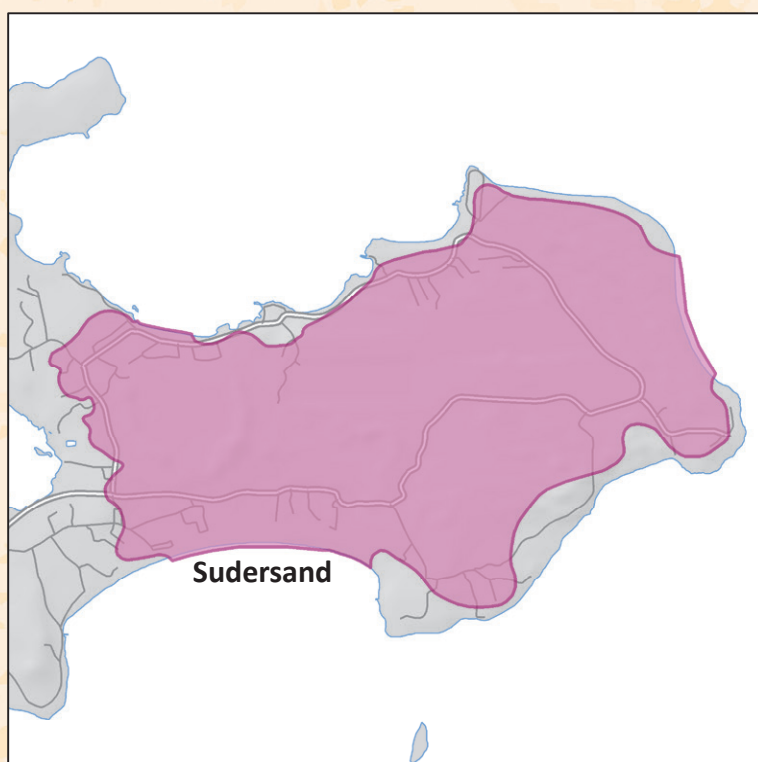


K 711

Grundvattenmagasinet

Ulla Hau

Peter Dahlgvist, Mattias Gustafsson
& Henrik Langkjaer



ISSN 1652-8336
ISBN 978-91-89421-18-9

Författare: Peter Dahlqvist, Mattias Gustafsson och Henrik Langkjaer
Ansvarig enhetschef: Mats Wallin
Redaktör: Åsa Gierup, SGU och Jeanette Bergman Weihed, Tellurit AB
Utgivningsår: 2021

Sveriges geologiska undersökning
Box 670, 751 28 Uppsala
tel: 018-17 90 00
e-post: sgu@sgu.se
www.sgu.se

INNEHÅLL

Grundvattenmagasinet Ulla Hau	4
Sammanfattning	4
Inledning	4
Underlag	4
Terrängläge och geologisk översikt	5
Hydrogeologisk översikt	7
Anslutande ytvattensystem	7
Tillrinningsområden och naturlig grundvattenbildning	7
Uttagsmöjligheter	8
Grundvattnets användning	9
Grundvattnets kvalitet	9
Klimatförändring och effekten på grundvattenmagasinet	11
Referenser	11

Bilaga 1

Undersökningar gjorda i grundvattenmagasinet

Bilaga 2

Grundvattenmagasin

Bilaga 4

Tillrinningsområden

Bilaga 5

Exempel på lagerföljder

Bilaga 6

Primära, sekundära och tertiära tillrinningsområden

Bilaga 7

Geologiska profiler

Bilaga 8

Övergripande förutsättningar avseende provpunkter och analyser

Bilaga 9

Allmän beskrivning av grundvattnets kemiska sammansättning

GRUNDVATTENMAGASINET ULLA HAU

Författare: Peter Dahlgvist, Mattias Gustafsson & Henrik Langkjaer

Kommun: Gotland

Län: Gotland

Vattendistrikt: Södra Östersjön

Databas-id: 230300002

Grundvattenförekomst: WA44506915

Sammanfattning

Grundvattenmagasinet Ulla Hau finns i en sandavlagring på den östra delen av Fårö. Avlagringens mäktighet varierar mellan ca 2 och 20 m. Det finns större sammanhängande områden med en mäktighet på över 10 m, och magasinet är öppet. Avlagringarna domineras i ytan av flygsand. Grundvattenmagasinet har god hydraulisk konduktivitet och uttagsmöjligheterna bedöms till ca 30–40 l/s. Magasinet används för kommunal vattenförsörjning. Möjlighet finns att öka kapaciteten genom konstgjord infiltration. Grundvattenkvaliteten karaktäriseras av måttliga kloridhalter, högt pH och alkanitet, hög kemisk syreförbrukning och höga järnhalter. Det finns en risk för saltvattenpåverkan eftersom stora delar av magasinet ligger under havsnivån.

Inledning

De arbeten som redovisas i denna rapport ingår i SGUs kartläggning av viktiga grundvattenmagasin i landet. Syftet är i första hand att skapa planeringsunderlag för vattenförsörjning, markanvändning och skydd av viktiga grundvattenförekomster. För många användningsområden, t.ex. vid upprättande av skydds zoner till vattentäkter, krävs som regel kompletterande undersökningar.

Resultaten redovisas i kart- och textform i bilagorna 1–9. SGUs undersökningar har utförts 2013 inom ramen för projektet ”Grundvattenkartering inom Södra Östersjöns vattendistrikt” (projekt-id: 83015) och 2013–2015 inom ett SkyTEM-projekt (projekt-id: 30021). Sammanställning av beskrivning och databas utfördes 2018 och 2020 inom ramen för SGUs extra-satsning med fokus på områden med risk för brist på grundvatten (projekt-id: 83025). I arbetet har även Niklas Juhojuntti, Andreas Karlhager och Jonas Gierup deltagit. För kompletterande information om arbetsmetoder hänvisas till SGUs kundtjänst.

Grundvattenförekomsten Ulla Hau (WA44506915) är tidigare avgränsad i Vatteninformationssystem Sverige, VISS (Länsstyrelsen 2020). Magasinets nya avgränsningar avviker dock från grundvattenförekomstens. Grundvattenförekomsten kommer att föreslås bli justerad i VISS, så att förekomstens avgränsning blir densamma som magasinets.

Underlag

Tidigare undersökningar

Ett antal grundvattenundersökningar i anslutning till kommunens vattenförsörjning har gjorts inom magasinet. Undersökningar har utförts av bl.a. VIAK (1966, 1972), SGU (2015, 2017) och Sweco (2018, 2020). De äldre VIAK-rapporterna har inte återfunnits. En förteckning över ytterligare grundvattenrelaterade rapporter inom området finns efter referenslistan. Befintlig geologisk och hydrogeologisk information från SGUs kartor och databaser, t.ex. Brunnsarkivet, geofysik och 3D-modeller, har legat till grund för magasinens avgränsning och

bedömning av uttagsmöjligheter. Uttagsmöjligheter och magasinets uppbyggnad har även bedömts baserat på borrhningar och provpumpningar som utförts inom grundvattenmagasinet (Sweco 2020).

Kompletterande undersökningar

Följande kompletterande undersökningar har utförts i grundvattenmagasinet:

- Helikopterburna resistivitetsmätningar över grundvattenmagasinets utbredning i samband med SkyTEM-projektet (Dahlqvist m.fl. 2015). Undersökningarna har legat till grund för den 3D-modell som bland annat har använts vid bestämning av jordlagrens och magasinets utbredning i tre dimensioner.
- Georadarmätningar längs 25 km av vägnätet inom magasinet. Mätningarna har gett ett underlag för en översiktlig bedömning av grundvattenytans läge och jorddjupet i området.
- En borrhning utfördes i samband med SkyTEM-projektet under 2014 inom magasinet. Borrhningen har gett underlag för bedömning av stratigrafin och jorddjupet inom magasinet (Dahlqvist m.fl. 2015).

Grunddata från fältundersökningarna har lagrats i SGUs databaser. En hydrogeologisk databas över det aktuella grundvattenmagasinet har upprättats med den insamlade informationen samt SGUs jordartsdata (Svantesson 2008) som grund. I den hydrogeologiska databasen ingår bl.a. information om tillrinningsområde, grundvattenbildning, vattendelare och andra hydrauliska parametrar, samt en bedömning av uttagsmöjligheterna i grundvattenmagasinet. Information om anslutande ytvattensystem lagras också i databasen. Ett urval av denna information redovisas i denna rapport. Övrig information kan fås från SGUs kundtjänst.

