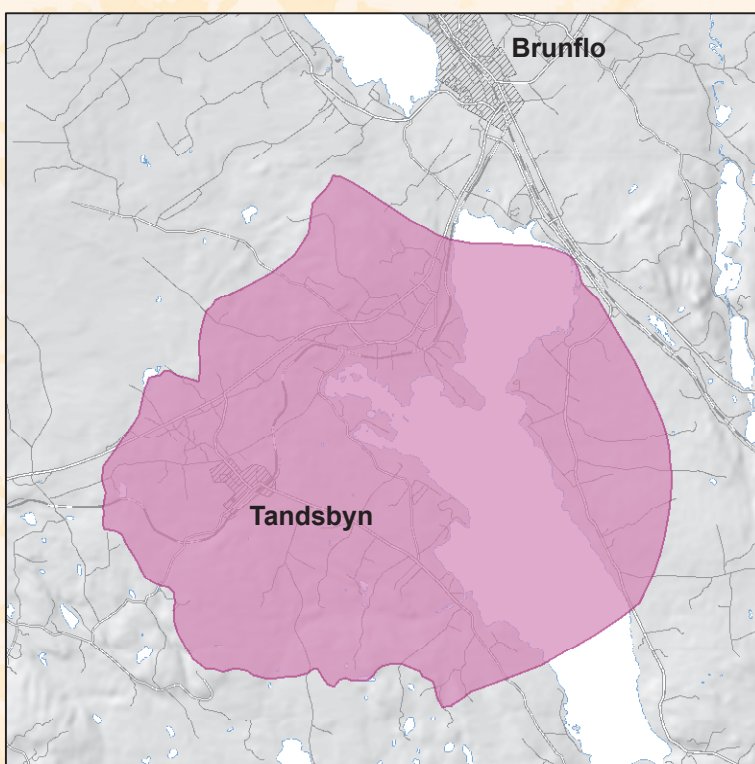


Grundvattenmagasinet Lockne

Peter Dahlgvist, Magdalena Thorsbrink
& Erik Sturkell



ISSN 1652-8336
ISBN 978-91-7403-435-6

Närmare upplysningar erhålls genom
Sveriges geologiska undersökning
Box 670
751 28 Uppsala
Tel: 018-17 90 00
Fax: 018-17 92 10
E-post: kundservice@sgu.se
Webbplats: www.sgu.se

© Sveriges geologiska undersökning, 2018
Redaktörer: Åsa Gierup och Johan Sporrang, SGU
Layout: Jeanette Bergman Weihed, Tellurit AB

INNEHÅLL

Grundvattenmagasinet Lockne	4
Sammanfattning	4
Inledning	4
Bedömningsgrunder	4
Tidigare undersökningar	4
Kompletterande undersökningar	4
Terrängläge och geologisk översikt	5
Områdets geologiska uppbyggnad	6
Hydrogeologisk översikt	7
Anslutande ytvattensystem	9
Tillrinningsområde och naturlig grundvattenbildning	10
Uttagsmöjlighet	11
Grundvattnets användning	11
Grundvattnets kvalitet	11
Tack	12
Referenser	12
Förteckning över utredningar	13

Bilaga 1

Karta över grundvattenmagasin med bergarter som bakgrund

Bilaga 2

Karta över bedömda uttagsmöjligheter

Bilaga 3

Karta över tillrinningsområden

Bilaga 4

Primära, sekundära och tertiära tillrinningsområden

GRUNDVATTENMAGASINET LOCKNE

Författare: Peter Dahlqvist, Magdalena Thorsbrink & Erik Sturkell
Kommun: Östersund
Län: Jämtland
Vattendistrikt: Bottenhavet
Databas-id: 250200022
Rapportdatum: 2016-03-30

Sammanfattning

Grundvattenmagasinet Lockne är ett grundvattenmagasin i berggrunden vars grundvatten finns i sprickor och porer i berget vid norra delen av Locknesjön. För ca 458 miljoner år sedan slog en meteorit ner i området och skapade de strukturer och några av de bergarter som idag huvudsakligen styr grundvattnets förekomst och transportvägar i området. Framför allt skapades som en följd av meteoritnedslaget breccierade (fragmenterade) bergarter med relativt stor andel porer och stor sprickfrekvens vilket skapar goda förutsättningar för grundvattenmagasinering. Dessutom har karstifiering av kalksten skapat snabba transportvägar för grundvattnet i området. Grundvattnet i magasinet har ett stort värde då en stor del tillförs Locknesjön via källflöden i sjöbotten. Magasinet har god till måttlig hydraulisk konduktivitet och möjligt grundvattenuttag bedöms till 75–100 l/s.

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 skyddszoner till vattentäkter, krävs som regel kompletterande undersökningar. Resultaten redovisas i kartform i bilagorna 1–3.

Undersökningarna har utförts 2013 till 2015 inom ramen för projektet ”Grundvattenkartering – Bottenhavets vattendistrikt” (projekt-id: 83017). För kompletterande information om arbetsmetoder hänvisas till SGUs kundtjänst.

