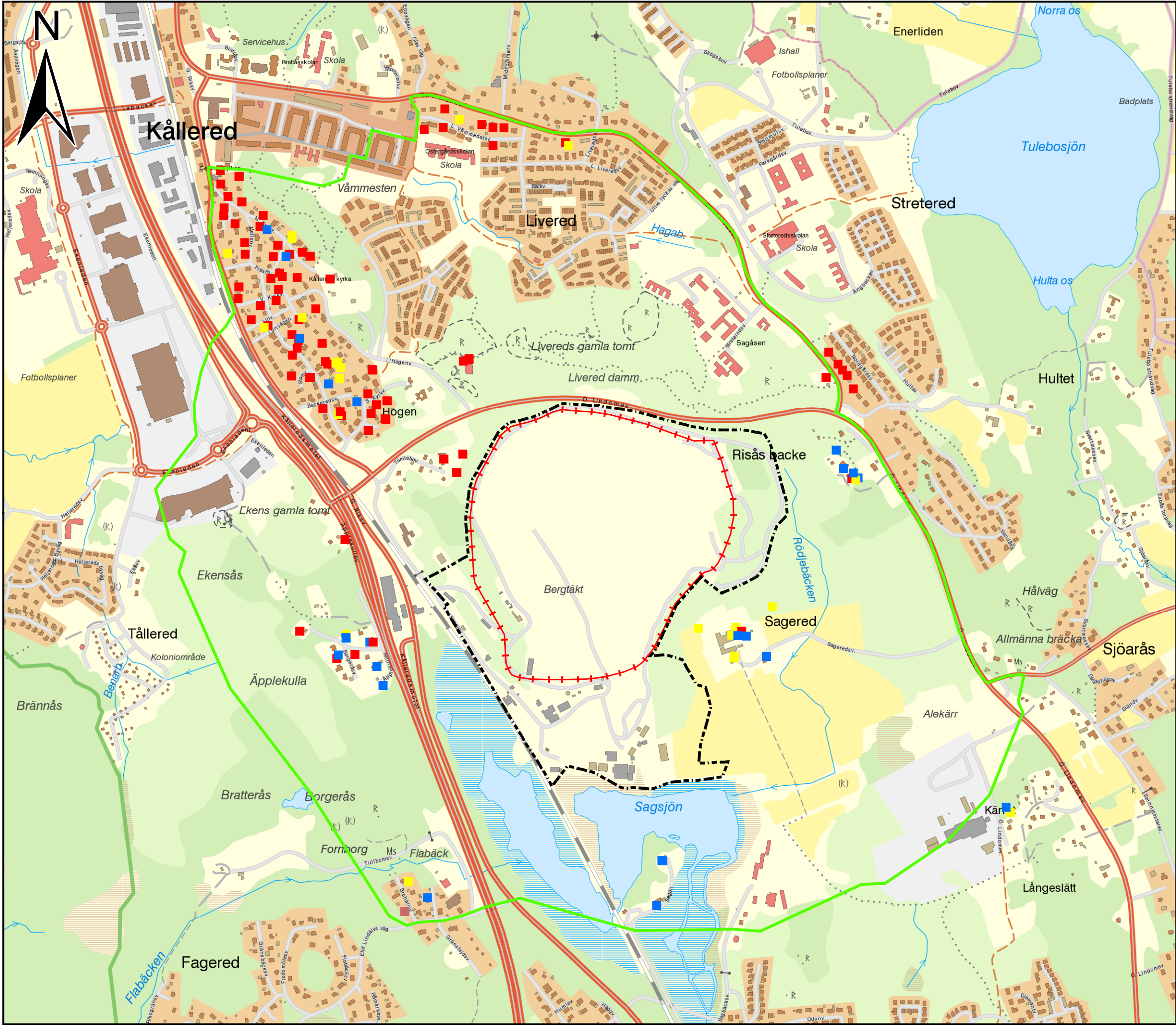


Förklaring

- Planerat brytområde
- Verksamhetsområde
- Inventeringsområde

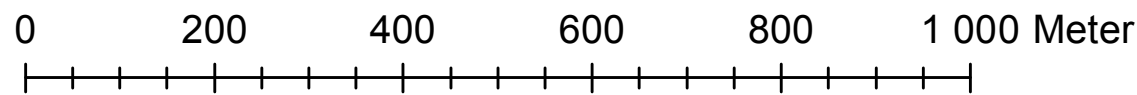
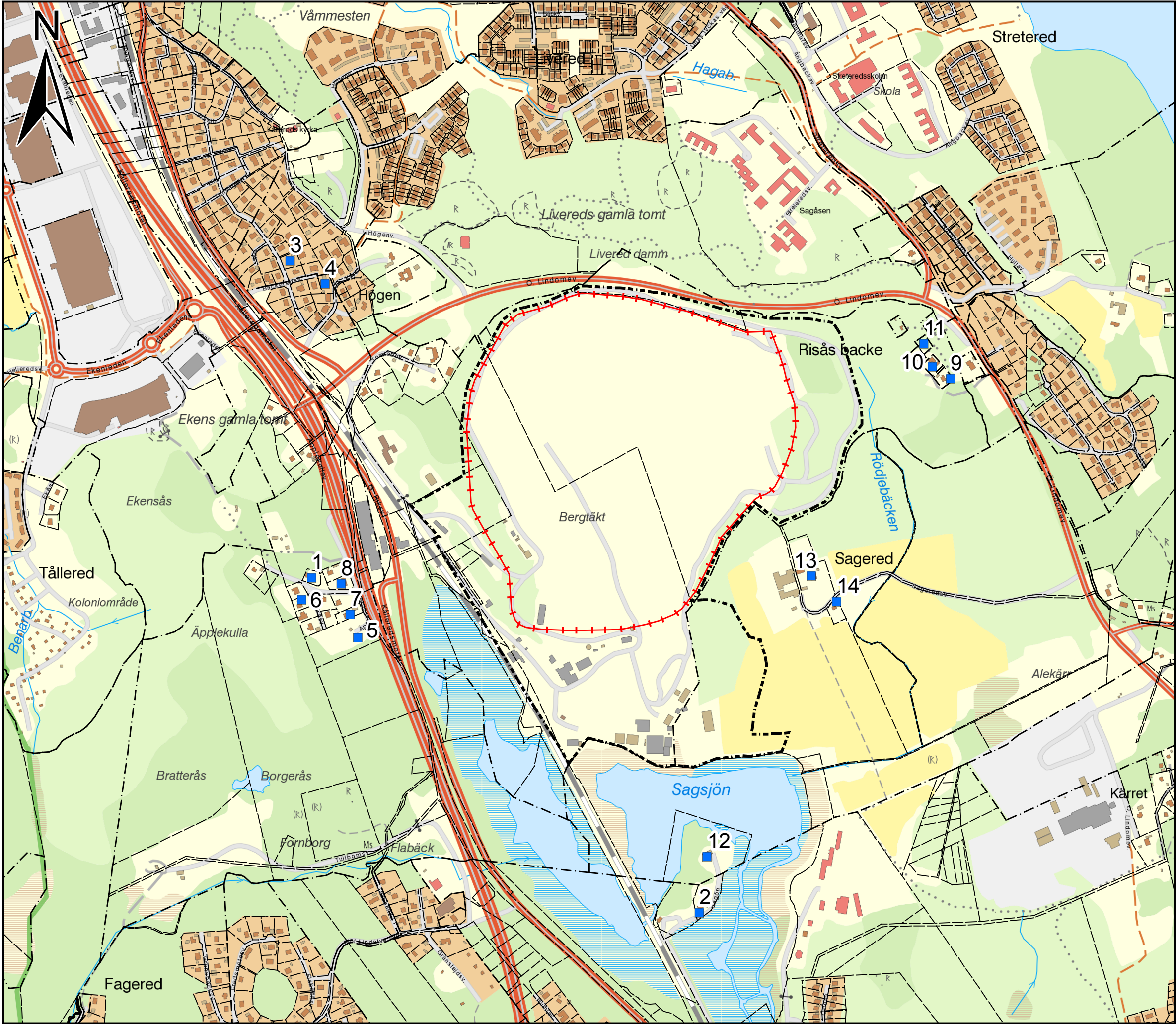
Brunnar

- Hushåll
- Energi
- Grävd
- Okänd

Koordinatsystem

Koordinater i SWEREF 12 00
Höjdsystem RH2000

BET	ANT	ÄNDRINGEN AVSER	DATUM	SIGN
M301A				
WSP Environmental Avdelningen Mark och Vatten 402 51 Göteborg Tel: 010 - 722 50 00			 WSP	
UPPDRAG NR 10239924		RITAD/KONSTRUERAD AV EF	HANDLÄGGARE EF	
DATUM 2017-01-25		ANSVARIG JS		
Brunnsinventering				
SKALA 1:10 000 A3		NUMMER M301		BET



