som druvklasformiga bildningar faktiskt fullständigt uppfylla hela skalet. Av de små granulationerna har här alltså blivit en även makroskopiskt synlig pyritskorpa, vilken dock först vid mikroskopisk undersökning resp. i jämförelse med vad som nu är känt angående pyritens bildningssätt och förekomsttyper i gyttjan förräder sin egentliga natur.

Pyriten i dess olika former förekommer vidare mycket allmänt i fragment av fanerogama växtvävnader, i vilkas celler de kulformiga konkretionernas uppkomstsätt ur den fingranulerade grundmassan ävenledes kan med lätthet fastställas. Egendomligt nog har jag i dessa bildningar mera allmänt än någonstades annars påträffat pyriten i form av väl utbildade, kubiska kristaller. Ett karakteristiskt preparat av denna typ har avbildats i fig. 5. Dylika pyritbildningar uppträda emellertid därtill så gott som i alla andra sedimenttyper, i celler av kisel- och grönalger — man bemärke

särskilt de för baltiska gyttjor så karakteristiska *Pediast-rerna* — i sporer av de allestädes närvarande *Chrysomona-derna*, i tomma rhizopodskal, inne i koprogena bildningar osv. — snart sagt överallt, där man i särskild utsträckning kan förutsätta närvaron av en förruttnelsekraftig organisk substans. POTONIE (1908) har redan förut såsom den ende beskrivit dylika bildningar i limniska avlagringar¹ och man finner ävenledes på hans avbildningar av typiska gyttjor (t. ex. l. c. fig. 14, 15) — egendomligt nog av förf. oanmärkta — pyritkolor i döda *Pediastra*, kulaggregat i *Bosmina*-sköldar o. s. v.

Emellertid förekommer pyriten ävenledes i en annan form än som kulformiga aggregat: nämligen som en total utfyllnad av cellulära hålrum. Liknande är känt inom torvgeologien (FRÜH 1885, FRÜH und SCHRÖTER 1904) samt från oceanografien (BEHRENS 1873 och RHUMBLER 1894, 96 o. s. v.). Jag har ävenledes på fig. 6 avbildat ett vävnadsfragment av någon fanerogam växt, i vars celler man finner en fullständig provkarta på olikartade pyritbildningar i såväl kuber som kulor, de senare typiskt i bildning genom granulatio-nernas sammanflytande. Därtill ett fint präcipitat av olika grovlek, vilket i ett fall tättnar till en kontinuerlig hålrumsutfillnad. Ett dylikt förekomstsätt är ingalunda sällsynt, om också ej på långt när så vanligt, som de allestädes närvarande kulformiga aggregaten. På tavlan II fig. a—b har jag meddelat en fotografisk illustration till dessa företeelser: å ena sidan en kompakt utfyllning av vissa parenkymatiska celler, å andra sidan av vissa trakeidala element,

¹ En limnolog, vilken sannolikt mer än de flesta haft tillfälle att arbeta med avsevärt pyrithaltiga gyttjor, är WESENBERG-LUND. Dock nämner han om dessa bildningar intet i sitt arbete l. c. 1901, och man måste alltså i första hand räkna med den möjligheten, att han skulle kunna ha förbisett dessa väl markerade och i baltiska gyttjor ofta ymnigt förekommande bildningar. Med hänsyn till det av honom meddelade — f. ö. mycket begränsade — illustrationsmaterialets oändamålsenliga framställning och reproduktion (l. c. tavl. 3) är det dock ävenledes med stöd därav omöjligt att med säkerhet uttala sig om närvaron av pyrit eller ej i dessa preparat.

tillhörande ledningsvävnaden. Särskilt denna sistnämnda utbildningstyp är av stort intresse, ty man konstaterar här, hurusom pyritmassan representerar en med fullständig precision genomförd avgjutning av det i detta fall ganska komplicerade hålrummet med dess porgångar o. s. v.: alltså ett fullständigt analogon till en typisk fossilifieringsprocess med svavelkis som utfyllande agens. — Bildningar av denna sistnämnda typ synas överhuvudtaget endast sällan ha blivit iakttagna, tydligen aldrig i recenta, men väl understundom i fossila avlagringar. Sålunda har DEECKE 1907 i sin uppsats »Diatomeenkieskerne im paleocänen Tone Greifswalds» beskrivit fullständiga avgjutningar av kiselalger i ett svaveljärnmineral, genomförda med en sådan precision, att de numera bortlösta skalens finare struktur med stor fördel kunde närmare mikroskopiskt studeras på avgjutningen. Då emellertid dessa järnkärnor mycket snart vittrade sönder, ha de enligt min mening tydligen ej bestått av pyrit, utan antagligen antingen av markasit eller något pyritens förstadium på vägen $\text{FeS} \rightarrow \text{FeS}_2$. De sistnämndas relativt lätta vittringsförmåga är känd bl. a. genom undersökningar av DOSS, l. c. 1912 b. Klart är, att dylika cellavgjutningar i mineral — var till ett analogon är känt inom den botaniska mikrokemien i form av käril- och trakeidutfyllningar i kärnved hos vissa träd genom kalciumkarbonat; jfr MOLISCH 1913 — ävenledes på ett annat sätt, än genom cellväggarnas kemiskt betingade upplösning, kunna utslammas i avlagringarnas grundmassa: nämligen genom det tryck, som den i bildning varande massan utövar på membranen. Jfr härtill ANDRÉE 1912.

Med det anförda är pyritens vanligare förekomsttyper i våra typiska gyttjor korteligen beskriven. Sannolikt förekomma i dessa avlagringar därtill även en serie övergångstyper $\text{FeS} \rightarrow \text{FeS}_2$, vilka antagligen även kunna uppträda i kulform och granulationer resp. som hålrunsutfyllnader. Deras egentliga art är emellertid, som lätt inses, icke utan vidare direkt mikroskopiskt-morfologiskt bestämbar. Samma är förhållandet med markasiten, om vilken man f. ö. ej ens vet,

huruvida den kan uppträda i limniska avlagringar. Dessa bägge företeelser ha vi därför tills vidare lämnat åsido. En stor principiell betydelse måste vi emellertid tillägga närvaron av järnsvavelföreningar i gyttjan, särskilt i form av pyrit, av vars definitiva konstaterande ju i själva verket ävenledes följer närvaron såväl av FeS som vissa övergångsstadier till FeS_2 .

Förekomsten av svaveljärnföreningar och framförallt pyrit, särskilt i form av kulformiga konkretioner, är alltså att betrakta som ett ytterst påfallande karakteristikon för den typiska gyttjan överhuvudtaget. I denna riktning talar såväl mina i det föregående refererade speciella erfarenheter från Skåne, som ock POTONIÉS från Nordtyskland, i vars sjöar ävenledes jag själv (1915) ofta nog påträffat pyritförekomster av för Skånesjöarna karakteristisk typ. Limnologiskt sett torde alltså pyritens »baltiska» uppträdande få anses bevisat; dock saknas från Danmark hittills varje erfarenhet i denna riktning. — Pyriten uppträder, som i det föregående påpekats, redan i ytlagret av gyttjan, men den når dock jämlikt mina erfarenheter sin största frekvens först på något djup därinunder — där redan den svarta färgen hos profilproppen antyder den egentliga reduktionszonens närvaro. Sannolikt anhopas på detta sätt under århundradenas lopp ganska betydliga förekomster av denna resistent svaveljärnförening, vilken, om den överlever den organiska substansens sönderdelning tydligen som diagenesens sluteffekt måste framträda i en avsevärd anrikning. Den nutida bildningsprocessen har i varje fall inom många äldre formationer sina paralleller.