Bedömningsgrunder

Tidigare undersökningar

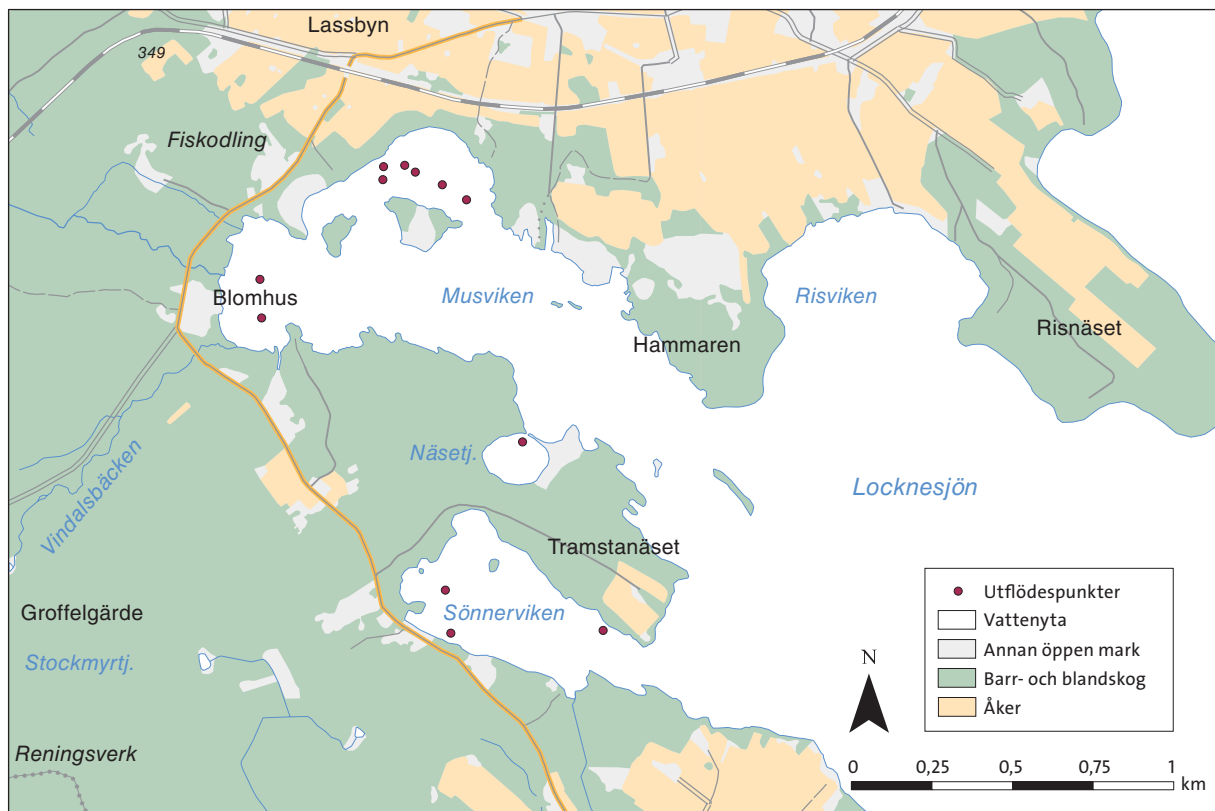
Grundvattenundersökningar har skett i anslutning till vattenförsörjningen i Tandsbyn och Lockne. En förteckning över utredningarna återfinns efter referenslistan i slutet av rapporten. Undersökningar av Bäckström (2001, 2005) redovisar resistivitetmätningar och studier av sprickfrekvens samt porositetsuppskattningar för bergarterna i området.

Befintlig geologisk och hydrogeologisk information, t.ex. kartor, utredningar, vetenskapliga publikationer och databaser (bl.a. SGUs brunnsarkiv, källarkiv och grundvattennät/miljöövervakning), har sammanställts och värderats. Ett urval av lagerföljdsuppgifter från olika utredningar har lagrats i SGUs databaser.

Kompletterande undersökningar

Fältobservationer har gjorts av SGU i området under fältbesök 2014–2015. Vid fältbesök med helikopter och båt påvisades 10–15 områden med grundvattenutflöden i vikar i de västnordvästra delarna av Locknesjön (fig. 1).

Vikarna är mestadels grunda och ovanifrån syns på sjöbotten flera erosionsformer, oftast som cirkelformer med uppskattningsvis 2–5 m i diameter (fig. 2–4), som en följd av välavgränsade grundvatten-



Figur 1. Ungefärliga lägen för observerade grundvattenutflöden (röda punkter).

utflöden. I Musvikens norra del kan man se ett stråk på ca 75 m med en undervattensdal i botten (fig. 2). Troligen är även denna företeelse skapad genom erosion från källflöden, i detta fall kraftigare. Enligt Bäckström (2001) finns det längs Locknesjöns västra kant tecken på undervattenserosion, kopplat till undervattensflöden knutet till bergartsledet Locknebreccian.

Några av områdena som lokaliserats under helikopterfärden undersöktes sedan via båt med temperaturspjut (fig. 3). Vattentemperaturen i Locknesjön var vid tillfället ca 14 °C på 2 m djup runt om i vikarna. I de ovan nämnda källutflödena på sjöbotten uppmättes temperaturer på 6–8 °C vilket tydligt visar på utflöde av grundvatten. De utflöden som kunde mätas var 1–3 m djupa från sjöbotten sett, ett flertal kunde inte nås med vår utrustning p.g.a. större djup.

I anslutning till källutflödena syns även stora ansamlingar av kransalger (fig. 4). Kransalgerna är beroende av det utströmmande kalkrika grundvattnet, vilket märks på de ansamlingar av alger som uppträder vid källutflödena.

En hydrogeologisk databas över det aktuella grundvattenmagasinet har upprättats med den insamlade informationen samt SGUs jord- och bergartsdata som grund. I den hydrogeologiska databasen ingår bl.a. data om tillrinningsområde, grundvattenbildning, 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 genom SGUs kundtjänst.

Terrängläge och geologisk översikt

Det finns olika bergarter inom grundvattenmagasinet Lockne. Det är framför allt de breccierade och impaktrelaterade bergarterna (främst Tandsbynbreccian), med tillräckligt med porer och sprickor, som har den stora magasineringsförmågan. Dock finns det även mycket sprickor i det under- och kringliggande urberget inom kratern vilket gör att även detta berg har en bra vattenförande förmåga. Sedan finns även



Figur 2. Musviken i Locknesjön med ett antal tydliga källupplöden. Källflödena syns som markanta fördjupningar i sjöbotten. Foto: Magdalena Thorsbrink.



Figur 3. Temperaturmätning från båt över ett av källutflödena i Locknesjön. Foto: Peter Dahlqvist.



Figur 4. I anslutning till källutflödena på Locknesjöns botten syns betydande samlingar av kransalger. Foto: Magdalena Thorsbrink.

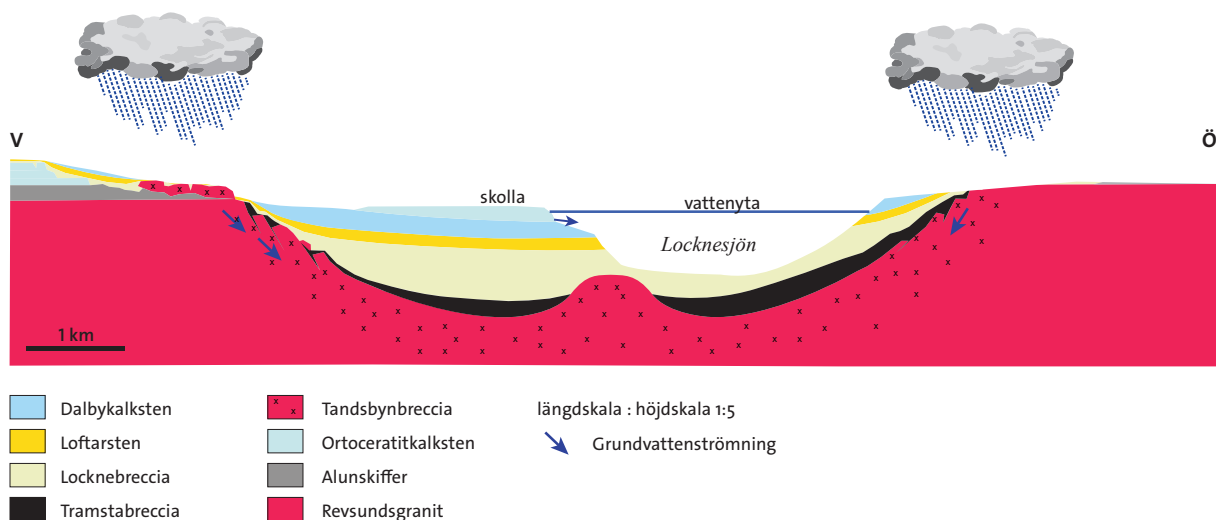
grundvatten i den karstifierade berggrunden bestående av kalksten. Markytan inom grundvattenmagasinets avgränsning ligger på ca 330–420 m ö.h. och över högsta kustlinjen.