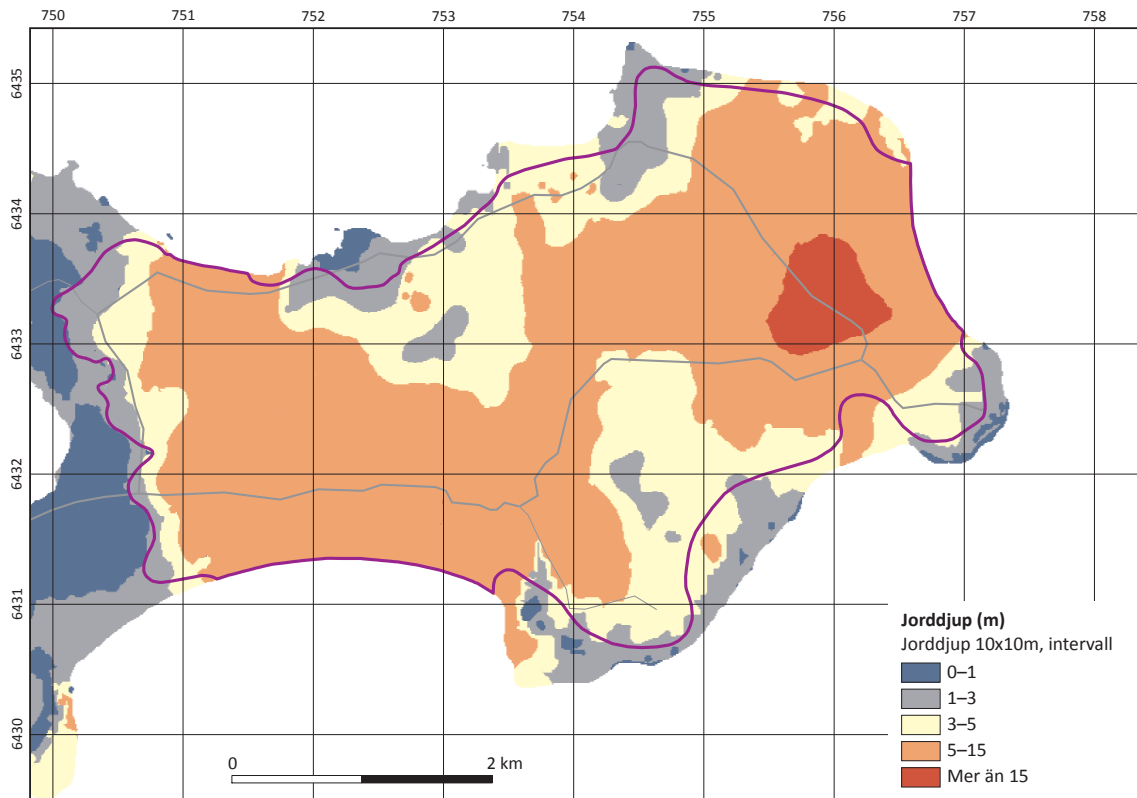
Terrängläge och geologisk översikt

Grundvattenmagasinet Ulla Hau är beläget på Fårös östra del, Avanäset. Magasinet finns i en avlagring bestående av flygsand och svallsediment (Svantesson 2008) med en yta på totalt 17,6 km². Markytan inom grundvattenmagasinet varierar mellan 0 och ca 21 m ö.h. Halvöns högsta punkt ligger vid Ava.

Den postglaciala sanden består av finsand till mellansand (Svantesson 2008). Undersökningar utförda inom grundvattenmagasinet visar att det i vissa områden förekommer ett ca 0,5–1 m mäktigt lager av grusig sand med snäck- och musselskalrester (Sweco 2020). Mäktigheten på jordlagren är vanligen över 5 m, men varierar mellan 2 och 20 m (fig. 1). De västra delarna domineras av kuperad terräng med sanddyner beväxna med tallskog, vitmossa och ormbunkar (fig. 2a). De östra delarna har en något planare yta och har mer tallskog och blåbärsris, men även små områden där lövskog dominerar (fig. 2b). Inom magasinet förekommer några områden med inlagrad torv och klapper i anslutning till strandkanterna (Svantesson 2008, se bilaga 2).

Den postglaciala sanden vilar på den något kuperade kalkberggrunden (bilaga 7), som är av silurisk ålder och tillhör Hallaformationen och klassificeras som en kalkarenit (Erlström m.fl. 2009). Berggrundens överyta ligger till stora delar under havsnivån, bl.a. vid Nordersand, Sudersand, Holm och Skär.

Ytvattenavrinning sker via tillfälliga bäckar som antingen har utflöde till havet i öster, söder och norr eller till Ajkesträsk i väster, som i sin tur har sitt utflöde till Tällevika via Ajkeså mot nordväst. Grundvattenmagasinet är avsatt under högsta kustlinjen (HK).



Figur 1. Jorddjupskarta inom grundvattenmagasinet Ulla Hau. Magasinsutbredningen visas med lila linje. Jorddjupskartan är modifierad från den nationella jorddjupskartan.



Figur 2. A. Huvudsaklig terräng i de västra delarna av magasinets utbredning. **B.** Huvudsaklig terräng i de östra delarna av magasinets utbredning. Foto: Peter Dahlqvist, SGU.

Hydrogeologisk översikt

Grundvattenmagasinet Ulla Hau avgränsades i en översiktlig skala av Karlqvist m.fl. (1982) och detta har legat till grund för de fortsatta undersökningarna. Magasinet har nu avgränsats med hjälp av underlag i form av jordartskartan (Svantesson 2008) och en geologisk 3D-modell (Dahlqvist m.fl. 2015) som bygger på SkyTEM-mätningar, georadar och borrhningar utförda i området.

Grundvattenmagasinet karaktäriseras av öppna förhållanden och har en medelmäktighet på mellan 5 och 10 m (fig. 1). Stora delar av magasinets mättade zon ligger under havsnivån (se bilaga 7), vilket gör att det finns risk för saltvattenpåverkan, eftersom förändrade tryckförhållanden kan dra på sig vatten från kustzonen.

Grundvattnet från djupare brunnar karaktäriseras även av en hög permanganatförbrukning. Detta kan enligt Sweco (2020) bero på närvaro av organiskt material, troligen lager av tång.

Grundvattennivåerna inom grundvattenmagasinet Ulla Hau bedöms vara mellan 0 och 10 m ö.h., beroende på topografi och jorddjup. Grundvattenströmningen sker i huvudsak från höjdområdena centralt på Avanäset, och det uppkommer lokala, rörliga vattendelare på flera platser inom grundvattenmagasinet (se bilaga 3). Den vattenmättade zonens mäktighet i jordlagren bedöms variera mellan 1 och 10 m, där berggrundens överyta är den viktigaste parametern för att en stor mättad zon ska uppnås.

Grundvattenmagasinet avgränsas i norr, söder och öster av Östersjön. Mot väster avgränsas magasinet av uppstickande berggrund från Vinor i söder till Ajke i norr (bilaga 2).

Från tidigare undersökningar och prospekteringsborrningar utförda av Sweco (2020) bedöms de gynnsammaste förutsättningarna för grundvattenuttag finnas i ett skalförande skikt med grusig sand. Detta skikt har påträffats vid flera borrhningar under flygsanden. Utifrån provpumpningar har Sweco (2020) uppskattat transmissiviteten till mellan $3,7 \times 10^{-3}$ och $7,5 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$.

Utifrån de provborrningar som utförts 2020 (Sweco 2020) bedöms det vara möjligt att anlägga grusfilterbrunnar med uttagskapaciteter på ca 2 l/s. Dock krävs en längre tids provpumpning för att fastställa både brunnarnas kapacitet och om kvalitetsförändringar kan uppkomma över tid.