Vad svaveljärnföreningarnas närmare bildningsprincip beträffar, så ha vi redan i det föregående framhållit, att grundförutsättningen naturligtvis är närvaron av förruttelsekraftiga ämnen i en reducerande miljö — alltså något som också gyttjan med hänsyn till sina allmänna förutsättningar måste erbjuda. Massan av organisk substans i form av protoplasma o. s. v. måste alltså här genomgå en sannolikt

övervägande bakteriell sönderdelning, varvid genom förruttelsebakterier städse H_2S måste produceras. Det allestädes närvarande järnet överföres härigenom i FeS eller närstående föreningar, vilka efter många mellanstadier slutligen hanna som FeS_2 , pyrit. En annan källa till H_2S -produktionen är framförallt att söka i förekomsten av sulfatreducerande bakterier, genom vilkas livsverksamhet H_2S direkt produceras, som sedan går vidare i kretsloppet i likhet med det vid äggvitesönderdelningen bildade. Samtliga dessa bakterier — vilka särskilt studerats vid den ryska limanforskningen, varöver man jämföre NADSSON 1903 och referaten hos DOSS 1900, 1912, ävensom OMELIANSKY 1904-1906 — äro dessvärre icke morfologiskt påvisbara. Så är emellertid förhållandet med en annan grupp, *Beggiatoerna*, vilka enligt min erfarenhet allmänt uppträda i pyritens bildningsmiljöer. Dessa oxidera emellertid H_2S och kunna alltså endast betraktas som indikatorer på närvaron av denna gas, vilkens produktion beror av andra, sannolikt dock övervägande mikrobiologiska faktorer. Med pyritens, lika så väl som med andra svaveljärnföreningars bildning, ha de därför intet att skaffa.

Det framgår av våra undersökningar, att redan gyttjans egen biokemiska beskaffenhet är fullt tillräcklig för att förklara pyritbildningens inträdande, och att man icke nödvändigtvis behöver förutsätta en O_2 -spärr genom överlagrande, H_2S -rikt vatten. Den vanliga förekomsten av *Beggiatoa* i gyttjans ytlager indicerar nämligen en kontakt mellan två zoner: den av H_2S resp. den av O_2 karakteriserade. Sålunda har man i dessa fall faktiskt i ytlagret just en kontakt mellan den reducerande slammiljön och det oxiderande bottenvattnet — en företeelse, som också utan vidare torde förklara den samtidiga närvaron av såväl $Fe(OH)_3$, FeS och FeS_2 i ytlagret. — Föreligger däremot ett O_2 -fritt, H_2S -rikt bottenvatten, så är antagligen förekomsten av *Beggiatoa* i bottenlammet omöjlig, och svaveljärnföreningarna måste absolut dominera. Dylika förhållanden äro kända från vissa inlandhav — Svarta havet, en del limaner o. s. v.; jfr LE-

BEDINZEFF 1905 — ävensom från havsfjordar — jfr litteratursammanställningen hos GAARDER 1915-1916 — men representera inom sötvattnet endast undantagsfall, bl. a. studerade av LEBEDINZEFF. Jfr härtill också SONDÉN 1912. THIENEMANN har helt nyligen (1918) lämnat en systematisk översikt över olika sjötyper, såsom de kunna grupperas efter en eventuellt befintlig termisk och respirationsbiologisk skiktning. Dock ha slamavlagringarnas antagligen i samband härmed varierande struktur härvidlag icke upptagits till närmare granskning. En mera detaljerad skildring av dessa frågor i överensstämmelse med de nya synpunkter angående bottenvattnets biologi, som THIENEMANN l. c. närmare framlagt, torde därför vara att betrakta som högeligen önskvärd.

Som vi i det föregående funnit, är förekomsten av svavelbakterier och svaveljärnavlagringar mycket utbredd även i fullt naturliga slamavlagringar. Att dessa företeelser ytterligare måste skärpas vid förekomsten av vissa kulturellt betingade föroreningar är självklart. Våra fynd från fullt naturliga slamavlagringar torde emellertid vara ägnade att föranleda en större försiktighet vid tillämpningen av dessa företeelser såsom indikatorer på en förutgången förorening.

Några närmare undersökningar över bakterielivet på våra normala sjöbottnar föreligga dessvärre ännu icke, och det är därför också alldeles omöjligt att här närmare överblicka de mikrobiologiska faktorerna under normala förutsättningar överhuvudtaget. Att dylika spela en grundväsentlig roll för uppkomsten av järnets svavelföreningar är visserligen att döma av erfarenheter från helt andra lokaltyper med därvid föreliggande pyritbildning ganska antagligt. Själva den slutgiltiga konkretionsbildningen — såsom vi här utrett densamma — torde visserligen vara att betrakta som en rent kemisk-fysikalisk företeelse. Så torde ock vara förhållandet med den slutgiltiga gestaltningen även av andra järnmineral, såsom t. ex. sjö- och myrmalmer. Men för skapandet av själva den grundläggande bildningsmiljön — om oxiderande eller reducerande — torde de mikrobiologiska faktorerna ofta nog

vara av en rent av grundläggande betydelse. För ett närmare bedömande av dessa ännu föga uppmärksammade frågor erfordras dock framförallt nya rent limnologiska undersökningar, utsträckta till bottenavlagringarnas mikrobiologi överhuvudtaget. Att dessa skulle ha sin geologiska betydelse är självklart; men tvivelsutan skulle därtill även många rent fiskeripraktiska frågor i stor utsträckning befordras genom dylika arbeten, vilkas utförande därför torde böra betraktas som högst önskvärda.

IV. Järnets förekomstsätt i avlagringar av dy och dygyttja.

1. Allmänna förutsättningar. Undersökningsmaterial.

Dyn är, som jag förut (1917 a) utförligen klarlagt, i dess typiska form en utpräglad limnoallokton bildning, d. v. s. uteslutande härledbar ur ett sådant urmaterial, vilket faller utom ramen för sjöarnas eget liv. Den uppstår överhuvudtaget endast i bruna humusvatten, och där genom sedimentering av de brunfärgade humifikationsprodukter, vilka av tillflödena dittransporterats från kringliggande marker. Dyförande sjöar äro därför särskilt karakteristiska för våra vidsträckta kalkfattiga urbergsområden.

Dyn är i dess typiska form alltid brun och består av en finflockig detritus med däri insprängda rester av mikroskopiska organismer, finare och grövre vävnadsfragment samt koprogena bildningar. Liksom i gyttjan dominera de sistnämnda i pelagiskt, de förstnämnda däremot i litoralt bildade avlagringar. Denna principiella grundkaraktär varierar från sjö till sjö genom den olika beskaffenheten av de planktoga mikrosedimenten. Ernå dessa en mera väsentlig betydelse framträder avlagringen snarast som en övergångsform till gyttjan, som en dygyttja.

Som material för undersökning över järnets förekomstsätt i dy och dygyttjor har jag valt en serie syd- och mellansvenska urbergsvatten, sammanlagt ett 40-tal. Sjötypens

allmänna livsförutsättningar, planktologi och bottenbeskaffenhets har jag förut utförligen beskrivit och begränsar mig därför härvid till en hänvisning till min framställning härom, l. c. 1917 a. Det torde emellertid i detta sammanhang böra särskilt framhållas, att dyn även med hänsyn till sina av dess genesis beroende biokemiska förutsättningar grundväsentligt avviker från gyttjan: å ena sidan (gyttjan) en avlagring av ett i hög grad förruttelsekraftigt organiskt material, vars mikrobiologiska bearbetning måste i hög grad gynnas genom riklig tillgång på erforderliga närsalter, å andra sidan (dyn) en anhopning av en högeligen resistifierad organisk substans, vars sönderdelning på mikrobiologisk väg måste i väsentlig mån hämmas genom den allmänna elektrolytfattigdomen. De biokemiska förutsättningarna äro alltså grundväsentligt olika, och man måste därför tydligt redan vid första påseendet förutsätta ett helt olikartat förekomstssätt för järnet i dessa olika bildningsmiljöer. Att så ävenledes är fallet skall i det följande visas. Dygyttjan överensstämmer i princip med dyn med hänsyn till det gyttjebildande materialets ringa betydelse i förhållande till det dybildande resp. dess kvalitativa art. Det är därför härvidlag särskilt kiselbildningar, men aldrig mera förruttelsekraftiga sediment, såsom myxophycéer, vilka i någon större utsträckning komma i fråga.