Jordarterna i området består till övervägande del av morän. Jorddjupet är oftast 3–5 m, ett undantag är området kring Ångsta–Risnåset, där det finns jorddjup på 15 m. I områdets södra delar, längs Lokebäcken, finns det en ca 4 km lång isälsavlagring med en grustäkt.

Utöver Locknesjön finns ytvatten i form av ett fåtal småbäckar som alla rinner mot Locknesjön som i sin tur avvattnas söderut via Forsaån. Locknesjöns nivå ligger på ca 328 m ö.h., vilket ska jämföras med Storsjöns normalvattenstånd på 292 m ö.h. Storsjön ligger endast ca 2,5 km norr om Locknesjön vilket gör att nivåskillnaden talar för att det finns en impermeabel zon mellan Locknesjön och Storsjön.

Områdets geologiska uppbyggnad

Urberget i området kring Locknesjön domineras av granitiska bergarter, framför allt Revsundsgraniten med inslag av metavulkaniter och underordnat metagråvackor samt diabasgångar (Lundqvist m.fl. 2003, Karis & Strömberg 1998). De sedimentära bergarterna består företrädesvis av kambrisk alunskiffer och ordovicisk kalksten, mörkel och skiffer. I området skedde ett meteoritnedslag för ca 458 miljoner år sedan (Lindström m.fl. 1996, Grahm m.fl. 1996, Örmö m.fl. 2010). Området var då täckt av ett ca 500 m djupt



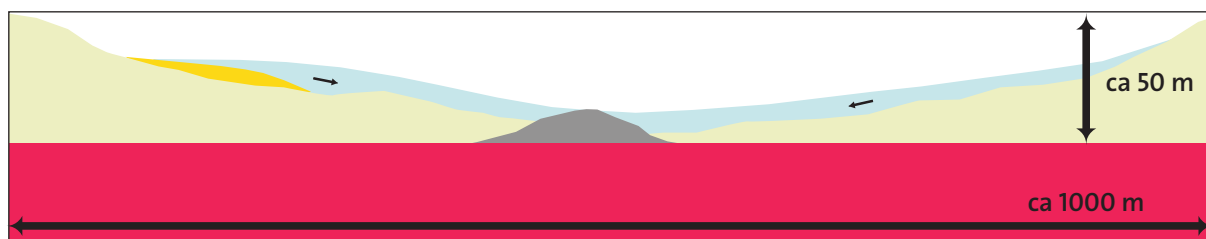
Figur 5. Profil från nedslagsstrukturen (Profilen omgjord efter Sturkell m.fl. 2013).

hav. Nedslaget skapade en krater i den kristallina berggrunden med en diameter på ca 7,5 km omgiven av ett område (ca 2–3 km brett, bredast på västra sidan av kratern) med ett täcke av utkastat material från kratern i urberget. Kraterns kant består mestadels av uppsprucket urberg, medans kraterns centrala del består av olika sedimentära bergarter som fyller hålrummet i urberget. I den prekambrika berggrunden skapades en nedslagsbreccia som går under namnet Tandsbynbreccian. Denna breccia finns både i kratern under den sedimentära ifyllnaden, vid kraterns kant, och i det utkastade materialet. När meteoriten slog ned skapades även en del så kallade "resurge deposits" (eller återsvalls sediment) i form av breccierade bergarter då utkastat material forsade tillbaka in mot kratern. Dessa bergarter är bland annat avlagrade i radiella erosionsfårar, ("resurge gullies") så kallade återsvallsraviner (Lindström m.fl. 2004, von Dalwigk & Ormö 2001) och bergartsledet kallas Locknebreccian. Denna breccia består av bergartsfragment, oftast ordovicisk kalksten, från sandstorlek till mycket stora block som ligger i ett kalkklerigt matrix (Ormö m.fl. 2007). Efter nedslaget återgick sedimentationen till det normala med ny kalkstensbildning i området. Dock var topografin något förändrad vilket gjorde att kalkstenen utbildades i olika typer, från massiv ren kalk, till bankad kalksten och till lerig kalksten (märgel) i olika delar av kratern (Frisk & Ormö 2007).

Området påverkades därefter av den kaledoniska bergskedjebildningen, då framför allt de sedimentära bergarterna kompakterades och därmed förlorade mycket av sin primära porositet. Kalkstenen i sig är mycket tät (Törnberg & Sturkell, 2005), och grundvatten i kalkstenen förekommer framför allt i sprick- och karstsystem. I sprickor i kalkstenen sker en ständig upplösning av kalken och det bildas karstsprickor. Pågående karstbildning förekommer på flera ställen i området vilket betyder att ytvatten kan dräneras ned i dessa områden. Det finns exempel på karstbildningar, bland annat finns ett flertal tiotals meter stora doliner, en form av kollapsstruktur pga. karstbildning öster om Kullstaberget strax väster om grundvattenmagasinets utbredning.