Anslutande ytvattensystem

Inom grundvattenmagasinet Ulla Hau finns inga större vattendrag. Magasinet står i kontakt med Östersjön vid Sudersand i söder, Aurudden i öster och Nordersand i norr. Under normala förhållanden är grundvattenströmningen riktad ut mot Östersjön, men vid större uttag i strandnära lägen kan sannolikt en inducering av salt ytvatten ske, vilket bör undvikas. Eftersom stora delar av grundvattenmagasinet undre begränsningsyta är belägen under havsnivån är risken för en negativ påverkan från inducerat saltvatten stor.

Tillrinningsområden och naturlig grundvattenbildning

Magasinet tillförs vatten från den nederbörd som faller på sandavlagringen. Magasinet tillrinningsområde har avgränsats översiktligt (bilaga 4) i kategorin primärt tillrinningsområde enligt principer som framgår av bilaga 6. En grov uppskattning av den naturliga grundvattenbildningen som tillförs magasinet från det primära tillrinningsområdet redovisas i tabell 1. Karlqvist m.fl. (1982) gör bedömningen att årsmedelavrinningen på Fårö, dvs. den del av nederbörden som inte avdunstar eller tas upp av växtlighet utan bildar yt- och grundvatten (i jordlager), uppgår till maximalt 150 mm/år. Sweco (2018) gör en liknande bedömning avseende grundvattenbildningen till jordlagren. Denna bedömning är ca 100 mm mindre än

Tabell 1. Tillrinningsområden, grundvattenbildning och bedömd uttagsmöjlighet för grundvattenmagasinet.

	Yta (km ²)	Effektiv nederbörd *	Naturlig grundvattenbildning (l/s)
Primärt tillrinningsområde	17,6	150 mm/år 4,7 l/s per km ²	87
Bedömd uttagsmöjlighet inom magasinet	30–40 l/s		

* Beräkningen av effektiv nederbörd grundas på bedömd grundvattenbildning för aktuellt område från Sweco (2018). Osäkerheten i det beräknade värdet kan vara betydande.

vad som anges av Rodhe m.fl. (2006), och speglar sannolikt förhållandena på Fårö bättre på grund av det utsatta och blåsiga läget. I tabell 1 har därför Swecos bedömning från 2018 legat till grund för bedömningen av grundvattenbildningen inom magasinet Ulla Hau.

Uttagsmöjligheter

Den redovisade uttagsmöjligheten i tabell 1 är en grov uppskattning av hur mycket grundvatten som långsiktigt kan utvinnas med ett rimligt antal standardmässiga brunnskonstruktioner, fördelade på lämpliga platser inom magasinet. Observera att för stora magasin kan i många fall större mängder totalt tas ut om antalet uttagspunkter ökas.

Uttagsmöjligheterna bedöms vara lägre än beräkningar från naturlig grundvattenbildning. Detta baserat på risk för saltvatteninträning, eftersom endast ca 7 km² av magasinets undre begränsningsyta ligger ovanför havsnivån. Inget tillrinningsområde utanför magasinet eller vattensystem med sött ytvatten kan heller bidra med förstärkningsmöjligheter under perioder med låg grundvattenbildning. Möjliga hållbara uttagsmöjligheter inom grundvattenmagasinet bedöms till totalt ca 30–40 l/s. Eftersom stora delar av grundvattenmagasinet ligger inom naturreservat begränsas placeringen av brunnar, vilket i sin tur kan medföra att all grundvattenbildning inte kan utnyttjas.

Inom höjdområdet norr om Ava har hydrogeologiska undersökningar utförts av Sweco (2018) för uttag av grundvatten ur brunnar i kalkstenen. Inför provpumpningar av dessa brunnar sattes ett antal observationsrör i jordlagren, men i flera av rören observerades ingen grundvattennivå. Inom detta område vid Ava och inom ett område norr om Verkegards (se bilaga 3) bedöms uttagsmöjligheterna vara mindre än 1 l/s ur magasinet i jordlagren.

Vid Ulla Hau och vidare till Sandhald samt vid Holm och Nordermorana bedöms uttagsmöjligheten inom grundvattenmagasinet Ulla Hau vara som gynnsammast. I dessa områden bedöms uttagsmöjligheten uppgå till över 5 l/s. Områdena är utpekade där större mättad zon har kunnat konstateras genom SkyTEM-mätningarna (Dahlqvist m.fl. 2015) och genom andra undersökningar utförda av bl.a. Sweco (2020). Inom övriga delar av grundvattenmagasinet bedöms uttagsmöjligheten till mellan 1 och 5 l/s, bedömningen baseras på den begränsade mäktigheten på den grundvattenförande zonen i dessa områden.

Konstgjord grundvattenbildning genom anläggning av infiltrationsdammar eller våtmark anses vara möjlig inom de områden där magasinet är som mäktigast, vid Ulla Hau eller mellan Vessa-Pers och Holm (Thulin-Olander 2015, Dahlqvist m.fl. 2017). Sjön Ajkesträsk bedöms kunna tjäna som reservoar för vattenuttag (Dahlqvist m.fl. 2017). Ajkesträsk ligger väster om grundvattenmagasinet Ulla Hau och har ett maximalt djup på 1,5 m och en yta på ca 0,75 km², och har därmed en relativt begränsad volym.

Grundvattnets användning

Inom grundvattenmagasinet Ulla Hau finns en kommunal vattentäkt och brunnar för enskild vattenförsörjning. Information saknas för de enskilda privata brunnarna, förutom data från Brunnsarkivet som dock endast ger en fingervisning om antalet borrade brunnar. Det är troligt att det även finns ett relativt stort antal grävda brunnar inom magasinet Ulla Hau.

Den kommunala vattentäkten tar ut grundvatten ur ett antal brunnar i jordlagren. Under 2010–2018 producerades ca 10 000 m³ per år ur Fårö vattenverk (Region Gotland 2019). Uttagen varierar stort över året. Omkring 70 % av vattnet används under juni–augusti (Region Gotland 2019). Under sommarperioden (juni–september) har det skett transport av vatten till Fårö från Gotland för att stärka vattentillgången. Brunnarna i jord är sedan 2016 kompletterade med brunnar nedförda i kalkstenen, se bl.a. Sweco (2018). Det saknas för närvarande (2021) tillstånd och vattenskyddsområde för både brunnarna i jord och de i berggrunden, men tillståndsansökan avseende ett uttag på 4 400 m³ per år i kalkstenen pågår.

Grundvattnets kvalitet

Grundvattenkemiska data redovisas i tabell 2. Tabellen följer i tillämpliga delar SGUs ”Bedömningsgrunder för grundvatten” (SGU 2013). Mer information om aktuella provpunkter och tillgängliga analyser ges i bilaga 8. Provpunkternas geografiska lägen, förutom den kommunala vattentäkten, framgår av bilaga 1. En allmän beskrivning av centrala grundvattenkemiska parametrar och processer ges i bilaga 9. Mikrobiologiska analysparametrar har inte beaktats. Analysresultat finns från åtta provplatser, varav sju enskilda brunnar och en kommunal vattentäkt. Provpplatserna ligger i den västra delen av magasinet (se bilaga 1) och analysresultaten ger en fingervisning om karaktären i grundvattnets kemiska sammansättning i magasinet.

Tolkningen av grundvattnets kemiska karaktär i grundvattenmagasinet Ulla Hau, som följer under avsnitten *Naturligt förekommande ämnen* och *Mänsklig påverkan* är, om inget annat anges, gjord med stöd av SGUs ”Bedömningsgrunder för grundvatten” (SGU 2013).

Naturligt förekommande ämnen

Grundvattenkemin i magasinet Ulla Hau är tämligen stabil. Med få undantag uppvisar analyserade parametrar en mycket begränsad variation av halter, både över tid och mellan provpunkter. Alkaliniteten, pH-värdet och kalciumhalten är hög, vilket är naturligt på grund av kalkstensberggrunden.

Halterna av kalium, magnesium, klorid, mangan och fluorid är generellt låga i magasinet. Högre halter av klorid kan troligen förekomma lokalt inom grundvattenmagasinet. Sweco (2020) uppmätte kloridhalter på mellan 60 och 110 mg/l i två av de prospekteringsrör som utfördes 2020. En förklaring kan vara att de sitter i en lokal sänka underlagrad av tätare berggrund, som medfört att relik saltvatten står kvar. Halterna av järn och COD_{Mn} är höga, vilket kan förklara det genomgående höga färgtalet i alla analyser. Den höga kemiska permanganatförbrukningen kan bero på förekomst av organiskt material i sanden. Sweco (2020) bedömer att det troligen är tånginblandning.