2. Undersökningsresultat.

Undersökas nytagna prov av de typiska mörka dyavlagringarna under mikroskopet vid en förstoring av c:a 100 gånger och vid öppen iris, så finnes den grundläggande färgtonen här vara en helt annan än i den grå gyttjan: allt framträder nämligen här i en gul-svartbrun nyans, såväl den flockiga findetritus, som också koprogena bildningar och vävnadsfragment. Väl utmärka sig särskilt de sistnämnda bildningarna ofta genom en mera intensiv färgning i brunt — stundom i en nästan svart nyans — men överhuvud-

taget är dock den bruna färgtonen förhärskande. De svarta kulorna, i viss mån gyttjans karakteristik, saknas praktiskt taget fullständigt. — Försättes provet med saltsyra, så blir den bruna färgen i stort sett trots allt bestående. Verkställes emellertid Berlinerblåttreaktionen, så färgar sig ofta nog hela massan i en ytterst svagt blå nyans, varemot koprogena bildningar och vävnadsfragment dock vanligen framträda med en ytterst kraftig blå färg.

Detta är det principiella resultat, som alltid upprepar sig vid arbete med typiska dyavlagringar resp. dygyttjor. Vi finna härav, att den härstädes förhärskande gula färgtonen väsentligen beror av den specifika humifikationsprocess, som den organiska substansen inom dessa områden genomgår. Järnet spelar ju emellertid även här en mycket betydelsefull roll som ett allmänt »impregnationsmedel» för slammassan i dess helhet, synbarligen uteslutande i form av oxidföreningar, vilka särskilt befinnas koncentrerade till koprogena bildningar och vävnadsfragment. Liksom i gyttjan kan denna anrikningsprocess även här leda till uppkomsten av en typisk, över hela sjöbottnen fördelad »mikrolimonit». Den egentliga, större sjömalmen är däremot — där den överhuvudtaget förekommer — städse begränsad till de litorala nivåer, där det alloktona järntillskottet är rikast.

Vi finna alltså, att järnet inom dy och dygyttjor konsekvent synes dominera i oxidform. Svarta pyritkulor saknas visserligen icke alldeles utan kunna fastmer nästan överallt i undantagsfall anträffas, men alltid enstaka, i en ytterst obetydlig mängd, särskilt på cladocerskal. Förekomsten av dylika bildningar är här emellertid så obetydlig, att de praktiskt taget icke spela någon som helst roll. Då nu vidare pyritens förekomst tydligen måste sammanhånga med en primär utbildning av FeS och andra dess förstadier, så är det tydligen genom den konstaterade, praktiskt taget totala frånvaron av pyrit utan vidare också bevisat, att svaveljärnföreningar överhuvudtaget icke kunna ernå någon nämnvärd betydelse varken för dyn i dess typiska form eller för den härmed närstående dygytt-

jan. Mellan dessa avlagringar å ena sidan och gyttjan å den andra föreligger alltså med hänsyn till järnets förekomstsätt en mycket påfallande skillnad: i ena fallet dominerar oxiden, i det andra är det däremot fastmer svavelföreningarna — och i första hand pyriten — som i detta hänseende ge avlagringen dess karaktär.

Tydligen befinner sig denna företeelse i fullaste överensstämmelse med den uppfattning angående gyttjans resp. dyls allmänna livsförutsättningar, vilken vi förut utvecklat. Ökologiskt sett är alltså denna fråga nu ganska klar, men för en mera ingående utredning av dess närmare detaljer erfordras dock ännu ytterligare undersökningar, naturligtvis framförallt på det mikrobiologiska området. Möjligen ligger en av de utslagsgivande orsakerna just i dyavlagringarnas i jämförelse med gyttjornas överhuvudtaget obetydliga bakterieflora. Emellertid har jag även undersökt sådana dybildningar, som stått i kontakt med H_2S -förande bottenvatten, utan att i desamma påträffa någon pyrit, men väl en viss halt av oxiderat järn i den gulbruna findetritus. Detta synes ju antyda, att pyritbildningen även regleras av helt andra, ännu okända företeelser, bland vilka särskilt primärmaterialets FeS -bildningsmöjligheter i dyavlagringarna torde böra tagas i betraktande. Den möjligheten kan ju alltid föreligga, att dyavlagringarna i stort sett helt enkelt omöjliggöra uppkomsten just av FeS , vadan således även en pyritbildning här ej är tänkbar. Hur härmed egentligen förhåller sig, torde böra förbehållas kommande undersökningar att utreda. Så mycket är emellertid säkert, att i stort sett karakteriseras gyttjan genom pyritförekomster, varemot dyavlagringarnas förnämsta järnbiologiska karaktär just ligger i pyritens frånvaro, åtminstone i alla vatten med normal respiration. Huruvida pyrit genomgående ej ens bildas vid föreliggande frånvaro av syrgas i det ovan botten stående vattnet, få kommande undersökningar utvisa — det blir sedan ett spørsmål av rent kemisk natur att klarlägga de i detta sistnämnda fall tillsynes svårförklarliga orsakerna.

V. Översikt över järnets olika förekomstsätt i limniska avlagringar.

Vi ha i det föregående närmare beskrivit de olika järntyper, som uppträda i den typiska gyttjan, dygyttjan och dyn: å ena sidan en kombination av oxid med (ofta övervägande) svavelföreningar, å andra sidan däremot väsentligen oxiden, praktiskt taget icke kombinerad med svavelföreningar av någon art. Den allmänna kännedom, som härvid ernåtts angående de olika förekomsttypernas bildningsförutsättningar, synes oss i själva verket fullt tillräcklig, för att med stöd härav meddela en allmän översikt över järnets förekomstsätt i limniska avlagringar överhuvudtaget. Det är ju nämligen av det föregående utan vidare klart, att järnet i oxidform måste ernå en mycket vidsträckt utbredning i alla de fall, där den grundläggande avlagringen icke i och för sig erbjuder en reducerande miljö resp. en fullständigt genomförd O_2 -spärr. Är däremot detta fallet, då måste också järnet som svavelförening dominera eller också, — redan vid en genomförd syrgasspärr — föreligga i andra former. Innan jag övergår till att från dessa förutsättningar meddela en översikt över »limniska avlagringstyper och järntyper» har det emellertid synt mig lämpligt, att här nedan i korthet — delvis som en sammanfattning av det i det föregående mera utförligt avhandlade — sammanställa de viktigaste data angående de järnföreningar, som redan äro kända från limniska avlagringar resp. vilkas uppträdande i desamma måste förutsättas:

1. Järnet som oxid resp. -hydrat.

Kemiskt olikartade föreningar. Vi ha dock ej anledning att närmare ingå härpå, utan torde vi för våra ändamål kunna behandla samtliga hithörande föreningar av typen oxid, oxidhydrat o. s. v. överhuvudtaget.

Bildningsförutsättningar. En oxiderande miljö, sådan denna merendels är realiserad i slamavlagringarnas ytlager. — Mikroorganismer sannolikt här utan betydelse.