Hydrogeologisk översikt

De bergarter som huvudsakligen är grundvattenförande är de breccierade bergarterna som tillhör Tandsbynbreccian och det uppspruckna urberg som underlagrar dessa bergarter (fig. 5). Den kristallina berggrunden inom kratern är kraftigt uppsprucken och ibland breccierad. För den kristallina berggrunden inom kratern är sprickfrekvensen 25 gånger högre (ca 1000 sprickor/m²) jämfört med sprickfrekvensen för kristallin berggrund belägen utanför kratern (10 sprickor/m²), och dess porositet 1–5 % jämfört med en normal porositet på 0,5 % för kristallin berggrund utanför kratern (Bäckström 2001, 2005). Enligt Bäckström (2001) kan Locknebreccian lokalt ha porositet upp till 6 %. De breccierade bergarterna är



Figur 6. Nord-sydlig profil över återsvallsravinen strax väster om Tandsbyn (Tandsbyn Gully). Ytvavrinning och grundvattenströmningen rör sig mot lågpunkter i erosionsdalens centrala delar. Dessutom stupar dalen något mot sjön (profilen omgjord efter Lindström m.fl. 2004). För teckenförklaring se figur 5.

från några meter upp till 150 m mäktiga i kraterns centrala delar och finns på olika höjdnivåer inom dess utbredningsområde (fig. 5). Utanför själva kratern ligger de nära markytan medan de befinner sig på stort djup i de centrala delarna av kraterstrukturen (fig. 5).

De erosionsdalar som bildats ("resurge gullies") är tiotals meter djupa och har en bredd upp till någon kilometer, jämför figur 6 (Lindström m.fl. 2005a). Dessa depressioner som delvis syns i fält är delvis fyllda av porösa sediment och bergarter, och har en stor vattensamlade förmåga vilket bidrar till en ökad infiltrationskapacitet till grundvattenmagasinet. Grundvattnet rör sig med topografin mot sjön. Delar av grundvattnet fyller på de djupare liggande delarna av magasinet medan en del grundvatten tar ytligare vägar, ibland kopplat till karst i kalkstenen, och bildar källflöden i Locknesjön (fig. 5).

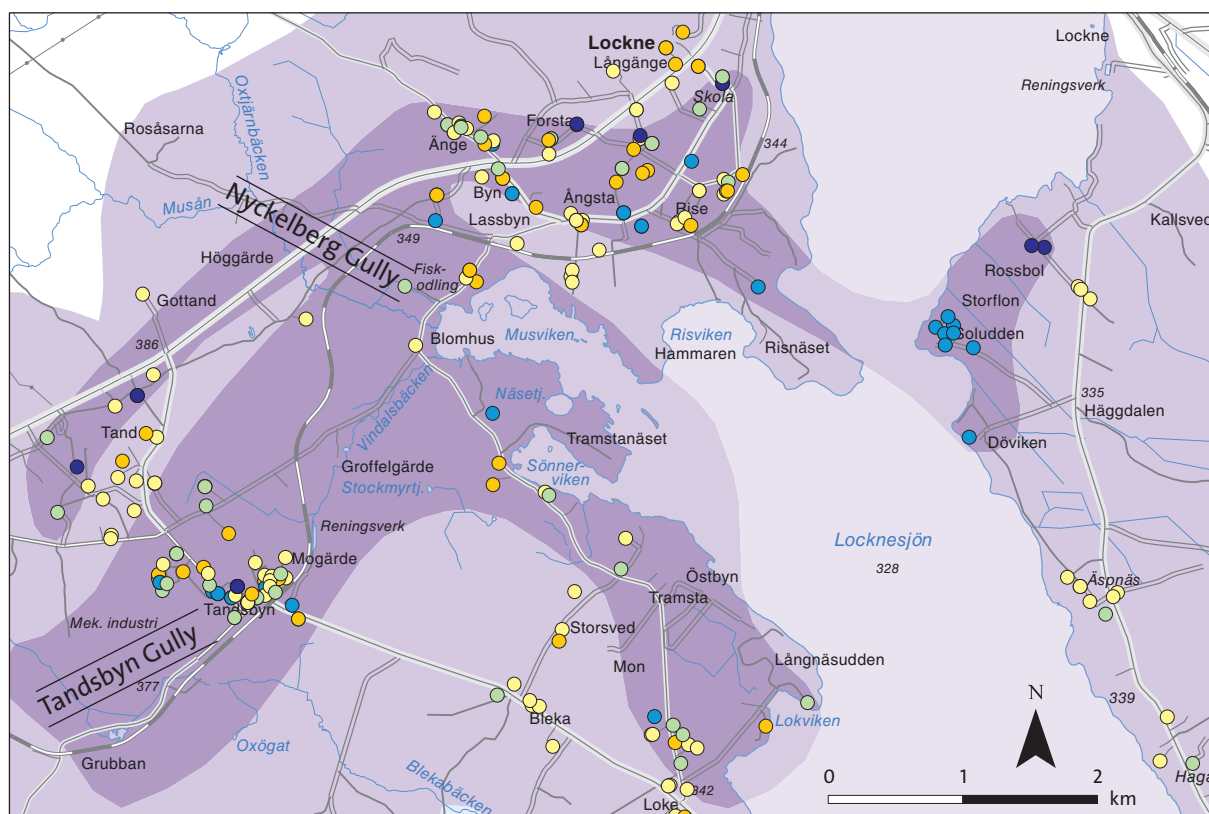
Magasinets avgränsningar grundas dels på bergartskartering utförd av SGU (Lundqvist m.fl. 2003, Karis & Strömberg 1998) men framför allt på de uppgifter som fåtts från de vetenskapliga studier (t.ex. Lindström m.fl. 2005a, Sturkell m.fl. 2013) som utförts kring nedslagsstrukturen. I delar av magasinet har en viss anpassning har också gjorts till avrinningsområdesgränserna i området.

Indelningen av magasinet i olika delområden beroende på bedömd uttagsmöjlighet, har utöver de vetenskapliga underlagen även gjorts med stöd av uttagsuppgifter i SGUs brunnarsarkiv. I Brunnarsarkivet finns ett flertal brunnar med betydande uttagskapaciteter vilka redovisas i figur 7. Dessa brunnar sammanfaller delvis med de erosionsdalar (resurge gullies) som identifierats i forskningsstudierna rörande Locknekratern, jämför figur 6. Intressant är också att även de källflöden som noterats vid SGUs fältbesök (jämför fig. 1) är knutna till dessa områden.

Grundvattenmagasinet Lockne är ett delvis öppet, delvis slutet magasin. I vissa brunnar i området har man ett artesiskt tryck, bl.a. vid grundvattentäkten i Tandsbyn och vid borrhålet Lockne 1 där det senare är en forskningsborrning som finns redovisad i skriften Ormö et al, (2007). Att det finns flera brunnar med artesiskt tryck bekräftas vid samtal med boende i området. Enligt Bäckström (2001) är kalkstenen, speciellt den märkliga Dalbykalkstenen, i området att betrakta som en akvitard som tack vare sin impermeabilitet stänger in grundvattnet i den underliggande uppspruckna och breccierade bergrunden. Törnberg och Sturkell (2005) gjorde en omfattande petrofysisk undersökning av samtliga Lockneområdets bergarter och den uppspruckna graniten hade en porositet på mellan 1,8–2,4 %, medan kalkstenen hade så låg porositet som 0,3–0,8 %, vilket stärker dessa teorier. Återsvallsbergarterna har generellt mycket liten porositet och tillsammans med den överlagrande leriga Dalbykalkstenen agerar dessa som tätande lager ovan den kristallina breccian och det uppspruckna urberget, där grundvattenreserverna finns i kraterområdet.