Mänsklig påverkan

Den mänskliga påverkan på grundvattenkemin i det undersökta magasinet bedöms vara begränsad. Endast i en av de provtagna brunnarna (B3) kan förhöjda halter av nitrat och fosfat noteras, vilket kan indikera påverkan från gödsel eller avlopp. Det är relativt vanligt med enskilda avlopp på Fårö.

Tabell 2. Sammanställning av samtliga tillgängliga analysresultat på uttagna prover från grundvattenmagasinet Ulla Hau. För mer information om respektive provpunkt och referenser kopplade till denna, hänvisas läsaren till bilaga 1, 5 och 8. Sammanställningen följer i tillämpliga delar klassindelningen i SGUs "Bedömningsgrunder för grundvatten" (SGU 2013) och redovisningen har färgkodats därefter (Klass 1 = blå, Klass 2 = grön, Klass 3 = gul, Klass 4 = orange, Klass 5 = röd). Klassindelningens innebörd skiljer sig åt mellan parametrar. Höga halter representeras i regel av högre klasser, men undantag finns (t.ex. för parametern alkalinitet).

Parameter	Enhet	2015-08-17	2013-04-02	2012-05-29	2018-06-11	2012-08-28	2007-07-25	2015-07-15	2015-05-26
		Sudersand vkt	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7
pH		6,6	7,5	7,8	7,5	7,8	7,9	7,1	7,6
Alkalinitet, HCO ₃	mg/l	62	180	140	200	94	129	95	140
Kalcium	mg/l	32	61	44	70	39	52	36	50
Kalium	mg/l	4,2	1,7	5,5	2,3	2,9	2,3	4,2	1,4
Magnesium	mg/l	4,4	1,8	2,6	3,6	4,2	1,5	2,2	1,5
Natrium	mg/l	15	6,6	9,9	8,6	14	11	14	5,3
Totalhårdhet	dH	5,5	9	6,8	11	6,5	7,6	5,6	7,4
COD _{Min}	mg O ₂ /l	15,3	13	24	15	44	22	20	8,2
Färg	mg Pt/l	116	68	260	75	370	230	77	54
Turbiditet	FNU		1,2	6,6	0,77	9	4,8	0,82	6,3
Klorid	mg/l	24	8,9	13	17	29	15	13	9,4
Konduktivitet	mS/m	29,2	33	28	44	26	30	26	30
Sulfat	mg/l	44	12	10	17	4,7	18	24	6,6
Ammonium	mg/l	0,25	0,06	0,045	0,026	0,051	0,014	<0,01	0,27
Nitrat	mg/l	2	<0,44	<0,44	20	<0,44	<2	<0,44	0,97
Nitrit	mg/l	<0,05	<0,007	<0,007	0,03	<0,033	<0,01	<0,007	<0,007
Aluminium	mg/l				0,065				
Järn	mg/l	0,97	0,71	9,1	0,26	4,6	1,7	0,35	1,7
Mangan	mg/l	0,055	0,024	0,049	0,041	0,092	0,029	0,012	0,053
Arsenik	µg/l		1,4		0,9	1,6		0,61	
Uran	µg/l		0,37		0,37	0,47		0,83	
Bly	µg/l		7,4		0,23	1,4		4,7	
Kadmium	µg/l				0,048				
Koppar	mg/l		0,029	0,032	0,024	<0,02	<0,02	0,051	<0,02
Krom	µg/l				0,55				
Nickel	µg/l				1,3				
Fluorid	mg/l	<0,1	0,25	0,68	<0,2	0,59	<0,3	<0,2	<0,3
Fosfat	mg/l	<0,02	0,095	<0,02	0,58	1	0,023	0,031	0,092

Vid en undersökning 2010 av dioxin i kommunala vattentäkter på Gotland kunde en variant av dioxinet (2,3,7,8-TeCDF) i låga halter observeras i vattentäkten Sudersand på Fårö (Vejlens 2012). Någon tydlig källa till dioxinet kunde inte återfinnas enligt Vejlens.

Vid prospekteringsborrningarna 2020 (Sweco 2020) analyserades prover efter bl.a. ett antal bekämpningsmedel och klorerade lösningsmedel. Inga detekterbara halter av de undersökta ämnena kunde observeras. Enligt VISS (2020) har halter av BAM detekterats vid något tillfälle, men då under riktvärdet.

Klimatförändring och effekten på grundvattenmagasinet

Enligt den regionala vattenförsörjningsplanen för Gotland (Länsstyrelsen Gotlands län 2018) förväntas de sydöstra delarna av Sverige, som en följd av ett förändrat klimat, få de största utmaningarna för dricksvattenförsörjningen. Grundvattenbildningen kommer att minska volymmässigt, samtidigt som det kommer att bli längre perioder med sjunkande grundvattennivåer under sommarhalvåret. Möjligheten till grundvattenuttag kan komma att minska, vilket kan leda till konkurrens om vattenresurserna. Sammantaget gör detta att påverkan bedöms bli som störst på tillgången i de grundvattenmagasin som har den minsta marginalen, dvs. där det råder en knapp tillgång redan i dag.

En ökad nederbörd på vintern i framtiden innebär inte automatiskt att mer vatten infiltrerar och bildar grundvatten. Gotlands geologiska förutsättningar med tunna jordlager och liten magasinvolym medför att merparten av nederbörden som faller under höst-vår inte bildar grundvatten. Nederbörden rinner i stället av från markytan som en ökad avrinning. Högre temperaturer innebär ökad avdunstning vilket förstärks av en förlängd vegetationsperiod. Dock utgör området vid Ulla Hau en för Gotland annorlunda miljö, där den mäktiga sand- och grusavlagringen med stor sammanhängande utbredning har en bättre förmåga att lagra grundvatten jämfört med andra områden på ön.

Referenser

- Dahlqvist, P., Thorsbrink, M., Holgersson, B., Nisell, J., Maxe, L. & Gustafsson, M., 2017: Vätmarker och grundvattenbildning – om möjlighet till ökad kapacitet vid grundvattentäkter på Gotland. *SGU-rapport 2017:01*. Sveriges geologiska undersökning, 73 s.
- Dahlqvist, P., Triumf, C.-A., Persson, L., Bastani, M., Erlström, M., Jørgensen, F., Thulin Olander, H., Gustafsson, M., Thorsbrink, M., Schoning K. & Curtis, P., 2015: SkyTEM-undersökningar på Gotland. *Rapporter och meddelanden 136*. Sveriges geologiska undersökning, 56 s.
- Erlström, M., Persson, L., Sivhed, U. & Wickström, L., 2009: Beskrivning till regional berggrundskarta över Gotlands län. *Sveriges geologiska undersökning K 221*, 54 s.
- Karlqvist, L., Fogdestam, B. & Engqvist, P. 1982: Beskrivning och bilagor till hydrogeologiska kartan över Gotlands län. *Sveriges geologiska undersökning Ab 3*, 60 s.
- Länsstyrelsen, 2020: VISS, Vatteninformationssystem Sverige, Länsstyrelsen. <www.viss.lansstyrelsen.se/Waters.aspx?waterMSCD=WA44506915> Åtkommen den 4 mars 2021.
- Länsstyrelsen Gotlands län, 2018: Regional vattenförsörjningsplan för Gotlands län. Diarie-nummer 537-573-17, 71 s.
- Rodhe, A., Lindström, G., Rosberg, J. & Pers, C., 2006: Grundvattenbildning i svenska typjordar – översiktlig beräkning med en vattenbalansmodell. Uppsala universitet, Institutionen för geovetenskaper. *Report Series A No. 66*, 20 s.
- Svantesson, S.-I., 2008: Beskrivning till jordartskartan Gotland. *Sveriges geologiska undersökning K 4*, 45 s.