Utbredning. Erbjuder jämlikt mina äldre undersökningar framförallt i gyttje- och dyavlagringar en mycket utbredd förekomst, framförallt anrikat i fragment av växtvävnader och koprogena bildningar ävensom till någon del i kalkavlagringar. — Särskilt karakteristiska för den nordeuropeiska sjötypens djupdygyttja, vars bruna färg såväl beror av humifikation, som ock av det härstädes överallt även diffust utbredda järnet. — Litoralt specialiserad massförekomst i sjömalmer.

Reaktioner och andra igenkänningstecken. Framträder mikroskopiskt som gula eller bruna flockar resp. som ett gult eller brunaktigt impregnationsmedel i växtvävnader o. s. v. Löses i svag HCl; berlinerblåttreaktionen positiv.

2. Svavelföreningar.

Av järnsvavelföreningar äro ett ganska stort antal beskrivna, dels tillhörande typen FeS, dels FeS₂. Däremellan ett antal övergångsformer; jfr Doss 1912 b.

Bildningsförutsättningar. En reducerande miljö, sådan denna ofta nog är realiserad särskilt i gyttjor samt eljest överhuvudtaget i alla sådana O₂-spärrade avlagringar, där förruttelsekraftig organisk substans är tillstädes. — Mikroorganismer av en grundläggande betydelse.

Utbredning. Överhuvudtaget i alla de slamavlagringar, vilka uppfylla ovan angivna bildningsbetingelser. Saknas därför i dy — en påfallande motsats till gyttjan.

Reaktioner och andra igenkänningstecken. Dessa måste här inriktas på två olika punkter: å ena sidan särskiljandet av FeS från FeS₂, å andra sidan av pyrit från markasit. Det torde vara enklast att sammanfatta dessa åtskilnadskaraktärer i en tabellarisk översikt:

M i n e r a l	FeS och när- stående bild- ningar.	Mellanstadier FeS → FeS ₂ : pyrit, Melnik- ovit o. s. v.	FeS ₂ .	
			Pyrit.	Markasit.
1. Mikroskopisk bild . . .	Svarta flockar	Svarta kulor, som pyrit	Svarta korn (c. 1 μ), kulor (5—15 μ) eller kristaller	? Okänd från limniska avlagringar
2. Kristalltyp	—	—	Mest kuber	Rombisk
3. Förhållande till HCl, utsp. l. konc.	Utsp. löser under utv. av H ₂ S	Åtm. konc. löser	Löser ej	Löser
4. Förhållande till HONO ₃	Löser	Löser	Löser	Löser
5. Vittringsförhållanden .	Oxideras snabbt	Oxideras ganska snabbt	Ytterst resistent	Oxideras snabbt

3. Oxidulföreningar.

Tvenne oxidulföreningar — Fe CO₃ och Fe₃(PO₄)₂ — äro kända som mineral och måste enligt min mening även antagas föreligga *in statu nascendi* på nutidens sjöbottnar. Härom saknas dock hittills all erfarenhet. Den följande sammanställningen är därför av rent hypotetisk natur men torde dock icke sakna sin betydelse vid en planmässig efterletning av dessa bildningar.

A. Ferrokarbonat.

Obekant från nutida sjöbottnar men känd från torvmossar genom GÆRTNERS 1898, VAN BEMMELENS 1900 ävensom genom andras undersökningar. På grund härav torde följande översikt kunna uppställas:

Bildningsförutsättningar. O₂-spärr. Bildning sålunda i det stora hela otänkbar i ytan av slamlager. Ehuru järnspaten i form av sfärosiderit till sitt allmänna utseende mycket erinrar om limoniten har man alltså att härvidlag räkna med helt olika stratigrafiska nivåer: karbonatet måste bildas djupare ner i slammet, varemot oxiden uppstår i ytan. —

Sannolikt bildas järnspaten icke i avlagringar, rika på föruttelneseffekt, organisk substans. Således ej i typiska eller mineraliserande gyttjor. Fastmera synes det mera antagligt att förlägga järnspatens genesis till djupare nivåer i sådana avlagringar, där karbonatet kan cirkulera utan fara att kvantitativt överföras i svaveljärn: leror o. s. v.

Utbredning. En från nutidens sjöbottnar hittills obekant bildning.

Reaktioner och andra igenkänningstecken. Enligt VAN BEMMELEN (1900) är den amorfa järnspaten lättlöslig i utsp. HCl, den kristalliserade däremot först löslig i varm konc. HCl. Den förstnämnda vittrar i luften så gott som momentant till Fe_2O_3 , den senare är däremot något mera resistent.

B. Ferrofosfat.

I likhet med för ferrokarbonatets vidkommande måste översikten även här grundas på erfarenheter från torvstudier, särskilt vunna av GÆRTNER 1897 och VAN BEMMELEN 1900.

Bildningsförutsättningar. Torde i dess huvuddrag sammanfalla med de för karbonatet angivna. Sannolikt uppstår detta direkt, varemot fosfatet enl. VAN BEMMELEN antagligen representerar ett omvandlat karbonat.

Utbredning. En från nutidens sjöbottnar hittills obekant bildning. — WESENBERG-LUND har visserligen i förbigående (1901) beskrivit mörkblå *Valvata*-skal, vilka han förmodar varit överdragna med vivianit. Med hänsyn till frånvaron av närmare upplysningar kan dock denna iakttagelse icke upptagas till närmare prövning.

Reaktioner och andra igenkänningstecken. Det torde i och för fastställande av vivianitens identitet vara alldeles tillräckligt att studera det karakteristiska färgomslaget, när provet utsättes för luft: från vitt (nästan momentant) över blått (där reaktionen kan sluta) till (sent omsider) rött.

VI. Limniska avlagringstyper och järntyper.

Vi framhöllo redan inledningsvis, att ett närmare samband antagligen måste existera mellan de limniska avlagringarnas grundtyper och det sätt, varpå järnet företrädes i desamma. Med stöd av de speciella erfarenheter, som vi i det föregående framlagt, torde det därför också vara lämpligt att här slutligen meddela en översikt i denna riktning — visserligen, som redan framhållits, mera som ett program för kommande undersökningar på området, vilka dock i de redan föreliggande ha sin säkra utgångspunkt. Utgå vi från det inledningsvis meddelade schemat, torde nu följande översikt kunna uppställas:

1. Avlagringar av en övervägande oorganisk substans.

1. Ler. Järn i oxidform enligt mina erfarenheter ofta nog längs kanaler av växtrötter o. d. — Smärre konkretionsbildningar, ofta av typen ärt- eller bönmalm, vanliga. Ang. dess bildningsprincip jfr man GEINITZ 1912, LIESEGANG 1913.

Med hänsyn till den eljest genomförda O_2 -spärren torde här kunna förutsättas såväl sfärosiderit som vivianitförekomster, av vilka åtminstone den förstnämnda knappast är tänkbar utom i ler. — Svaveljärn kan endast uppträda vid närvaron av diffust utbredd eller till distinkta sediment knuten förekomst av organisk substans.

2. Kalk. Merendels i förhållande till andra avlagringar mindre järnhaltig. Med hänsyn till den rikliga H_2S -produktion, som enligt mina erfarenheter tidvis utmärker vissa i bildning varande organogena kalkavlagringar, torde dock en avsevärd pyrithalt vara möjlig, särskilt i slutgiltigt mineraliserade kalkgyttjor. — Härför tala även oceanografiska erfarenheter; jfr särskilt RHUMBLER. — Rent minerogena kalkavlagringar utesluta tydligen varje möjlighet till pyritbild-

ning. Olika kalkavlagringars överförande i järn av oxidtyp är ingalunda sällsynt; jfr t. ex. WESEBERG-LUND 1901.