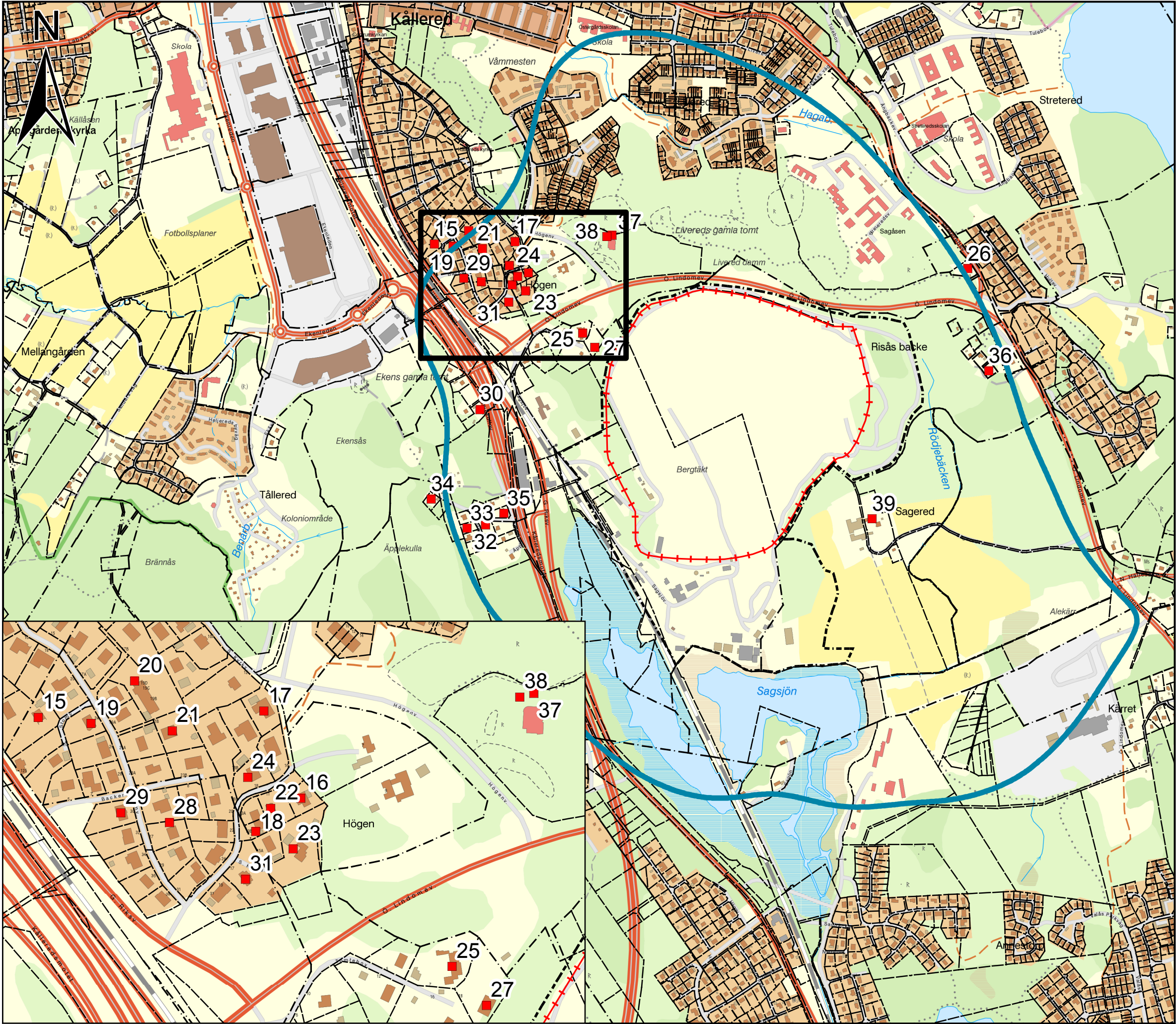
Förklaring

- Planerat brytområde
- Verksamhetsområde
- Vatten

Koordinatsystem

Koordinater i SWEREF 12 00
Höjdsystem RH2000

BET	ANT	ÄNDRINGEN AVSER	DATUM	SIGN
M301B				
WSP Environmental Avdelningen Mark och Vatten 402 51 Göteborg Tel: 010 - 722 50 00				
UPPDRAG NR 10239924		RITAD/KONSTRUERAD AV EF	HANDLÄGGARE EF	
DATUM 2017-01-25		ANSVARIG JS		
Hushållsvatten				
SKALA 1:8 000 A3		NUMMER M301		BET



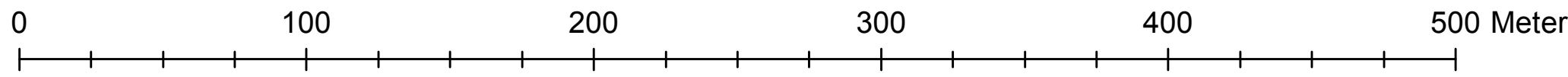
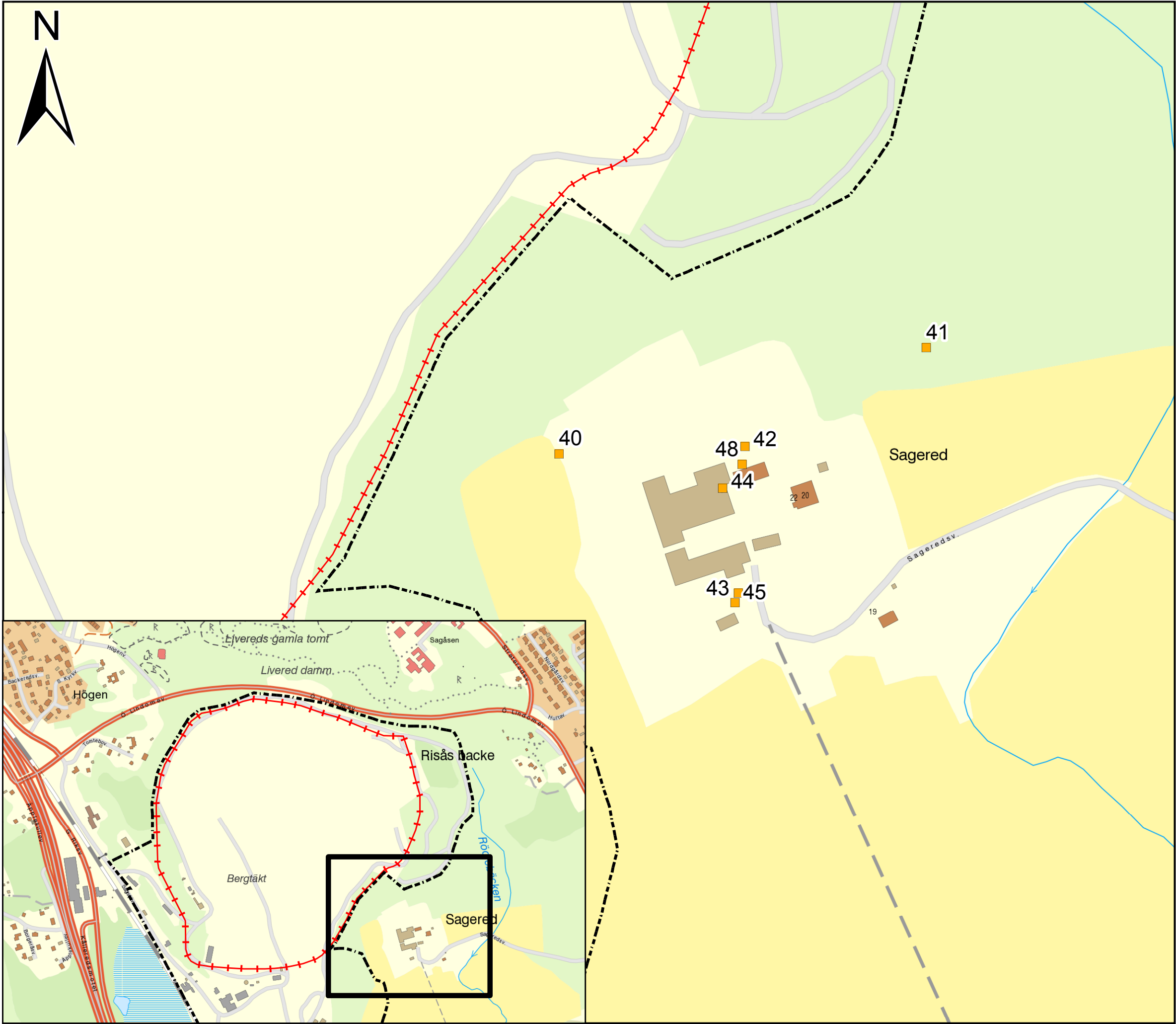
Förklaring