- Svantesson, S.-I., 2005: Jordartskartan Gotland, norra delen, skala 1:100 000. *Sveriges geologiska undersökning K 4:1*.
- Sweco, 2018: Fårö. Yttrande över hydrogeologiska utredningar 2015–2018. Uppdragsnummer: 1301104100. Referensnummer i SGUs register för grundvattenutredningar: 10921, 31 s.
- Sweco, 2019: Vattenförsörjning, Fårö. Undersökningssamråd 2019-10-14. <www.gotland.se/104818> Åtkommen den 4 mars 2021.
- Sweco, 2020: PM Ullahau – utlåtande efter prospekteringsborrning. Uppdragsnummer 13006688-100. Referensnummer i SGUs register för grundvattenutredningar: 10996, 7 s.
- Thulin Olander, H., 2015: *A contribution to the knowledge of Fårö's hydrogeology*. Examensarbete i geologi vid Lunds universitet, nr. 427. Referensnummer i SGUs register för grundvattenutredningar: 9851, 78 s.
- Vejlens, M., 2012: Dioxin i grundvatten på Gotland. *Rapporter om natur och miljö nr 2012:5*. Länsstyrelsen Gotlands län, 14 s.







Övriga utredningar

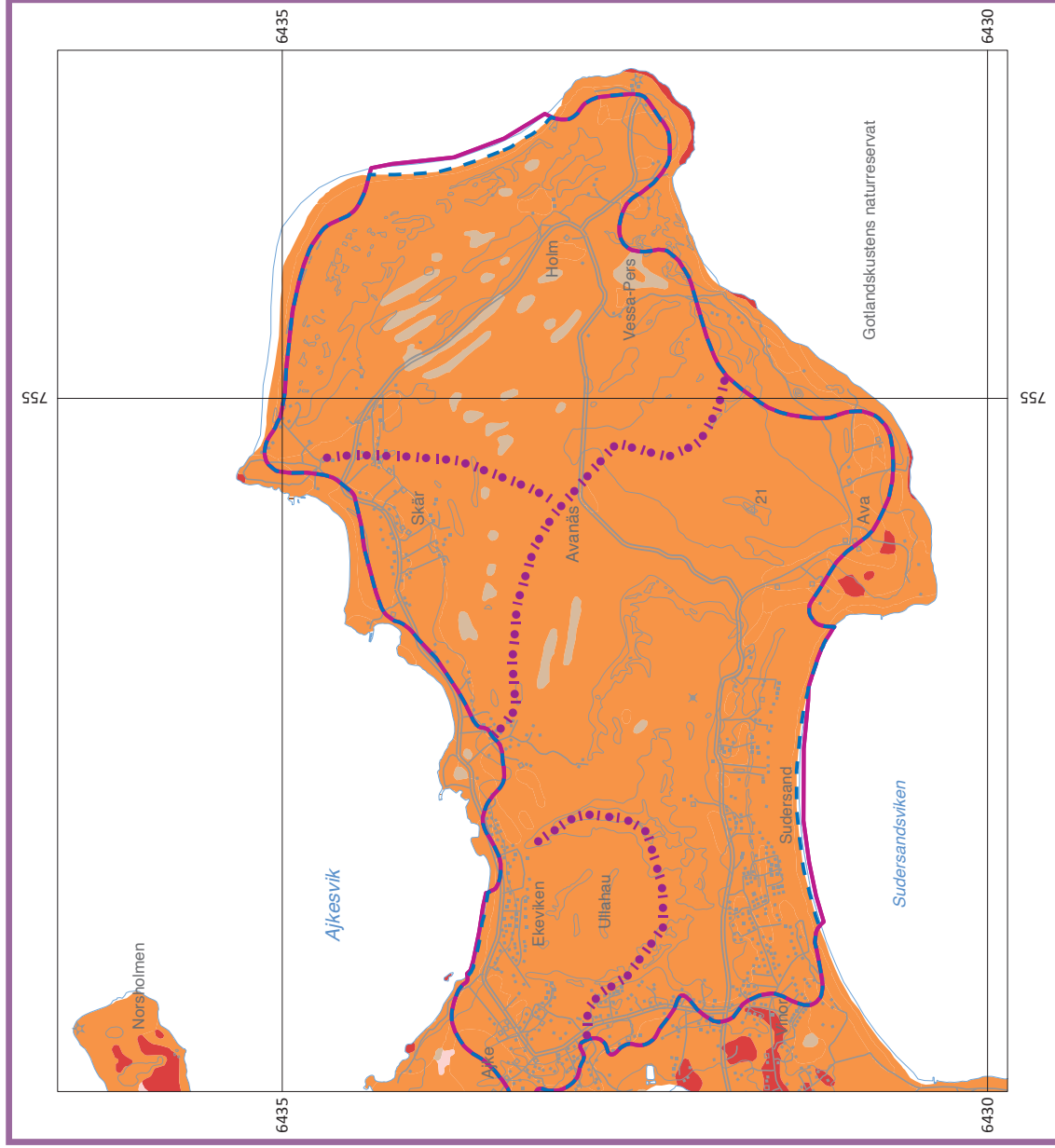
- VI AK, 1966: PM beträffande möjligheterna till vattenförsörjning av Sudersandsområdet på Fårö i Fårösunds kommun. Referensnummer i SGUs register för grundvattenutredningar: 5481.
- VI AK, 1972: Redogörelse för grundvattenundersökning vid Ullahau, Fårö. Referensnummer i SGUs register för grundvattenutredningar: 5411.
- WRS, 2011: VA-utredning för Fårö inför fördjupad översiktsplanering. Water Revival Systems, Akvanovum/Grundvattengruppen, Rapport nr 2010-0342-B. Referensnummer i SGUs register för grundvattenutredningar: 10928, 63 s.

BILAGA 1

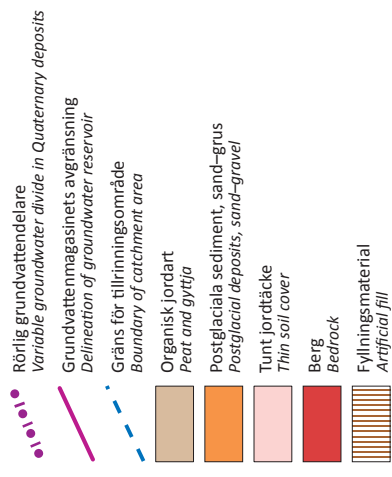
Undersökningar gjorda i grundvattenmagasinet



-  Lagerföljdsinformation finns (bilaga 5)
Stratigraphic information is available (appendix 5)
 -  Information om grundvattenkemi finns (tabell 2)
Information about groundwater chemistry is available (table 2)
 -  Geologisk profil
Geological cross section
 -  Grundvattenmagasinet avgränsning
Delineation of groundwater reservoir
 -  Gräns för tillrinningsområde
Boundary of catchment area
- 0  2000 m