I området finns ett antal källor, i SGUs källarsarkiv finns dock bara en registrerad, en källa vid Ångsta. Enligt uppgift är det en källhorisont med ett flöde på 3–10 l/s.

I området finns även ett antal äldre stora deformationszoner som troligen har haft, och fortfarande har, en påverkan på hydrogeologin i området. I strykningens riktning med Locknesjön, norr till söder, går en plastisk skjuvzon rakt igenom Locknesjön. Sydväst om Locknesjön finns den så kallade Forsaånzonen med en nordnordvästlig riktning som tillhör ett större regionalt deformationszonssystem tillhörande Hasselaskjuvzonen. Mot sydväst går den ihop med den så kallade Storsjön–Edsbyn-deformationszonen.



Brunnsarkivet
Kapacitet l/h

- 0–600
- 600–2000
- 2000–6000
- 6000–15000
- 15000–40000

Bedömd uttagsmöjlighet ur grundvattenmagasinet 20000–60000 l/h

Bedömd uttagsmöjlighet ur grundvattenmagasinet 60000–200000 l/h

Figur 7. Brunnar från brunnarsarkivet med beräknad hydraulisk konduktivitet. I figuren visas även läget för två av de återsvalldalar (resurge gullies) som identifierats i anslutning till Locknekraterns utbredning (von Dalwigk & Örmö 2001).

För mer information om dessa deformationszoner, se Bergman & Sjöström (1994) och Högdahl (2000). I området har det även skett blockförkastningar (Sturkell & Lindström 2004) som ytterligare komplicerar geologin och hydrogeologin samt tolkningar av dessa.

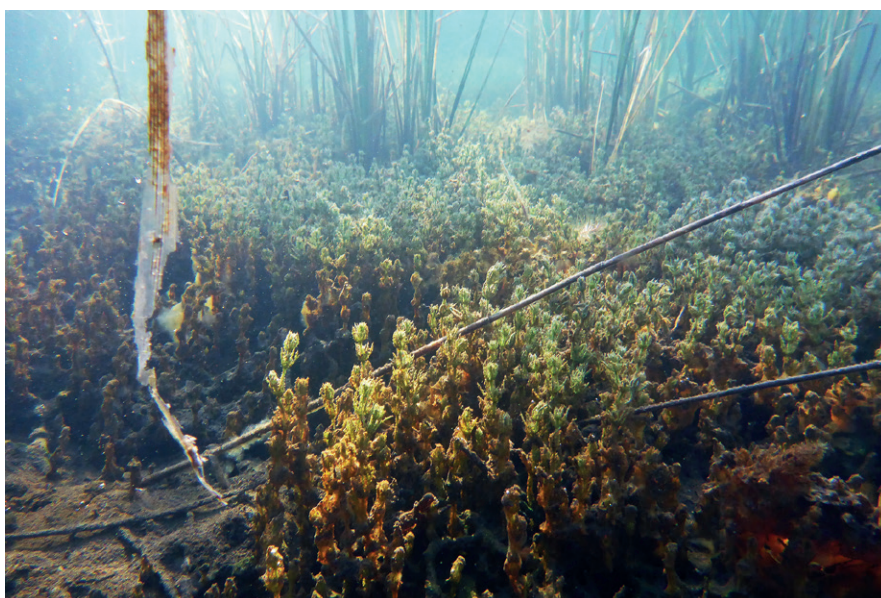
Sammanfattningsvis kan man säga att det inom det avgränsade området finns goda förutsättningar för relativt stora grundvattenuttag, antingen genom vattenuttag i anslutning till det uppåtriktade grundvattenutflödet i botten på Locknesjön eller i brunnar placerade i de mest vattenförande delarna av grundvattenmagasinet i berggrunden. Uppskattningsvis kan man utvinna upp till ca 100 l/s, se bilaga 3. Den komplexa geologin gör det svårt att med säkerhet förutspå var de bästa förhållandena finns, men gissningsvis är de nordvästra delarna av Locknesjön de bästa. Dock kan man troligen finna lokalt goda förutsättningar inom hela området. Vid ett eventuellt framtida större uttag av vatten, måste hänsyn tas till de grundvattenberoende ekosystem som finns i Locknesjön. Särskilt gäller detta sårbara ekosystem i anslutning till det uppströmmande grundvattnet.

Anslutande ytvattensystem

Locknesjöns nivå ligger på ca 328 m ö.h. Det finns inga sjöar uppströms i tillrinningsområdet och tillskottet via anslutande vattendrag är begränsat, varför Locknesjön främst är en källsjö. Ytvattentillrinningen till Locknesjön sker via ett antal mindre bäckar varav två är något större, Musbäcken och Lokbäcken. En betydande del av Locknesjöns vatten tillförs via källflöden längs kanterna eller i botten av sjön. Locknesjön avvattnas via Forsåån med en årsmedelvattenföring på ca 1,2 m³/s (fig. 8). Sjön har ett relativt högt pH (ca 8). Det är inte troligt att vatten tillförs grundvattenmagasinet från Locknesjön. Den kalkkrävande



Figur 8. Flödesmätning vid Locknesjöns utlopp. Foto: Magdalena Thorsbrink.



Figur 9. Kransalger vid utloppet från Locknesjön. Foto: Magdalena Thorsbrink.

undervattensvegetationen (kransalger, se figur 9) i sjön tycks trivas extra bra i anslutning till områdena kring de markanta källutflödena.

Tillrinningsområde och naturlig grundvattenbildning

Magasinet tillförs vatten i huvudsak från den nederbörd som faller på jordlagren som överlagrar magasinet och i viss mån berget i de fall bergarterna går i dagen. Det ytliga grundvattnet från jordlagren infiltrerar till magasinet i berggrunden. Vatten som inte infiltrerar till jordarterna rör sig mot lågpunkter och ett visst tillflöde till grundvattnet sker troligen i dessa områden bland annat från anslutande vattendrag. Indikationer finns på att lågpunkter kan vara kopplade till karstsprickor vilket gör att mycket vatten kan infiltrera till grundvattenmagasin i dessa områden.