3. Kisel. Pyrit, liksom andra svaveljärnföreningar, ävensom järnet i form av oxid, är antagligen vidsträckt utbredd även i sådana slutgiltigt mineraliserade avlagringar, som representera den rena kiselguren, särskilt om desamma bildats i en typisk gyttjeförande miljö. — Härför talar såväl gyttjans principiella förhållande till järnet som ock talrika erfarenheter från äldre avlagringar; jfr exempelvis DEECKE 1907.

En till litorala nivåer begränsad större sjömalmbildning av sedvanlig typ (alltså oxidform) torde kunna uppträda inom samtliga dessa avlagringstyper.

2. Avlagringar av övervägande organisk substans.

1. Gyttja. Typiskt förruttelsekraftig bildningsmiljö, pyritens mest utpräglade moderformation. — Samtidig närvaro av olika typer av svaveljärn och järnet i oxidform möjlig vid slamyntans kontakt med ett icke syrgasfritt bottenvatten. — Sfärosiderit-bildning knappast möjlig; bildning av vivianit tänkbar.

2. Dy. Typiskt resistent miljö. I och för sig otänkbar som pyritens bildningsmiljö; oxiden dominerar. Andra järnbildningar i större skala otänkbara.

En till litorala nivåer begränsad sjömalmbildning av sedvanlig typ (alltså oxidform) kan uppträda såväl i gyttja som dy.

Den förestående översikten är, som vi redan uttryckligen framhållit, delvis av rent hypotetisk natur och måste därför i flera hänseenden kontrolleras genom nya specialundersökningar. Som utgångspunkt för dylika torde den emellertid ha sin betydelse; och enligt vår åsikt talar också varje sannolikhet för att den därvid skall i stora drag bekräftas. Det synes oss därför även lämpligt, att från dylika utgångspunkter ägna de fossila järnförekomsterna en kortfattad granskning.

VII. Fossila järnförekomster och deras nutidslimnologiska paralleller.

Fossila järnförekomster av samma typ, vilkas bildningsförutsättningar kan följas på botten av nutidens sjöar, uppträda inom flertalet formationer. Det är icke vår avsikt att här lämna en fullständig översikt över hithörande avlagringar. Vi begränsa oss därför till några representativa exempel för att därmed visa, i vilken utsträckning äldre bildningar i själva verket ha sina paralleller i nutiden, på botten av nutidens sjöar och hav. Härigenom blir tydligen limnologien eller i varje fall hydrobiologien en förutsättning för varje form av genetiskt tänkande även på detta område av geologien. — Särskilt för den paläolimnologiska grenen av torvmosseforskningen torde här erbjuda sig talrika arbetsuppgifter av vittgående betydelse.

1. Järnet som oxidföreningar.

De fossila gytjtjornas och den fossila dyns förhållande till järnet i dess oxidform har ännu icke närmare undersökts. Väl bekanta äro däremot de vidsträckta avlagringar av fossila bön- och ärtmalmer exempelvis från Juraperioden, vilka tydligen måste fullständigt analogiseras med nutidens sjömalmer, och vilka otvivelaktigt uppstått som begränsade litoralbildningar, huvudsakligen i hav. Denna uppfattning torde numera vara allmänt antagen; se t. ex. sammanfattningen hos BEYSCHLAG, KRUSCH und VOGT 1913; HAYES 1915. Dock saknar man delvis ännu närmare kännedom om de för bildningarna grundläggande anrikningscentra, kring vilka malmens utbildning till dess karakteristiska forntyper fortskrider på rent fysikaliskt-kemisk väg. — Dylika malmer saknas emellertid fullständigt i Sverige.

2. Svavelföreningar.

Representera tvivelsutan den vanligaste järnförekomsten i fossila avlagringar. Hit höra dels talrika skiffrar och leror från olika perioder, framför allt vissa kolförande formationers avlagringar. Alltså överallt bildningar, där man måste förutsätta i princip alldeles likartade betingelser med nutidens: antingen en diffus impregnering med organisk substans, föranledande en diffus förekomst av FeS eller FeS_2 — eller också en till vissa specialsediment i leror begränsad förekomst av organisk substans, föranledande en häremot svarande begränsning av svaveljärnföreningarna.

Särskilt DOSS har under senare år studerat dessa förhållanden i jämförelse med nutida bildningar och på grund därav även framställt den uppfattningen, att flertalet förekomster av svavelkis vore att betrakta som rent sedimentära, till väsentlig del avhängiga av i slammet försiggående bakteriella processer. Jfr särskilt l. c. 1912 b. Enligt alldeles samma princip förklarar DOSS även andra förekomster av svavelmetaller, såsom ZnS , BaS o. s. v. Med vad rätt — i vad dessa sistnämnda beträffar — är dock f. n. icke blott osäkert, utan enligt vår uppfattning därtill även tvivelaktigt, då åtminstone vissa av dessa metaller äro kända som farliga växtgifter och alltså icke utan vidare kunna anses tillstådja ifrågakarande bakteriella processer. — Ang. svartleror jfr ävenledes HALDEN l. c. 1917 och där sammanställd litteratur.

3. Oxidulföreningar.

Äro i motsats till nutida förekomster delvis ganska rikligt företrädda inom fossila avlagringar, framförallt tillhörande kolförande formationer. Detta gäller dock särskilt sfärosideriten, varemot vivianitförekomster i varje fall icke alls synas vara bekanta från äldre avlagringar av limnisk typ. Sannolikt är den sistnämnda också endast i undantagsfall att betrakta som en limnisk bildning.

A. Ferrokarbonat.

Uppträder ställvis mycket ymnigt, särskilt inom kolförande formationer. Paralleller inom nutidens avlagringar ännu okända. Bildningsförutsättningar överhuvudtaget alldeles obekanta. Hela frågan tarvar därför en ingående granskning från geologiskt-hydrologiska synpunkter.

B. Vivianit.

Obekant från fossila limniska avlagringar; känd från marina. Obekant från nutida bildningar av limnisk art. Kan emellertid teoretiskt förutsättas, vadan nya efterforskningar äro erforderliga.

Som av den här meddelade sammanställningen framgår, ha samtliga de inom nutidens avlagringar mera allmänt utbredda järnföreningarna sina fossila paralleller. Må vara, att flertalet av dessa sistnämnda ej äro limniska utan fastmer marina: själva den grundläggande bildningsprincipen är dock densamma, och under alla omständigheter synes oss hydrobiologien på detta område representera en viktig förutsättning även för rent geologiska arbeten. Särskilt sötvattnets livsbetingelser synas oss härvid vara av en särskild betydelse och därför förtjänta av mera ingående undersökningar i denna riktning; ty här möta oss dock under relativt lätt behärskade förutsättningar alla dessa principiellt viktiga bildningsprocesser, fortlöpande med en sådan överskådlighet, att desamma för sedimentpetrografiens vidkommande nära nog måste tillerkännas experimentets betydelse — sålunda enligt vår mening representerande rent av en förutsättning eller i varje fall ett mycket betydelsefullt komplement för geologiska studier på detta område överhuvudtaget.

Resümee.

Titel der Arbeit: *Über das Auftreten der verschiedenen Eisenverbindungen in den limnischen Ablagerungen. — Mit besonderer Berücksichtigung des limnischen Vorkommens des Pyrits.*

1. Der Verfasser gibt in dem vorliegenden Aufsatz eine kurze Übersicht über das verschiedenartige Vorkommen der verschiedenen Eisenverbindungen in den Schlammablagerungen der Süßwasserseen.