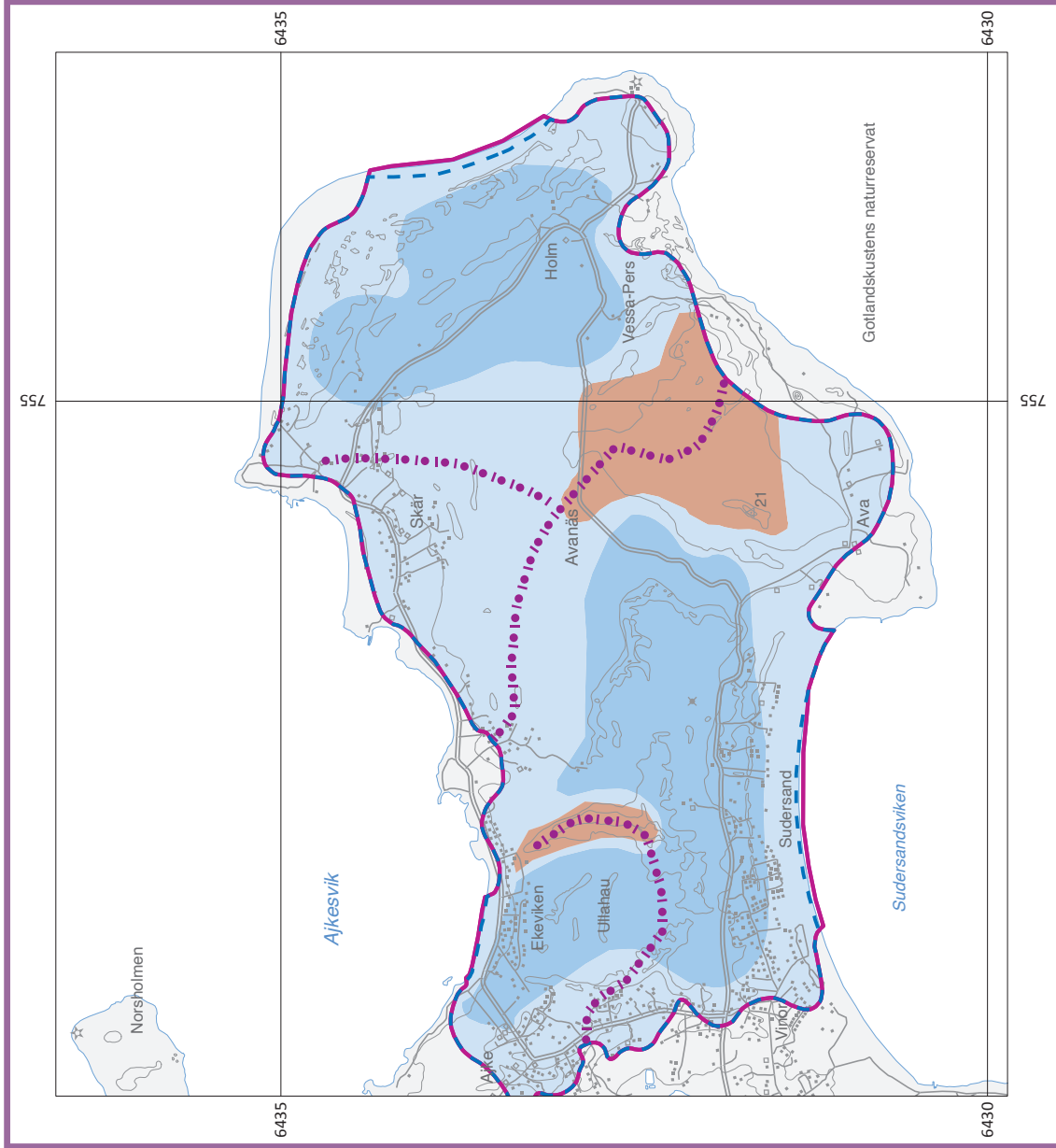
Kartans geologiska information finns digitalt lagrad vid SGU. Topografiskt underlag: Ur Terrängkartan. © Lantrådet.









Jordartsinformation ur SGUs jordartsgeologiska databas

Huvudkontor/Head Office:

Box 670
Besök/Visit: Villavägen 18
SE-751 28 Uppsala
Sweden
Tel: +46(0) 18 17 90 00
E-post: sgu@sgu.se
www.sgu.se



-  Rörlig grundvattendelare
Variable groundwater divide in Quaternary deposits
-  Grundvattenmagasinet avgränsning
Delineation of groundwater reservoir
-  Gräns för tillränningsområde
Boundary of catchment area
-  Bedömd uttagmöjlighet ur grundvattenmagasinet <math><1\text{ l/s}</math>
-  Bedömd uttagmöjlighet ur grundvattenmagasinet 1–5 l/s
-  Bedömd uttagmöjlighet ur grundvattenmagasinet 5–25 l/s

Kartans geologiska information finns digitalt lagrad vid SGU. Topografiskt underlag: Ur Terrängkartan. © Lantrådet.

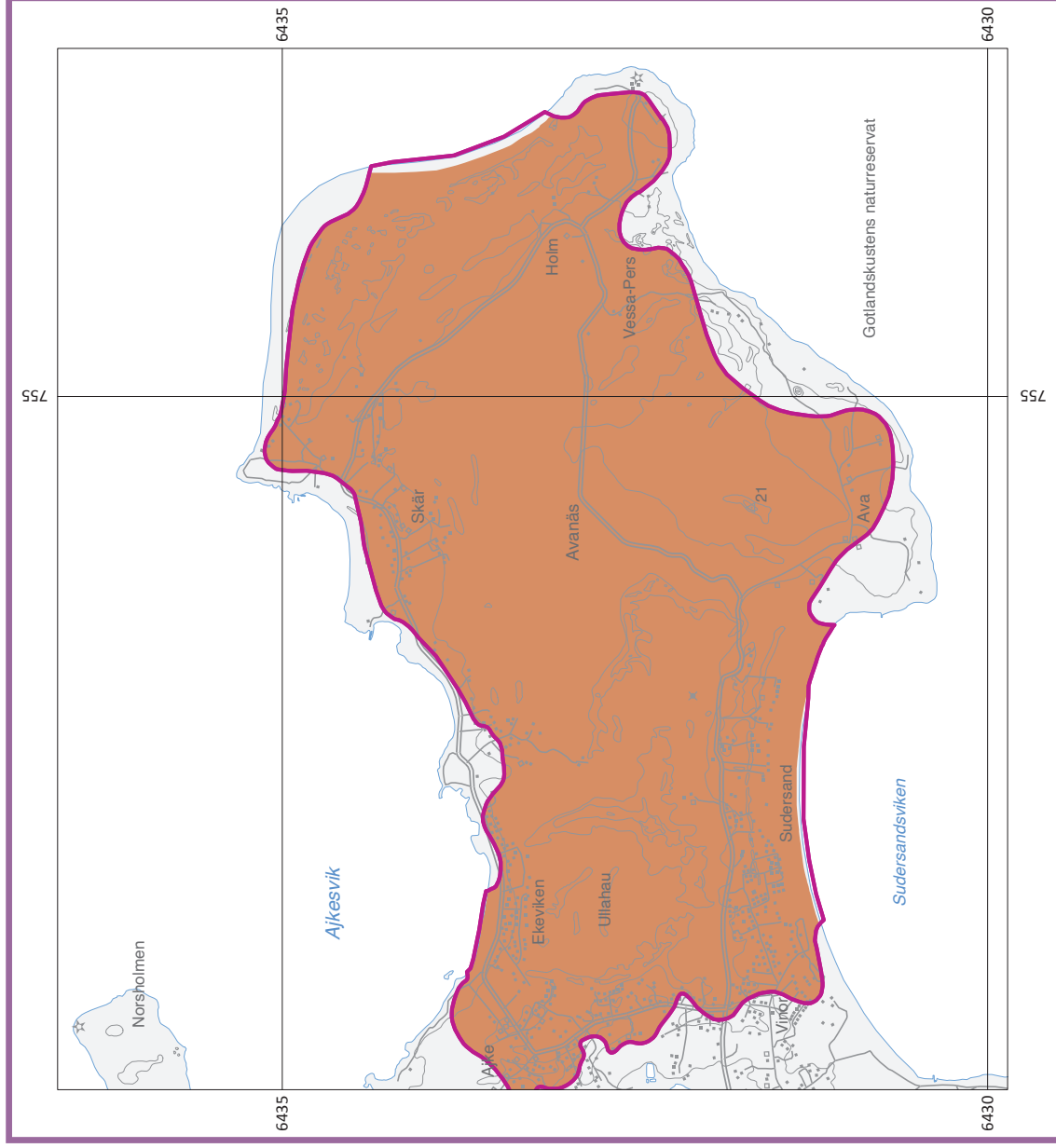


Skala 1:50 000



Huvudkontor/Head Office:

Box 670
Besök/Visit: Villavägen 18
SE-751 28 Uppsala
Tel: +46(0) 18 17 90 00
E-post: sgu@sgu.se
www.sgu.se
Sweden



- Grundvattenmagasinet avgränsning
Delineation of groundwater reservoir
- Primärt tillrinningsområde
Catchment area (primary)

För förklaring av tillrinningsområden se bilaga 6.

Kartans geologiska information finns digitalt lagrad vid SGU.
Topografiskt underlag: Ur Terrängkartan. © Lantrådet.

Huvudkontor/Head Office:

Box 670
Besök/Visit: Villavägen 18
SE-751 28 Uppsala
Sweden

Tel: +46(0) 18 17 90 00
E-post: sgu@sgu.se
www.sgu.se

BILAGA 5

Exempel på lagerföljder

Koordinater i SWEREF 99TM, höjder anges i RH 2000 om inget annat anges.