Magasinet tillrinningsområde har avgränsats översiktligt (bilaga 3) och tilldelats kategorin tertiärt tillrinningsområde enligt de principer som framgår av bilaga 4.

Tabell 1. Tillrinningsområden, grundvattenbildning och bedömd uttagsmöjlighet.

	Yta (km ²)	Bedömd grundvattenbildning som når magasinet (mm/år)	Bedömt vattenflöde till magasinet (l/s)
Tertiärt tillrinningsområde	80	43	109
Grundvattenbildning, morän*	287 mm/år (9 l/s per km ²)		
Bedömd uttagsmöjlighet inom magasinet **	75–100 l/s		

* Beräkningen av effektiv nederbörd grundas på klimatdata från perioden 1962–2003 för aktuellt område (Rodhe m.fl. 2006). Osäkerheten i det beräknade värdet är betydande.

** Uttagsmöjligheten baseras grundvattenbildningen inom tillrinningsområdena till magasinet och antagandet att 15 % av grundvattenbildningen i jordlagren når magasinet i berggrunden.

En grov uppskattning av den naturliga grundvattenbildning som tillförs magasinet från det tertiära tillrinningsområdet redovisas i tabell 1. Uppskattningen utgår ifrån värden för grundvattenbildning i svenska jordarter av Rodhe m.fl. 2006. Då morän är den dominerande jordarten inom tillrinningsområdet har värdet för moränjordar använts vilket är 287 mm/år (Rodhe m.fl. 2006). Den andel av grundvattenbildningen som når ner till det avgränsade grundvattenmagasinet i den sedimentära berggrunden har antagits till 15 % av grundvattenbildningen i den överlagrande moränen, dvs 43 mm/år. Detta är en grov uppskattning som i vissa delar inom tillrinningsområdet sannolikt är högre, och i andra delar lägre. Grundvattenbildningen till berg är troligen som störst i områden med ytlig breccierad och karstifierad berggrund.

Uttagsmöjlighet

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

Som diskuterats ovan sker en mycket stor del av Locknesjöns tillrinning från grundvattenmagasinet Lockne. Storleken på möjliga grundvattenuttag måste därför alltid ställas i relation till en minskad grundvattentillförsel, och vilka effekter detta har på Locknesjön och dess grundvattenberoende ekosystem. För att inte utsätta sjöns ekosystem för risker som kan leda till irreversibla skador bör ett eventuellt större uttag föregås av en ekologisk riskbedömning. Möjligen kan kanske större uttag tillåtas under kortare perioder samtidigt som mindre uttag kan tillåtas under längre perioder.

Grundvattnets användning

I samhället Tandsbyn finns en kommunal grundvattentäkt som producerar ca 130 m³/dygn (1,5 l/s) vilket är ca 47 000 m³/år. Det har tidigare funnits en kommunal grundvattentäkt i byn Lockne men denna är nedlagd i dag. Det finns ett antal enskilda vattentäkter i magasinet, dock är uttagsmängden okänd.

Grundvattnets kvalitet

I Vattentäcksarkivet finns ett antal analyser från grundvattentäkten i Tandsbyn. Mellan 2010 och 2012 kan vattnet karakteriseras enligt följande (värdena anges som medelvärde och baseras på minst två analyser och som mest fem analyser): pH 7,9, konduktivitet 42 mS/m, totalhårdhet 11 dH, koppar 43 µg/l, alkalinitet 240 mg HCO₃⁻/l, natrium 13,5 mg/l, magnesium 8,7 mg/l, kalcium 62,5 mg/l, kalium 1,4 mg/l, radon 3,4 Bq/l, nitrit 0,03 mg/l, fluorid 1 mg/l, bly 0,07 µg/l, klorid 2,5 mg/l, sulfat 23,5 mg/l.

Tack

Vi vill rikta ett tack till Jens Ormö och Ann Bäckström för diskussion kring Locknekratern och den geologiska historien i området.

Referenser

- Bäckström, A., 2001: Electric resistivity, magnetic susceptibility and fracture frequency of impactites and basement rocks of the Lockne crater. Examensarbete, Stockholms Universitet, Uppsats 4506, 55 s.
- Bäckström, A., 2005: A study of impact fracturing and electric resistivity related to the Lockne impact structure, Sweden, I *Impact Tectonics*, red. C. Koeberl & H. Henkel, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, ISBN 3-540-24181-7, 389–404.
- von Dalwigk, I. & Ormö, J., 2001: Formation of resurge gullies at impacts at sea: The Lockne crater, Sweden. *Meteoritics & Planetary Science* 36, 359–369.
- Frisk, Å. & Ormö, J., 2007: Facies distribution of post-impact sediments in the Ordovician Lockne and Tvären impact craters: Indications for unique impact-generated environments. *Meteoritics and Planetary Science* 42, 1971–1984.
- Grahn, Y. & Nölvak, J., 1983: Chitinozoan dating of Ordovician impact events in Sweden and Estonia. A preliminary note. *Geologiska Föreningens i Stockholm Förhandlingar* 115, 263–264.
- Grahn Y., Nölvak J. & Paris F., 1996. Precise chitinozoan dating of Ordovician impact events in Baltoscandia. *Journal of Micropalaeontology* 15, 21–35.
- Henkel H., 1992: Geophysical aspects of meteorite craters in eroded shield environment, with emphasis on electric resistivity. *Tectonophysics* 216, 63–89.
- Högdahl, K., 2000: Late-orogenic, ductile shear zones and protholitic ages in the Svecofennian Domain, central Sweden. Meddelanden från Stockholms universitets Institution för geologi och geokemi. Avhandling för filosofie doktorsexamen no 309, 85 s.
- Karis, L. & Strömberg, A., 1998: Beskrivning till berggrundskartan över Jämtlands län. Del 2: Fjälldelen. *Sveriges geologiska undersökning Ca* 53:2, 263 s.
- Lindström, M., Sturkell, E.F.F., Törnberg, R. & Ormö, J., 1996: The marine impact crater at Lockne, central Sweden. *GFF* 118, 193–206.
- Lindström M., Ormö J., Sturkell E. & von Dalwigk I., 2005a: The Lockne crater: Revision and re-assessment of structure and impact stratigraphy. I *Impact tectonics*, red. C. Koeberl & H. Henkel. Heidelberg-Berlin: Springer-Verlag. pp. 357–388.
- Lindström M., Shuvalov V. & Ivanov B., 2005: Lockne crater as a result of marine-target oblique impact. *Planetary and Space Science* 53, 803–815.
- Lundqvist, L., Karis, L. & Lundin, I., 2003: Berggrundskartan 18F Bräcke NV, Skala 1:50 000. *Sveriges geologiska undersökning Ai* 192.
- Ormö, J., 1998: Impact cratering at sea. Meddelanden från Stockholms universitets Institution för geologi och geokemi no 300. *Meteoritics & planetary Science* 42, 1–16.
- Ormö J., Hill A. & Self-Trail, J.M., 2010: A chemostratigraphic method to determine the end of impact related sedimentation at marine-target impact craters (Chesapeake Bay, Lockne, Tvären). *Meteoritics & Planetary Science* 45, 1206–1224.
- Ormö, J., Sturkell, E. & Lindström, M., 2007: Sedimentological analysis of resurge deposits at the Lockne and Tvären craters: Clues to flow dynamics.
- 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.
- Sturkell, E. & Lindström, M., 2004: The target peneplain of the Lockne impact. *Meteoritics & planetary Science* 39, 1–11.