2. Es ist in diesem Zusammenhang etwa mit den folgenden Verbindungen zu rechnen: das Eisen als Oxyd, als Schwefelverbindung (FeS bzw. FeS_2), als Ferrokarbonat und als Ferrophosphat. Da diese Verbindungen ja ein ganz verschiedenartiges Bildungsmilieu beanspruchen, so muss selbstverständlich eine gewisse Parallelität auch zwischen Eisentypus und Art der Schlammablagerung bestehen.

3. Als Grundlage einer derartigen lässt sich nach den Erfahrungen des Verfassers etwa die folgende Übersicht aufstellen. — Es wird im folgenden nur das über den ganzen Seeboden verbreitete Eisen berücksichtigt, während ein litoral spezialisiertes Vorkommen der Seeerze (also Eisen oder Mangan als Oxyd) hier nicht näher behandelt wird.

I. Ablagerungen, welche hauptsächlich aus organischer Substanz bestehen.

1. Gytta oder Faulschlamm.

3. Es ist dies eine typisch limno-autochthone Bildung, deren Urmaterialien vor allem in den Trümmern der Planktonproduktion zu suchen sind. Eine derartige Ablagerung tritt typisch

nur in nährstoffreicheren Seen auf. — Ökologie des gyttjabil-
denden Seentypus näher bei E. NAUMANN l. c. 1917 a dargestellt.

4. Wegen des fäulniskräftigen Materials, das sich hier auf
dem Boden ansammelt, entsteht hier ein z. T. ganz reduktives
Bildungsmilieu. Das Eisen tritt deshalb nach den Erfahrun-
gen des Verfassers hier sehr oft als Schwefelverbindung auf,
und zwar sowohl als FeS (schwarze Flöckchen) wie als FeS₂
(schwarze Körnchen, Kugeln, kubische Kristalle u. s. w.).

5. Dieses allgemeine Vorkommen des Pyrits in Faul-
schlamm war bisher in der limnologischen und geologischen
Literatur nur wenig bemerkt; vergl. doch vor allem H. POTONIE
1908. Der Verfasser hat deshalb hier dem Pyrit eine ein-
gehendere Aufmerksamkeit gewidmet. Der Pyrit aus limni-
schen Ablagerungen wird auch deshalb hier zum ersten Mal
in seinen verschiedenen Formen abgebildet und seine Ent-
stehung erläutert. Es handelt sich hier vor allem um Körnchen
und Kugeln (welch letztere im allgemeinen durch Zusammen-
fließen der Körnchen entstehen; vergl. Fig. 3), mehrenteils
in den Skeletteilen der Tiere und Pflanzen eingebettet, wie
vor allem in und auf Cladoceren-schalen (Fig. 1, 2, 4, Tafel 1),
in pflanzlichen Gewebefragmenten (Fig. 5, 6; Tafel 2) u. s. w.
Bisweilen tritt in den letztgenannten auch eine kontinuierliche
Hohlraumausfüllung auf — s. Fig. 6; Tafel 2 —, was ja
ein durchgeführtes Analogon eines Vererzungsprozesses dar-
stellt. Vergl. ähnliche Beobachtungen von DEECKE 1907
betreffs fossilen (tertiären) Materials.

6. Dass es sich hier stets um Pyrit handelt, kann schon auf
Grund der Koexistenz der genannten Bildungen mit typischen
Kristallen behauptet werden, da sie sich nämlich sämtlich
als sehr resistent gegen HCl (auch konz.) gezeigt haben.
Wahrscheinlich sind indessen auch hier die Übergangsstadien,
welche nach Doss 1912 von FeS zu FeS₂ und Pyrit führen,
vorhanden. Hierauf gerichtete Untersuchungen sind indessen
vom Verfasser noch nicht durchgeführt worden.

7. Wie schon bemerkt, ist der Pyrit aus limnischen Ab-
lagerungen *in statu nascendi* bisher nur ziemlich beiläufig

erwähnt worden. Auch in der torfgeologischen Literatur ist er nur selten angeführt; vergl. FRÜH 1885, FRÜH und SCHRÖTER 1904. Über sein Vorkommen in marinen bzw. limanischen Ablagerungen liegt aber eine sehr ausführliche Literatur vor, die von ANDRÉE 1915—1916 zusammengefasst worden ist. Vergl. sonst vor allem die Publikationen von DOSS, wo sich auch die russische Limanliteratur, vor allem in Anbetracht der bakteriologischen Fragen, zusammengefasst findet.

8. Wenn somit der Pyrit gerade als ein Charakteristikum des Faulschlammes anzuführen ist, so fehlt doch gewöhnlich in diesen Ablagerungen auch nicht das Eisen als Oxyd. Besonders wenn der Sauerstoffgehalt des auf dem Boden lagernden Wassers ein hinreichender ist, entsteht in der oberen Schlammschicht selbstverständlich ein Nebeneinander reduktiver und oxydativer Vorgänge. Unter derartigen Verhältnissen — übrigens wohl stets durch das allgemeine Vorkommen der *Beggiatoa* indiziert — bildet sich das Eisen sowohl als Schwefelverbindungen wie als Oxyd aus. Das letztgenannte tritt vor allem als rotbraune Flöckchen auf, wird indessen auch in den koprogenen Bildungen ebenso wie in Gewebefragmenten pflanzlicher Herkunft ergiebig angereichert. — Dies ist auch, nebenbei bemerkt, in Kombination mit einer Konzentration feinsten Körnchen zu kugelförmigen Aggregaten etwa nach dem Typus des Pyrits (s. oben unter 5) das Bildungsprinzip des grösseren, im Litoral oft massenhaft auftretenden Seerzes. Die endgültige Form und Gestaltung dieser Mineralien ist somit überhaupt aus rein physikalisch-chemischen Voraussetzungen leicht zu erklären. Für das Zustandekommen des grundlegenden Bildungsmilieus — ob oxydativ oder reduktiv usw. — dürften aber die mikrobiologischen Faktoren auch von einer einschneidenden Bedeutung sein. Wahrscheinlich ist auch eine ganz bestimmte Korrelation zwischen Seentypus in ernährungsphysiologischer Hinsicht und respirationsbiologischer Stratifikation vorhanden — eine Korrelation, die dann auch Schlammtypus, Beschaffenheit der profundalen Organismen-

welt, Art des Eisenvorkommens usw. in sich schliessen muss. Es dürfte somit einmal möglich werden, alle diese bis jetzt ziemlich isolierten Tatsachen von einheitlichen Gesichtspunkten aus zu betrachten und in eine Systematik der Seentypen einzuordnen. Es ist das Verdienst THIENEMANN'S (vergl. vor allem l. c. 1918), durch seine Arbeiten über die Korrelation zwischen respirationsbiologischer Stratifikation und Physiognomie der Bodenfauna die ersten Voraussetzungen für eine derartige Entwicklung geschaffen zu haben.

2. Dy oder Torfschlamm.

9. Es ist dies eine typisch limno-allochthone Bildung, deren Urmaterialien vor allem in einer hochresistenten, braun humifizierten Pflanzensubstanz der Umgebungen zu suchen sind. Eine derartige Ablagerung ist stets als ein Charakteristikum eines nährstoffarmen Wassers anzusehen. — Ökologie des Seentypus näher bei E. NAUMANN l. c. 1917 a dargestellt.

10. Wegen des sehr wenig fäulniskräftigen Materials, das sich hier auf dem Boden ansammelt, kann hier aus diesen Gründen im grossen und ganzen kaum ein reduktives Bildungsmilieu entstehen. Die Planktonproduktion liegt wegen der Elektrolytenarmut des Wassers sehr tief. Somit ist auch die Zufuhr an fäulniskräftiger Substanz sehr beschränkt, und das Ausflocken der resistenten Humuskolloide dominiert durchaus. Das Eisen tritt deshalb hier nach den Erfahrungen des Verfassers fast nur als Oxydverbindungen auf.