- Planerat brytområde
- Verksamhetsområde
- Influensområde djupt berg
- Energi

Koordinatsystem

Koordinater i SWEREF 12 00
Höjdsystem RH2000

BET	ANT	ÄNDRINGEN AVSER	DATUM	SIGN
M301C				
WSP Environmental Avdelningen Mark och Vatten 402 51 Göteborg Tel: 010 - 722 50 00			 WSP	
UPPDRAG NR 10239924		RITAD/KONSTRUERAD AV EF	HANDLÄGGARE EF	
DATUM 2017-01-25		ANSVARIG JS		
Energibrunnar				
SKALA 1:10 000 A3		NUMMER M301		BET



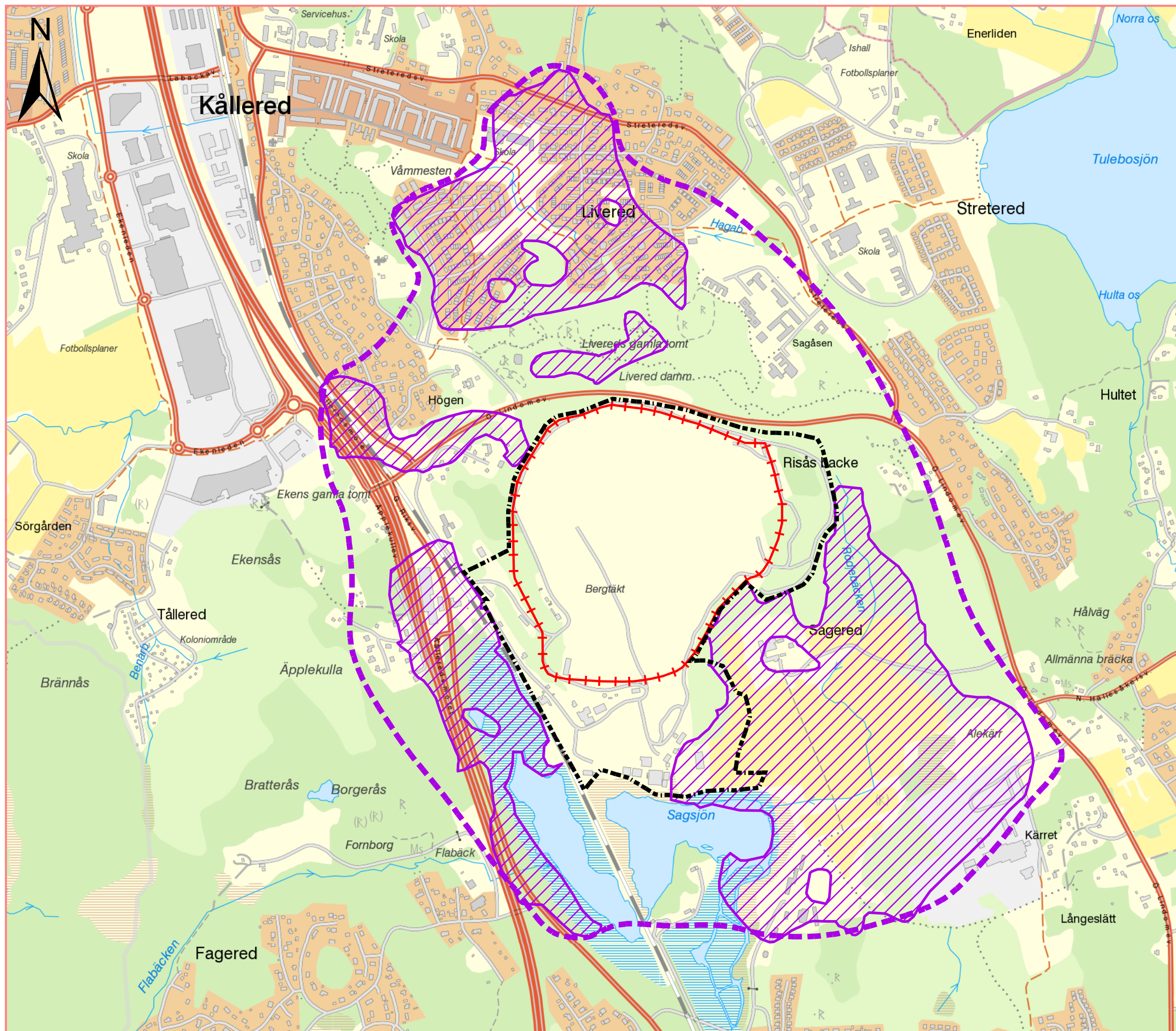
Förklaring

- Planerat brytområde
- Verksamhetsområde
- Grävda brunnar

Koordinatsystem

Koordinater i SWEREF 12 00
Höjdsystem RH2000

BET	ANT	ÄNDRINGEN AVSER	DATUM	SIGN
M301D				