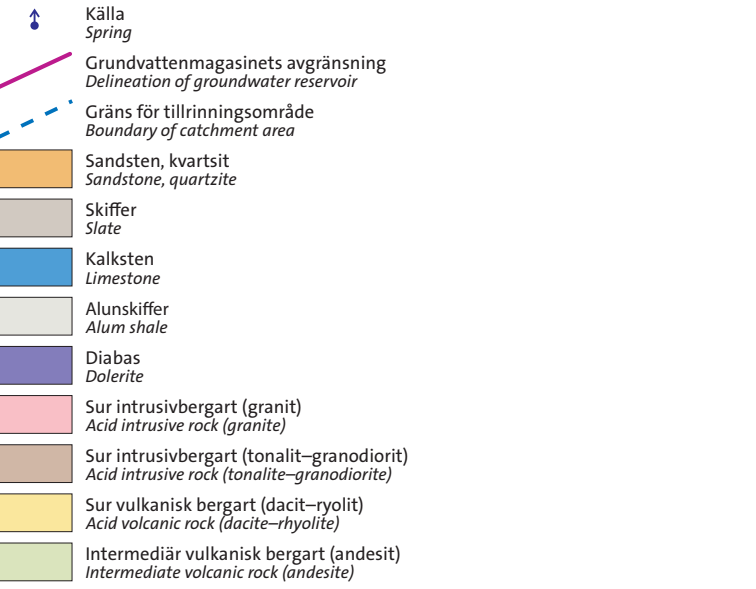
Förteckning över utredningar

Orrje & CO, 1954: PM angående vattentäkt för Tandsbyn inom Brunflo kommun. SGU ID: 5673.

Orrje & CO, 1963: PM angående vattentäkt för Lockne stationssamhälle. SGU ID: SGU-H:23-168.

Orrje & CO, 1965: PM angående utförd provpumpning av bergborra vid punkt V inom Lockne stations-
samhälle, Brunflo kommun. SGU ID: 5672

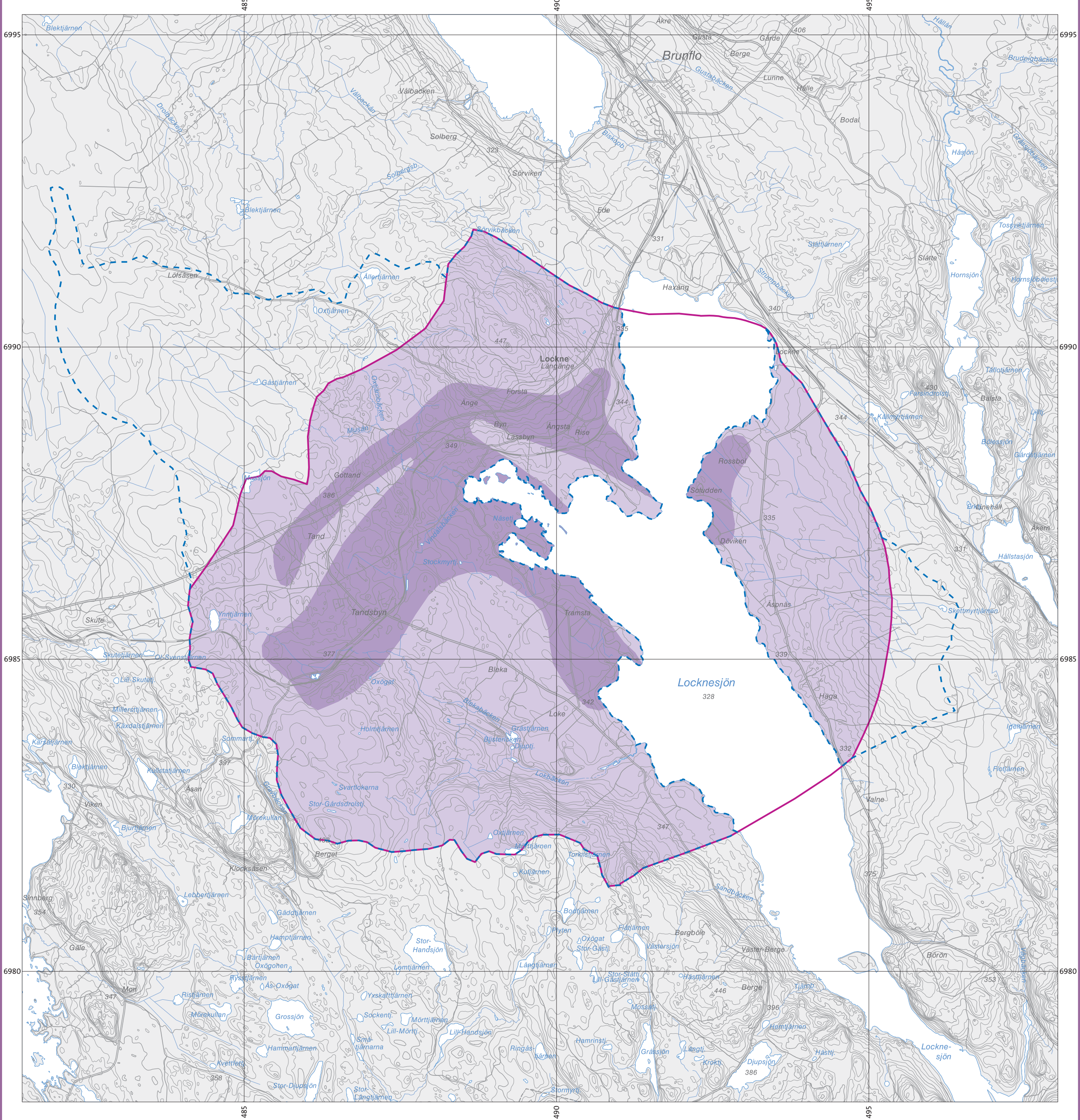
Orrje & CO, 1976: Östersunds kommun. Utredning angående skydd av grundvattentäkt i berg vid
Tandsbyn. SGU ID: SGU-H:23-171