II. Ablagerungen, welche hauptsächlich aus anorganischer Substanz bestehen.

Es sind hiervon etwa die folgenden anzuführen:

1. Ton.

11. Das Eisen tritt hier in Oxydform oftmals als Ausscheidungen um Kanäle abgestorbener Pflanzenwurzeln auf. —

Der Gehalt an Schwefelverbindungen hängt von dem Gehalt an fäulnisfähiger Substanz ab. Über Schwarztone vergl. man die Zusammenstellung bei HALDEN 1917. — Wegen des hier leicht eintretenden Sauerstoffabschlusses dürfte man in diesen Ablagerungen allein mit einem Vorkommen des Eisens als Oxydulkarbonat bezw. als Vivianit in grösserer Ausdehnung zu rechnen haben. Derartige Vorkommnisse sind indessen bis jetzt nicht für die limnischen Ablagerungen der Jetztzeit bekannt. Über die Bildungsbedingungen der betreffenden Mineralien vergl. sonst GAERTNER 1898, VAN BEMMELEN 1900.

2. Kalk.

12. Die Ablagerung von limnischem Kalk ist entweder minerogen oder organogen. Sie ist entweder primär oder verdankt erst ihre Entstehung der Diagenese eines Kalkschlamms. Wahrscheinlich dürfte der letztgenannte Typus sich wie die typische Gytja verhalten.

3. Kiesel.

13. Die hierher gehörigen Sedimente dürften unter denselben Gesichtspunkten wie die für den Kalk angeführten betrachtet werden können.

14. Die hier gegebene Übersicht hat selbstverständlich in mehreren Hinsichten nur den Charakter einer ersten Orientierung, dürfte aber als eine derartige nicht nur als Ausgangspunkt eingehenderer limnologischer Untersuchungen, sondern auch beim Vergleichen jetziger Vorkommnisse mit den fossilen einen gewissen Wert haben. Es liegt aber auf der Hand, dass eine durchgeführte Erkenntnis dieser Verhältnisse erst auf Grund eingehender Studien über die allgemeine Mikrobiologie der Seenböden gewonnen werden kann. Es ist auch die Absicht des Verfassers, diese Arbeit nach derartigen Gesichtspunkten später weiter auszubauen.

Frühjahr 1918.

Literatur.

- ANDRÉE, K., Die Diagenese der Sedimente, ihre Beziehung zur Sedimentbildung und Sedimentpetrographie. — Geol. Rundschau. II. 1911.
- Die geologische Bedeutung des Wachstumsdrucks kristallisierender Substanzen. — Geol. Rundschau. III. 1912.
- Über Sedimentbildung am Meeresboden. — Geol. Rundschau. VII. 1916—1917.
- ANDROUSSOW, N., La Mère Noire. Guide des excursions du VII Congrès Géologique International. 1897.
- VAN BEMMELEN, J. M., Bydragen tot de Kennis van den Alluvionen Boden in Nederland. Amsterdam 1886. [Zitat n. SCHUCHT.]
- Über das Vorkommen, die Zusammensetzung und die Bildung von Eisenanhäufungen in und unter Mooren. — Zeitschr. f. anorg. Chemie. Bd. XXII. Hamburg und Leipzig 1900.
- BEHRENS, T. H., Die Untersuchung der Grundproben der Expedition zur physikalisch-chemischen und biologischen Untersuchung der Ostsee im Sommer 1871 auf S. M. Avisdampfer Pommeriana. — Jahresber. der Commission zur wiss. Untersuchung der deutschen Meere in Kiel für das Jahr 1871. — I. Jahrg. Berlin 1873.
- BEYSCHLAG, F., KRUSCH, P., und VOGT, J. H. L., Die Lagerstätten der nutzbaren Mineralien und Gesteine nach Form, Inhalt und Entstehung. Bd. II. Stuttgart 1913.
- DRECKE, W., Diatomeenkieskerne im paläocänen Tone Greifswalds. — Deutsche Geol. Ges., Monatshefte 1907.
- DOSS, BRUNO, Über den Limanschlamm. — Korr.-Blatt der Naturf. Ver. zu Riga. Bd 73. 1900.
- Über die Natur und Zusammensetzung des in miocänen Tonen des Gouvernements Samara auftretenden Schwefeleisens. — N. Jahrb. f. Mineralogie. Beil.-Bd. 33. 1912 (a).
- Melnikovit, ein neues Eisenbisulfid, und seine Bedeutung für die Genesis der Kieslagerslätten. — Zeitschr. f. prakt. Geologie. XX. 1912 (b).
- FRÜH, J., Kritische Beiträge zur Kenntnis des Torfes. — Jahrb. und Verh. der K. K. Geol. Reichsanstalt. Wien 1885.
- FRÜH J. und SCHRÖTER, C., Die Moore der Schweiz. — Geolog. Komm. der Schweiz naturf. Ges. Geotechn. Serie. III. Bern 1904.
- GAARDER, T., De vestlandske fjordes Hydrografi. I. — Bergens Museums Aarbok. 1915—1916. [Hydrographie norweg. Meerbusen; norwegisch.]
- GÆRTNER, A., Über Vivianit und Eisenspat in Mecklenburgischen Mooren. — Arch. des Ver. der Freunde der Naturw. in Mecklenburg. 51. Jahrg. 1897. Güstrow 1898.

- GEINITZ, Kolloiderscheinungen in Konkretionen. — Cbl. f. Mineralogie. Stuttgart 1912.
- HALDEN, BERTIL E., Om torvmossar och marina sediment inom norra Hälsinglands litorinaområde. [Über Torfmoore und marine Sedimente des Litorina-Gebiets von N. Hälsingland; schwedisch]. — Diss., Uppsala 1917. S. G. U. Årsbok 1917. Stockholm 1917.
- HAYES, A. O., Wabana Iron Ore of Newfoundland. — Canada department of mines. Ottawa 1915.
- JENTZSCH, A., Über den Untergrund norddeutscher Binnenseen. — Zeitschr. der Deutschen Geolog. Ges. 1902.
- LEBEDINZEFF, A., Gasumtausch in abgeschlossenen Wasserbecken und seine Bedeutung für die Fischzucht. [Russisch mit deutschem Resümee.] — St. Petersburg 1905.
- LIESEGANG, R. E., Geologische Diffusionen. — Dresden und Leipzig 1913.
- MOLISCH, H., Die Pflanze in ihren Beziehungen zum Eisen. — Jena 1892. — Mikrochemie der Pflanzen. — Jena 1913.
- NAUMANN, EINAR, [1917 a], Undersökningar över fytoplankton och under den pelagiska regionen försiggående gytte- och dybildningar inom vissa syd- och mellansvenska urbergsvatten. [Über Plankton- und Bodenbeschaffenheit süd- und mittelschwedischer Urbergsgewässer. Schwedisch mit deutschem Resümee.] — K. Sv. Vet.-Akad., Handlingar, B. 56: 6. Stockholm 1917. Zugleich Diss., Lund 1917.
- [1917 b], Om profilodning i gytte- och dyavlagringar. [Über das Profilodning in Schlammablagerungen. Schwedisch mit deutschem Resümee.] — S. G. U. Årsbok 1916. Stockholm 1917.
- NADSSON, S., Die Mikroorganismen als geologische Faktoren. I. Über die Schwefelwasserstoffgärung im Weissow-Salzsee und die Beteiligung der Mikroorganismen bei der Bildung des schwarzen Schlammes [Heilschlammes.] — Arb. der Kommission für die Erforschung der Mineralseen bei Karrjansk. St. Petersburg 1903. [Zitat nach Ref. in Botan. Cbl. XCVI 1904.]
- OMELIANSKI, W., Der Kreislauf des Schwefels. In FRANZ LAFARS Handbuch der technischen Mykologie. 2 A. Bd. III. Jena 1904—1906.
- POTONIÉ, H., Die rezenten Kaustobiolithen und ihre Lagerstätten. Band I. Die Sapropelite. Arb. der K. Preuss. Geolog. Landesanstalt. Berlin 1908.
- Die Entstehung der Steinkohle und der Kaustobiolithe überhaupt. 5. A. Berlin 1910.
- RHUMBLER, L., Eisenkiesablagerungen im verwesenden Weichkörper von Foraminiferen, die sog. Keimkörper Max Schulzes u. a. — Nachrichten von der K. Gesellschaft der Wissenschaften zu Göttingen. 1892.
- Beiträge zur Kenntnis der Rhizopoden. II. Saccamina sphaerica M. Sars. Erster Teil. [Hierin u. a. der Abschnitt: Eisenkiesablagerungen im verwesenden Weichkörper der Saccamina und anderen Foraminiferen. — Der betreff. Abschnitt ist in der Literatur oft falsch als Haupttitel angeführt.] — Zeitschr. f. wiss. Zoologie. Bd. 57. 1894.
- SCHUCHT, F., Das Wasser und seine Sedimente im Flutgebiet der Elbe. — Jahrb. der K. Preuss. Geolog. Landesanstalt XXV. 1904.