WSP Environmental Avdelningen Mark och Vatten 402 51 Göteborg Tel: 010 - 722 50 00				
UPPDRAK NR 10239924		RITAD/KONSTRUERAD AV EF	HANDLÄGGARE EF	
DATUM 2017-01-25		ANSVARIG JS		
Grävda brunnar				
SKALA 1:2 000 A3		NUMMER M301		BET



Förklaring

- Planerat brytområde
- Verksamhetsområde
- Påverkansområde grundvatten, utan infiltration
- Risk för trycksänkning, utan infiltration

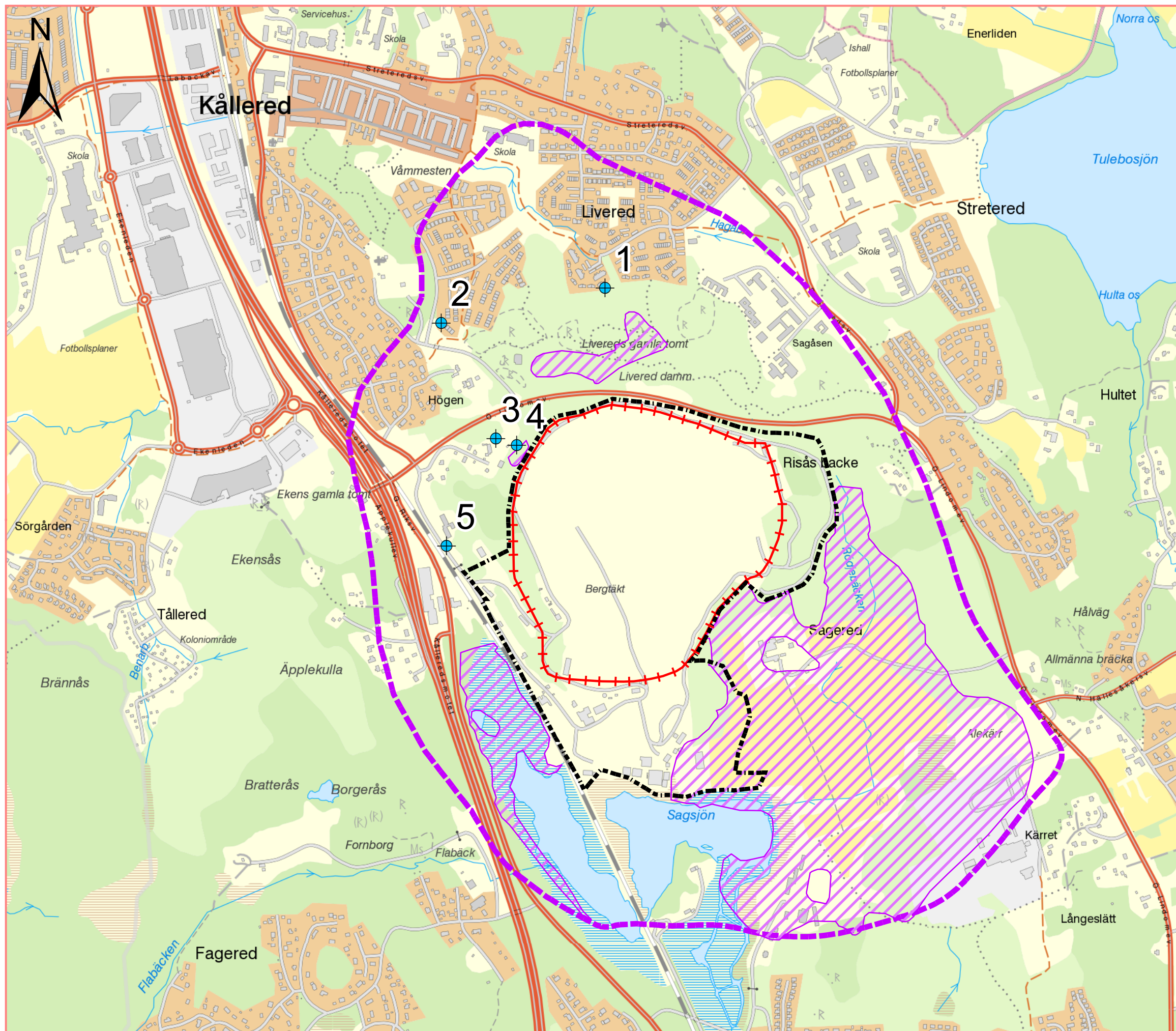
Påverkansområde grundvatten är det sammanslagna påverkansområdet för grundvattnet i berg och i undre magasin i jord.

I de områden som är markerade med risk för trycksänkning finns det en förutsebar risk för trycksänkning i undre magasin. Se Bilaga B.6, Rapport Hydrologi och hydrogeologi för mer information.