- Grundvattenmagasinet avgränsning
Delineation of groundwater reservoir

Gräns för tillrinningsområde
- Bedömd uttagsmöjlighet ur grundvattenmagasinet 20000–60000 l/h
Estimated exploitation potential in the order of 20000–60000 l/h

Bedömd uttagsmöjlighet ur grundvattenmagasinet 60000–200000 l/h
Estimated exploitation potential in the order of 60000–200000 l/h



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

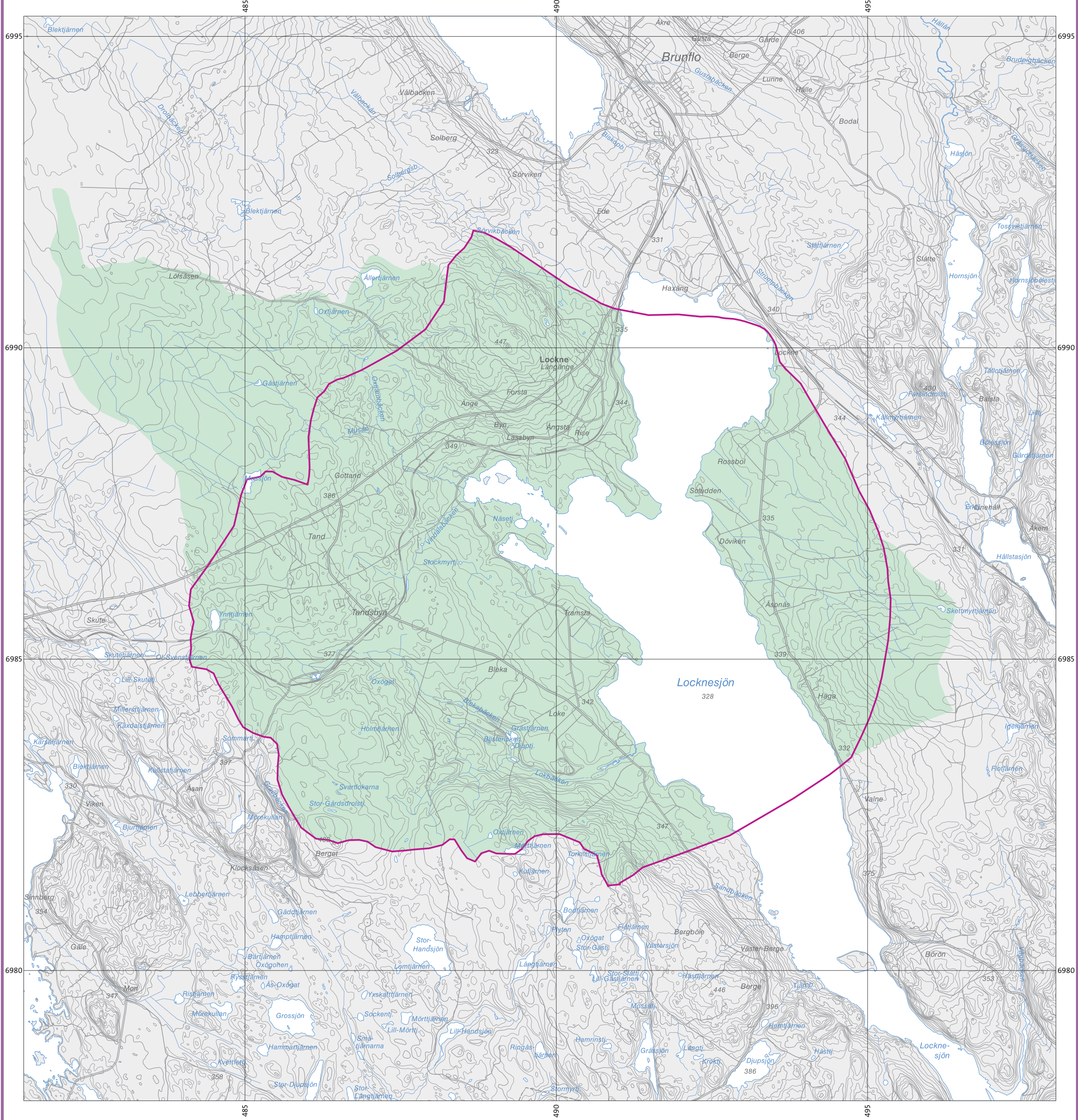
Referens till kartan: Dahlqvist, P., Thorsbrink, M. & Sturkell, E., 2018: Grundvattenmagasinet Lockne, bilaga 2. Bedömda uttagsmöjligheter, skala 1:50 000. Sveriges geologiska undersökning K 612.
Reference to the map: Dahlqvist, P., Thorsbrink, M. & Sturkell, E., 2018: Groundwater reservoir Lockne, bilaga 2. Estimated exploitation potential, scale 1:50 000. Sveriges geologiska undersökning K 612.



 Grundvattenmagasinet
Delineation of groundwater reservoir

 Tertiärt tillrinningsområde
Catchment area (tertiary)

För förklaring av tillrinningsområden se bilaga 4.



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

Referens till kartan: Dahlqvist, P., Thorsbrink, M. & Sturkell, E., 2018: Grundvattenmagasinet Lockne, bilaga 3.
Tillrinningsområden, skala 1:50 000. Sveriges geologiska undersökning K 612.
Reference to the map: Dahlqvist, P., Thorsbrink, M. & Sturkell, E., 2018: Groundwater reservoir Lockne, bilaga 3.
Catchment areas, scale 1:50 000. Sveriges geologiska undersökning K 612.



ISSN 1652-8336
ISBN 978-91-7403-435-6

© Sveriges geologiska undersökning (SGU), 2018
Medgivande behövs från SGU för varje form av mångfaldigande eller återgivning av denna karta.
Detta innefattar inte bara kopiering utan även digitalisering eller överföring till annat medium.

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

Tel: +46(0) 18 17 90 00
Fax: +46(0) 18 17 92 10
E-post: sgu@sgu.se
URL: http://www.sgu.se

BILAGA 4

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 magasinet 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. Med den helt dominerade delen avses mer än 80 procent.

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 hela eller den helt dominerande delen 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).