Namn: 902150713

Utförare: Ahlqvists Brunnsborrning AB

Databas-id: 902150713

Typ: brunnsborrning

Läge: N 6 433 431, E 751 851

0–2,5 m sand

2,5–17,0 m kalkberg hårt

17,0–24,0 m kalkberg lösare

Namn: 913576236

Utförare: Ahlqvists Brunnsborrning AB

Databas-id: 913576236

Typ: brunnsborrning

Läge: N 6 431 686, E 751 849

0–0,2 m jord

0,2–11,0 m sand

11,0–16,0 m kalkberg

Namn: 992009100

Utförare: Gotlandsbrunnar AB

Databas-id: 992009100

Typ: energibrunn

Läge: N 6 432 846, E 750 610

0–5 m avstånd från marknivå till berg

5–360 m berg

Namn: 916067683

Utförare: Visby Vatten & Energiborrning AB

Databas-id: 916067683

Typ: brunnsborrning

Läge: N 6 434 107, E 753 853

0–6,0 m sand, grå

6,0–7,0 m grus

7,0–12,0 m kalksten, grå, lös, sprickig

12,0–27,0 m mägersten, grå, lös, sprickig

Namn: 986106862

Utförare: Gotlandsbrunnar AB

Databas-id: 986106862

Typ: brunnsborrning

Läge: N 6 432 042, E 751 039

0–7,0 m finsand

Stabil vattennivå 1,2 m under markytan.

Namn: 986106979

Utförare: Ahlqvists Brunnsborrning AB

Databas-id: 986106979

Typ: brunnsborrning

Läge: N 6 432 869, E 752 459

0–7,0 m sand

7,0–36 m kalkberg, bräckt vatten

Namn: 993046440

Utförare: Ahlqvists Brunnsborrning AB

Databas-id: 993046440

Typ: brunnsborrning

Läge: N 6 432 824, E 755 460

0–13 m sand

13–14 m lerblandad sand

14–23 m kalkberg

Namn: 990060337

Utförare: Ahlqvists Brunnsborrning AB

Databas-id: 990060337

Typ: brunnsborrning

Läge: N 6 432 825, E 756 458

0–7 m sand

7–15 m kalkberg, vatten på 12 m.

Namn: 914610426

Utförare: Ahlqvists Brunnsborrning AB

Databas-id: 914610426

Typ: brunnsborrning

Läge: N 6 434 107, E 753 853

0–0,1 m jord

0,1–1,8 m sand

1,8–2,8 m grus

2,8–810 m kalkberg

BILAGA 6

Primära, sekundära och tertiära tillrinningsområden

Tillrinningsområde

Tillrinningsområdet till ett grundvattenmagasin är det område eller de områden varifrån nederbörd eller annat vatten kan rinna mot och tillföras magasinet. Tillrinningsområdets yttre gräns är ofta även gräns för det avrinningsområde (eller de avrinningsområden) som magasinet ligger inom.

I de fall mindre sjöar eller vattendrag ansluter till grundvattenmagasinet, ingår normalt hela deras avrinningsområden i magasinets tillrinningsområde. Stora avrinningsområden till anslutande sjöar och vattendrag inkluderas inte.

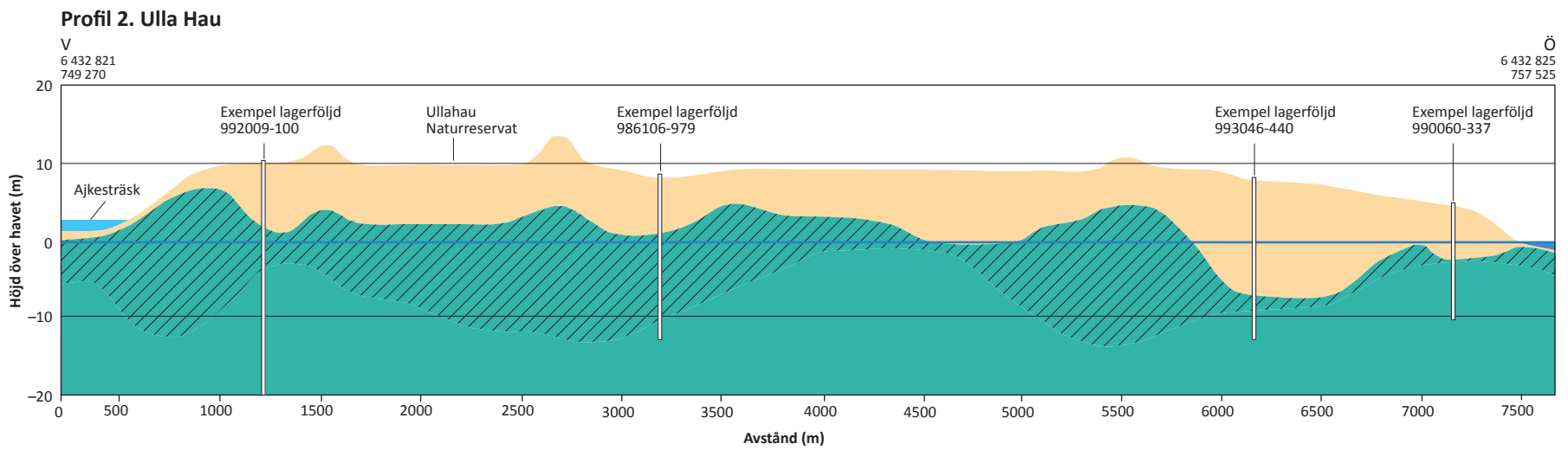
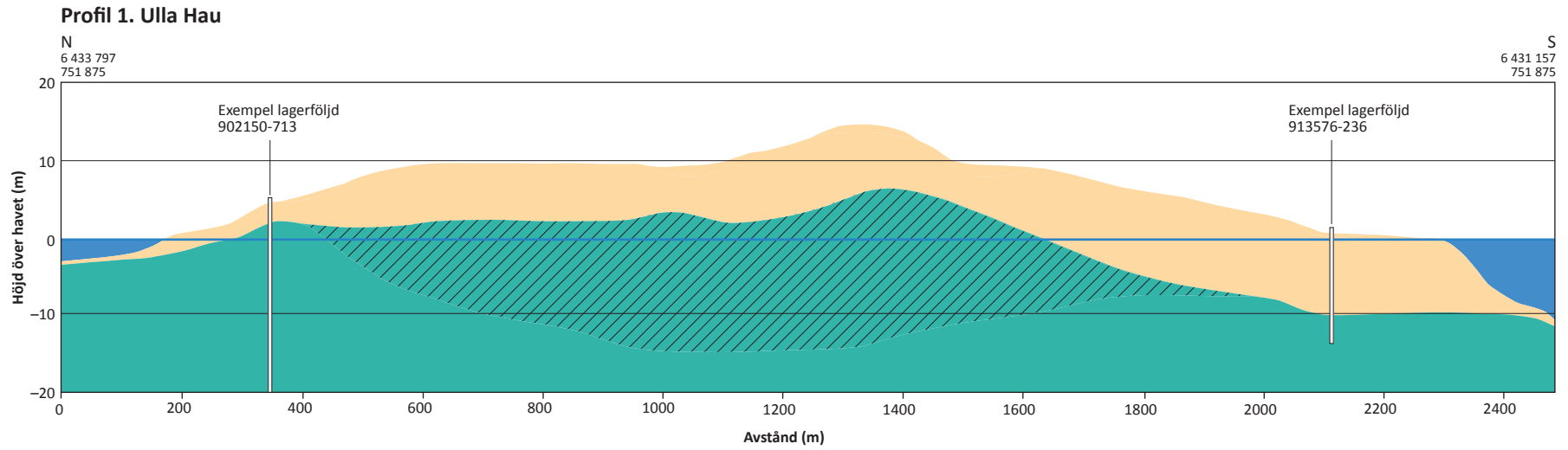
Tillrinningsområdet kan delas upp i primära, sekundära och tertiära delar, bl.a. beroende på om hela eller endast en del av den effektiva nederbörden kan tillföras magasinet.