Koordinatsystem

Koordinater i SWEREF99 12:00
Höjdsystem RH2000

BET	ANT	ÄNDRINGEN AVSER	DATUM	SIGN
M302				
WSP Environmental Avdelningen Mark och Vatten 402 51 Göteborg Tel: 010 - 722 50 00				
UPPDRAG NR 10239924		RITAD/KONSTRUERAD AV AH	HANDLÄGGARE AH	
DATUM 2016-10-28		ANSVARIG JS		
Påverkansområde grundvatten, utan infiltration				
SKALA 1:10 000 A3		NUMMER		BET



Förklaring

- Planerat brytområde
- Verksamhetsområde
- Påverkansområde grundvatten, med infiltration
- Risk för trycksänkning, med infiltration
- Infiltrationsbrunn

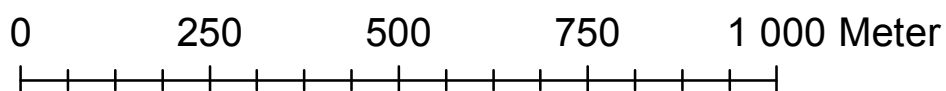
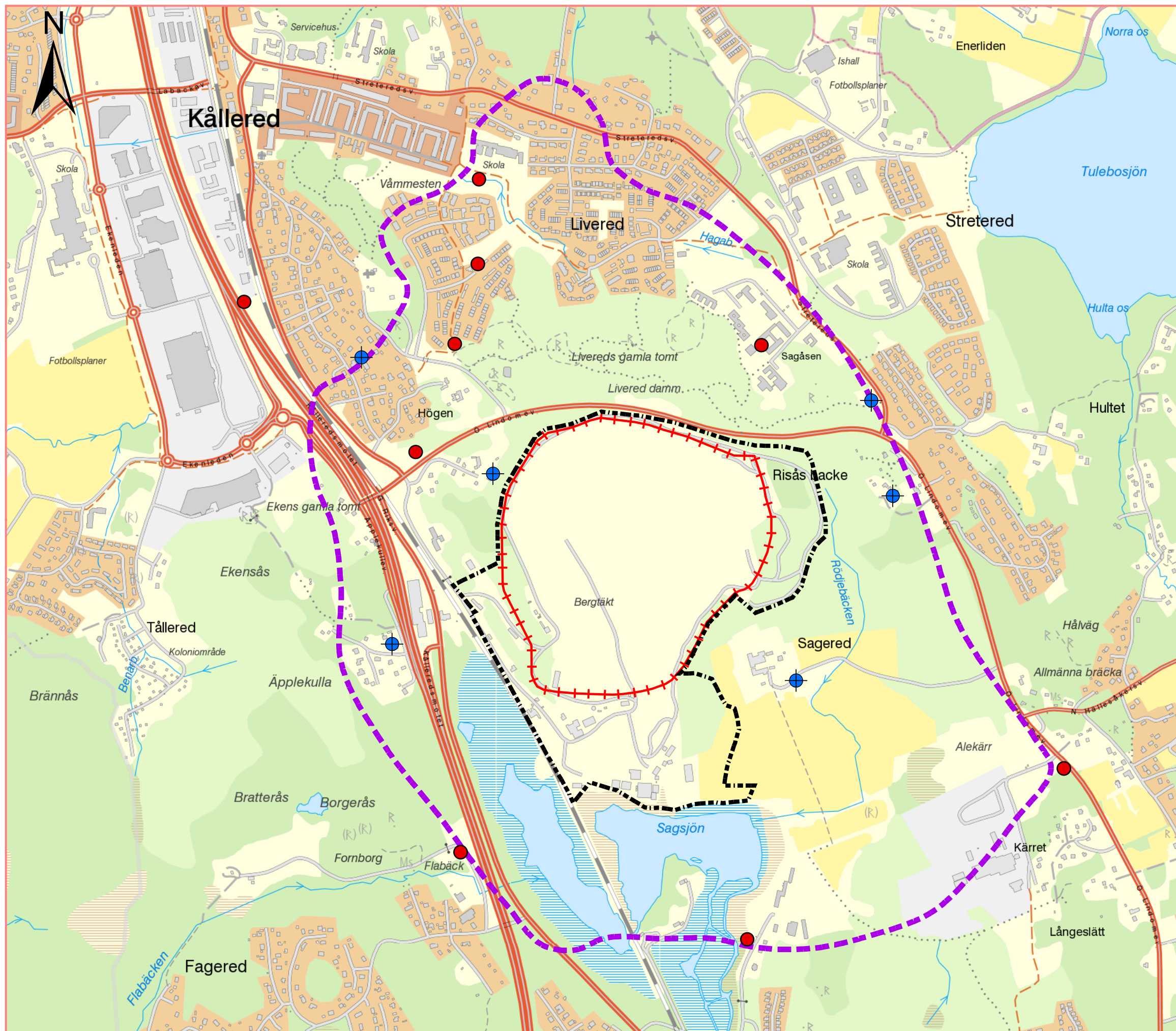
Påverkansområde grundvatten är det sammanslagna påverkansområdet för grundvattnet i berg och i undre magasin i jord.

Med infiltration av vatten till undre magasin minskar utberedningen av den förutsebara trycksänkningen. Se Bilaga B.6, Rapport hydrologi och hydrogeologi för mer information.