- SONDÉN, K., Kemiska och hydrografiska undersökningar. — Vattnet i sjöar och vattendrag inom Stockholm och i dess omgivningar. [Zur Chemie und Hydrographie der Gewässer in der Umgebung Stockholms; schwedisch.] — Stockholms Stads Hälsovårdsnämnds Årsberättelse 1910. Bihang II. Stockholm 1912.
- THIENEMANN, A., Untersuchungen über die Beziehungen zwischen dem Sauerstoffgehalt des Wassers und der Zusammensetzung der Fauna in norddeutschen Seen. — Archiv f. Hydrobiologie. Band XII. 1918.
- WESENBERG-LUND, C. J., Studier öfver Sökalk, Bönnemalm og Sögytje i danske Indsøer. [Studien über die Kalk-, Eisenerz- und Schlammablagerungen dänischer Seen. Dänisch mit engl. Resümee.] — Meddelelser fra Dansk Geologisk Forening. Nr 7. Kopenhagen 1901.

Erklärung der Textabbildungen.

Fig. 1.

Skeletteile [Chitin] baltischer Cladoceren, typischen Faulschlammablagerungen entstammend. Der Besatz mit kugelförmigen Pyritkonkretionen ist sehr charakteristisch.

Fig. 2.

Sedimente wie in Fig. 1. Die Konkretionen sind in b ganz fertig, befinden sich aber in a noch *in statu nascendi*.

Fig. 3.

Übersicht einiger der Formen (d, e, f), in welchen der »Mikropyrit« in den Faulschlammablagerungen auftritt bezw. (a—b) schematische Darstellung der Entstehung der Kugeln als Konkretionsbildung durch Zusammenfließen kleinster Granula.

Fig. 4.

Chitinskelett einer Cladocere, mit einem traubenförmigen Komplex aus Pyritkugeln ganz gefüllt. — Es ist aber nur ziemlich selten, dass eine derartige Bildung unter limnischen Voraussetzungen aufzufinden ist. Vielmehr ist der Pyrit in Kugelform bezw. in kleineren Aggregaten stets vorherrschend.

Fig. 5.

Gewebefragmente einer phanerogamen Pflanze, zahlreiche kubische Kristalle von Pyrit enthaltend. — Stellt auch einen Ausnahmefall dar, indem das Vorkommen kubischer Kristallen zwar stets mit dem der Kugeln in Korrelation steht, aber im Vergleich mit den letztgenannten typisch doch nur sehr selten auftritt.

Fig. 6.

Sediment wie in Fig. 5. In allen Zellen massenhaft kleine Granula. Hieraus teils eine Ausdifferenzierung von Kugeln bezw. Kristallen, teils aber auch eine vollständige Hohlraumausfüllung.

Erklärung der Tafelabbildungen.

Tafel 1.

Pyrit als feinste Körnchen bezw. als kugelförmige Konkretionen. — Mikrophotographische Darstellung bei einer Vergr. von ca. 300 (a) bezw. 100 (b) mal.

a) Rückenschale einer Cladocere, die Ausbildung grösserer Konkretionen aus einer feingranulierten Grundmasse zeigend.

b) Ein Pflanzenstück mit zahlreichen Pyritkugeln.

Tafel 2.

Pyrit als Hohlräumeausfüllung verschiedener Zellen pflanzlicher Gewebestückchen. — Mikrophotographische Darstellung bei einer Vergrößerung von etwa 100 mal.

a) Vererzung tracheidaler Elemente. — Sogar die feinsten Poren sind im Original gut nachzuweisen: die Vererzung ist somit eine ganz durchgeführte.

b) Ausfüllung parenchymatischer Zellen mit einer festen und kompakten Pyritmasse.

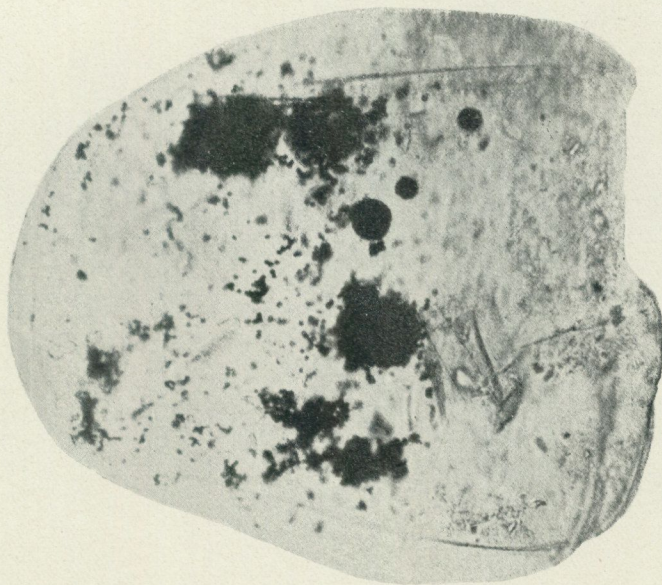


Fig. a. Cladocerskal med pyrit, kulor och granulæ.

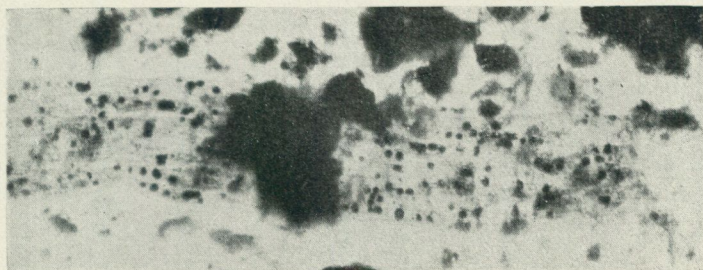


Fig. b. Växtfragment i en mycket pyrithaltig gyttja. — Mest kulformiga konkretioner.

O. MATTESSON och E. NAUMANN mikrofoto.



Fig. *a*. Hålrumsutfyllning av pyrit i ledningsvävnadens elementer i ett växtfragment.



Fig. *b*. Ett annat exempel på hålrumsutfyllning genom pyrit.

STOCKHOLM 1919. KUNGL. BOKTRYCKERIET. P. A. NORSTEDT & SÖNER. 185405