Primärt tillrinningsområde	Den del av tillrinningsområdet där grundvattenmagasinet (den grundvattenförande formationen) går i dagen och hela eller den helt dominerande delen av den effektiva nederbörden tillförs magasinet.
Sekundärt tillrinningsområde	De delar av tillrinningsområdet utanför grundvattenmagasinet varifrån merparten av den effektiva nederbörden tillförs magasinet.
Tertiärt tillrinningsområde	Del eller de delar av tillrinningsområdet till ett grundvattenmagasin varifrån kontinuerlig ytvattendränering sker och där vanligen endast en mindre del av den effektiva nederbörden tillförs magasinet. Till det tertiära tillrinningsområdet räknas t.ex. markområden ovan eller vid sidan av grundvattenmagasinet, varifrån läckage av vatten till magasinet sker eller bedöms kunna ske under särskilda betingelser (avsänkning av grundvattennivån eller punktering av tätande lager genom markarbeten eller dylikt).

BILAGA 7

Geologiska profiler

Profilerna är baserade på den geologiska 3D-modellen över Fårö. 3D-modellen baseras i sin tur på resistivitetsdata från SkyTEM-mätningar (Dahlqvist m.fl. 2015). Profilernas läge visas i bilaga 1.



Sötvatten Saltvatten Sand Revkalksten Kalksten

BILAGA 8

Övergripande förutsättningar avseende provpunkter och analyser

Grundläggande information avseende aktuella provpunkter

Provpunkt	Provtagningsplats	Översiktliga hydrogeologiska förhållanden	Markanvändning	Intagsdjup (m u.m.y)	Omättade zonens mäktighet (m)
Sudersand vattentäkt	Kommunal vattentäkt	Sand, öppet, inströmningsområde	Skog	Vattenprov från flera brunnar	0–5
B1	Enskild vattentäkt	Sand, öppet	Bebyggelse, skog	Okänt	0–5
B2	Enskild vattentäkt	Sand, öppet	Skog	okänt	0–5
B3	Enskild vattentäkt	Sand, öppet	Skog	okänt	0–5
B4	Enskild vattentäkt	Sand, öppet	Bebyggelse, skog	okänt	0–5
B5	Enskild vattentäkt	Sand, öppet	Skog	okänt	0–5
B6	Enskild vattentäkt	Sand, öppet	Skog	okänt	0–5
B7	Enskild vattentäkt	Sand, öppet	Skog	okänt	0–5

Grundläggande information avseende tillgängliga analyser per provpunkt

Provpunkt	Antal prov	Tidpunkt	Referens/databas	Anmärkning
Sudersand vattentäkt	1	aug 2015	SGUs databaser	Kommunal vattentäkt, data från Vattentäktsarkivet
B1	1	april 2013	SGUs databaser	Användning permanent
B2	1	maj 2012	SGUs databaser	Användning del av året
B3	1	juni 2018	SGUs databaser	Användning del av året
B4	1	aug 2012	SGUs databaser	Användning permanent
B5	1	juli 2007	SGUs databaser	Användning del av året
B6	1	juli 2015	SGUs databaser	Användning permanent
B7	1	maj 2015	SGUs databaser	Användning permanent

BILAGA 9

Allmän beskrivning av grundvattnets kemiska sammansättning

Variationen i olika ämnens halter kan vara stor både inom ett enskilt grundvattenmagasin och mellan närliggande grundvattenmagasin. Speciellt viktiga aspekter att beakta är magasinets och tillrinningsområdets geologiska uppbyggnad, markanvändning och geokemiska sammansättning, samt grundvattnets uppehållstid.

Grundvattnets kemiska sammansättning styrs av nederbördens egenskaper och de processer som vattnet har utsatts för, på sin väg genom marken ner till grundvattnet. Särskilt viktig är den biologiska omsättningen av olika ämnen. Jonkoncentrationen ökar genom avdunstningen i de övre marklagren. Förändringar i jonsammansättningen sker genom att joner i det ned-sipprande vattnet byts ut mot joner som är bundna till markpartiklar, s.k. jonbyte, och genom sönderdelning av mineral, s.k. vittring. Jonbytesprocessen är speciellt intensiv när vattnet är i kontakt med organiskt material och lerpartiklar som har stor kontaktyta. Intensiteten av vittringen är främst beroende av mineralens vittringsbenägenhet och kontaktytan mellan vatten och mineral. Vittringen ”drivs” under naturliga förutsättningar av humussyror och kolsyra som bildas genom nedbrytning av växtrester. Vätejoner förbrukas vid vittringen varvid pH ökar. Genom förbränning av fossila bränslen tillfördes nederbörden under andra halvan av 1900-talet svavelsyra, som bidrog till ökad sulfathalt och tillskott av vätejoner som bidrar till ökad vittring. Nedfallet av svavel är nu en bråkdel av tidigare nivåer men viss påverkan kvarstår i marklager och grundvatten. Även nedfallet av kväve från förbränning och djurhållning har varit betydande under denna period. Även detta har minskat men framför allt södra Sverige utsätts fortfarande för en betydande atmosfärisk kvävetillförsel. Detta kväve tas dock normalt upp av växtlighet och tillförs vanligen inte grundvattnet.

Kalcit är det mest lättvittrade mineralet. Kalkhaltiga jord- och bergarter har mycket stor betydelse för grundvattnets kemiska sammansättning i områden med kalkberggrund. I övriga områden kan andra relativt lättvittrade mineral, som i allmänhet innehåller stor andel kalcium och magnesium, i kombination med finkorniga jordarter och lång uppehållstid ge grundvattnet hög totalhårdhet, liksom hög elektrisk konduktivitet som är ett mått på den totala halten lösta salter. Vid normal kolsyrevittring bildas lika mycket kalcium och magnesium som vätekarbonat. Alkaliniteten, som är ett mått på grundvattnets förmåga att motstå försurning, utgörs inom de normala pH-intervallen av vätekarbonat.

Grundvattnets surhet, vätejonkoncentrationen, anges som pH. Låga pH-värden kan bero på effekter av den sura nederbörden, men kan också ha naturliga orsaker. Ett ytligt grundvatten som är naturligt surt p.g.a. hög halt humussyror eller högt koldioxidtryck kanske aldrig hinner neutraliseras under sin uppehållstid i det grundvattenförande lagret.

Sulfatjoner som tillförs grundvatten från nederbörden har både mänskligt och marint ursprung. Kraftigt förhöjda halter i grundvatten har dock i allmänhet geologiskt ursprung och är då ett resultat av oxidation av sulfider. I vissa delar av landet (exempelvis Mälardalen) kan höga sulfathalter kopplas till dränering av gyttjeleror.

Fluoridhalten i grundvatten är beroende av berggrundens geokemiska sammansättning. Bergborrade brunnar belägna i områden med pegmatiter och vissa yngre graniter har ofta relativt höga fluoridhalter i vattnet. Jordbrunnar har generellt sett låga halter.

Grundvattnets kloridhalt beror storskaligt på det geografiska läget. Nederbörden bidrar med högre kloridmängder i sydvästra Sverige än på andra håll i landet p.g.a. det marina inflytandet. I delar av Sverige som tidigare har varit täckta av hav kan salt vatten finnas kvar i både jordlager och berggrund och ge höga kloridhalter i grundvattnet. Detta gäller även bergarter

som bildats i hav. Inträngning från hav är en vanlig orsak till höga kloridhalter i strandnära brunnar. Mänskliga påverkanskällor är vägsalt, avloppsinfiltration, soptippar m.m.

Höga nitrathalter beror praktiskt taget enbart på mänsklig påverkan. Problem med höga halter i grundvatten förekommer i jordbruksområden med genomsläppliga jordar, särskilt i jordgrundvatten. Även avloppsinfiltration kan bidra till förhöjda nitrathalter.

Variationerna i järn- och manganhalter kan vara stora, både mellan mycket närbelägna platser och med djupet i ett och samma borrhål. Detta beror på varierande redoxpotential och syreförhållanden. Järn och mangan går i lösning under syrefria förhållanden. Metallerna kan sedan fällas ut i markpartier med högre syrehalt. Detta kan man se tydligt, t.ex. i många grustag där vissa mycket väl avgränsade lager kan vara starkt rostfärgade av järnutfällningar eller svartfärgade av manganutfällningar. Av denna anledning bör analysresultat gällande dessa parametrar tolkas med särskild försiktighet.