Koordinatsystem

Koordinater i SWEREF99 12:00
Höjdsystem RH2000

BET	ANT	ÄNDRINGEN AVSER	DATUM	SIGN
M303				
WSP Environmental Avdelningen Mark och Vatten 402 51 Göteborg Tel: 010 - 722 50 00				
UPPDRAG NR 10239924		RITAD/KONSTRUERAD AV AH	HANDLÄGGARE AH	
DATUM 2016-10-28		ANSVARIG JS		
Påverkansområde grundvatten, med infiltration				
SKALA 1:10 000 A3		NUMMER BET		



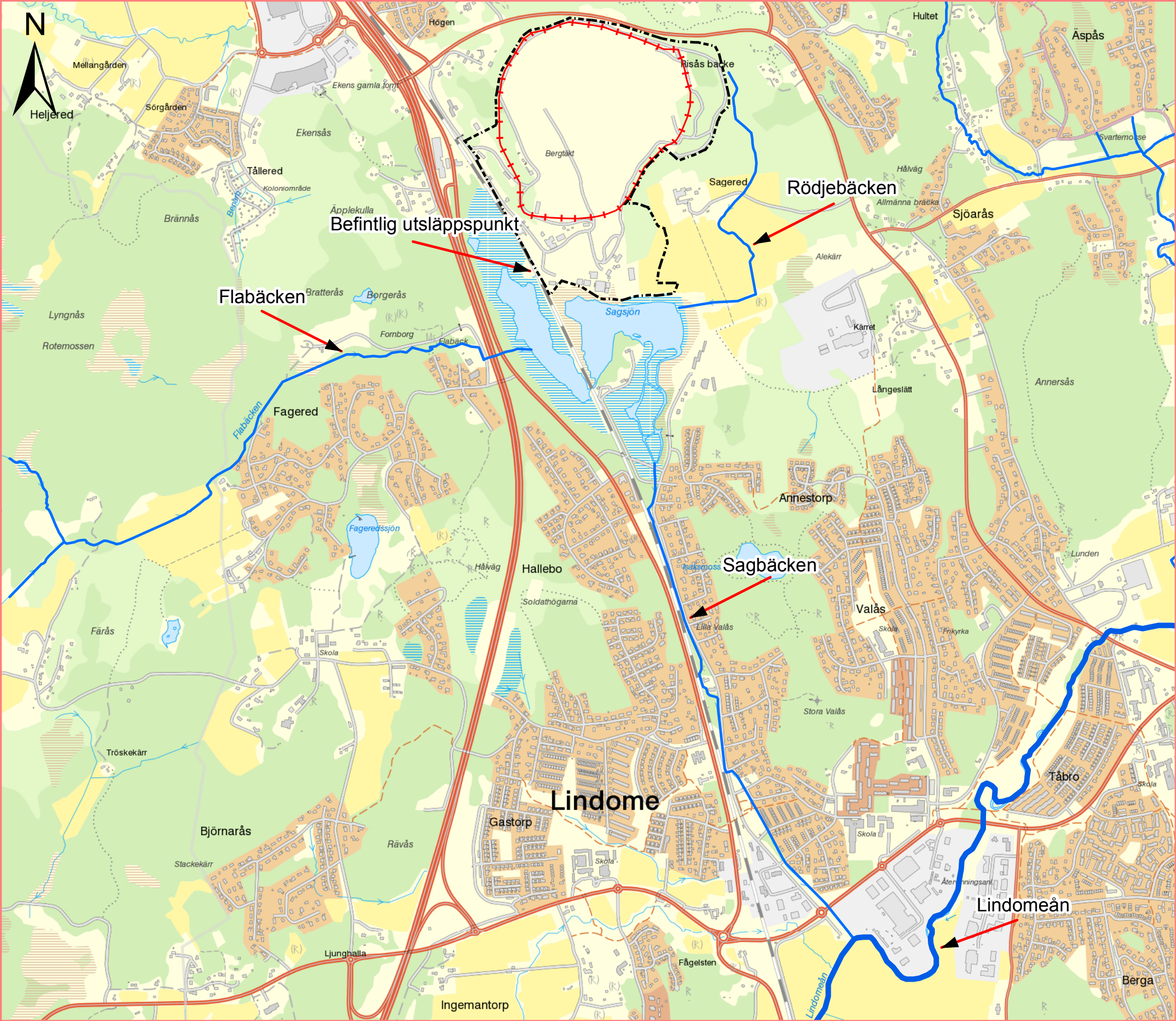
Förklaring

- Planerat brytområde
- Verksamhetsområde
- Influensområde (utan infiltration)
- Mätning i berg
- Mätning i undre magasin

Koordinatsystem

Koordinater i SWEREF99 12:00
Höjdsystem RH2000

BET	ANT	ÄNDRINGEN AVSER	DATUM	SIGN
M304				
WSP Environmental Avdelningen Mark och Vatten 402 51 Göteborg Tel: 010 - 722 50 00				
UPPDRAG NR 10239924		RITAD/KONSTRUERAD AV AH	HANDLÄGGARE AH	
DATUM 2016-10-28		ANSVARIG JS		
Mätpunkter grundvatten i jord och berg				
SKALA 1:10 000 A3		NUMMER BET		



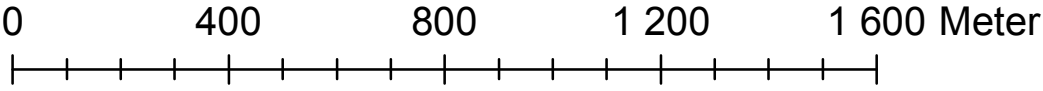
Förklaring

- Planerat brytområde
- Verksamhetsområde

Koordinatsystem

Koordinater i SWEREF99 12:00
Höjdsystem RH2000

BET	ANT	ÄNDRINGEN AVSER	DATUM	SIGN
M305				
WSP Environmental Avdelningen Mark och Vatten 402 51 Göteborg Tel: 010 - 722 50 00				
UPPDRAG NR 10239924		RITAD/KONSTRUERAD AV AH	HANDLÄGGARE AH	
DATUM 2016-10-28		ANSVARIG JS		
Översiktskarta ytvattenflöden				
SKALA 1:14 000 A3		NUMMER BET		





Rapport hydrologi och hydrogeologi – Kålleröd bergtäkt

Bilaga B.6

2017-02-02

Upprättad av: Alexander Hansen och Emil Friberg

Granskad av: Patrik Lissel

Godkänd av: Patrik Lissel

Uppdragsnr: 10214591	Rapport hydrologi och hydrogeologi -	
Daterad: 2017-02-02	Kålleröd bergtäkt	
Reviderad:	Bilaga B.6	
Handläggare: Alexander Hansen	Status: Slutversion	

RAPPORT HYDROLOGI OCH HYDROGEOLOGI - KÅLLERÖD BERGTÄKT

Bilaga B.6

KUND

Swerock AB

KONSULT

WSP Environmental Sverige

121 88 Stockholm-Globen
Besök: Arenavägen 7
Tel: +46 10 7225000

WSP Sverige AB
<http://www.wspgroup.se>

KONTAKTPERSONER

Swerock AB

Niklas Osvaldsson
0708-487681
Niklas.osvaldsson@swerock.se

Monica Soldinger Almefelt
0733-849393
monica.almefelt@swerock.se

WSP Environmental

Patrik Lissel
010 722 52 66
Patrik.lissel@wspgroup.se

Uppdragsnr: 10214591	Rapport hydrologi och hydrogeologi -	
Daterad: 2017-02-02	Kålleröd bergtäkt	
Reviderad:	Bilaga B.6	
Handläggare: Alexander Hansen	Status: Slutversion	

INNEHÅLL

1	INLEDNING	5
2	PLAN OCH HÖJDSYSTEM	6
3	PLANERAD VERKSAMHET	6
4	OMRÅDESBESKRIVNING	7
4.1	Topografi	7
4.2	Jordarter	8
4.3	Jorddjup	9
4.4	Berggrund	10
4.5	Grundvatten	11
4.5.1	Grundvattenmagasin	11
4.5.2	Vattenskyddsområden och vattenförekomster grundvatten	12
4.6	Avrinning och grundvattenbildning	13
4.7	Vattenhantering täkt	15
4.7.1	Nuläge	15
4.7.2	Fullt utbrutet	16
4.7.3	Magasinering och fördröjningsmagasin	17
4.7.4	Sedimentationsdamm ytvatten	18
5	UNDERSÖKNINGAR	20
5.1	Brunnsinventering	20
5.2	Vattenbalans Sagsjön	21
5.2.1	Vatten från täkt (Punkt 1)	21
5.2.2	Vatten via Rödjebacken (Punkt 4)	21
5.2.3	Vatten via Flabäcken (Punkt 2)	21
5.2.4	Övrigt tillskott av vatten	22
5.3	Vattenprovtagning	22
5.3.1	Sagsjön	22
5.3.2	Lindomeån	24
5.3.3	Metaller	25
5.4	Installation av grundvattenrör	25
5.5	Grundvattennivåmätningar	27
5.6	Geotekniska sonderingar och sättningsrisk	27
5.7	Infiltrationstester	28
5.8	Bestämning av bergets hydrauliska konduktivitet	28
5.9	Provpumpning i berg	30
5.10	Grundvatteninläckage	31
5.11	Utredning Rödjebacken	33

Uppdragsnr: 10214591	Rapport hydrologi och hydrogeologi -	
Daterad: 2017-02-02	Kålleröd bergtäkt	
Reviderad:	Bilaga B.6	
Handläggare: Alexander Hansen	Status: Slutversion	

5.12 Trycknivåer i berg och brunnar	35
6 GRUNDVATTENMODELLERING	36
6.1 Modellteknisk uppbyggnad	37
6.2 Kalibrering	38
6.3 Beräkningsresultat	39
6.3.1 Avsänkning av grundvattenytan	40
6.3.2 Trycksänkning i berg	41
6.3.3 Trycksänkning i undre magasin	42
6.3.4 Trycksänkningens tidsmässiga utveckling	43
6.3.5 Infiltration	45
6.3.6 Vattenbalans – täktområde	46
7 UPPFYLLENAD AV TÄKTSJÖ	47
8 DIKNINGSFÖRETAG	47
9 KONSTGJORD VÅTMARK	48
10 FÖRESLAGNA SKYDDÅTGÄRDER	48
11 BRYTNING TILL NIVÅN -40 M	49
11.1 Avsänkning av grundvattenytan	49
11.2 Trycksänkning i berg och i undre magasin	49
11.3 Infiltration	49
11.4 Vattenbalans – Täktområde vid nivå -40 m	49
11.5 Uppfyllnad täktsjö -40 m	49
12 KONTROLLPROGRAM	50
13 REFERENSER	52

BILAGOR

- M301 Brunnsinventering
- M302 Påverkansområde grundvatten, utan infiltration
- M303 Påverkansområde grundvatten, med infiltration
- M304 Mätpunkter i jord och berg
- M305 Översiktskarta ytvattenflöden

Uppdragsnr: 10214591	Rapport hydrologi och hydrogeologi -	
Daterad: 2017-02-02	Kålleröd bergtäkt	
Reviderad:	Bilaga B.6	
Handläggare: Alexander Hansen	Status: Slutversion	

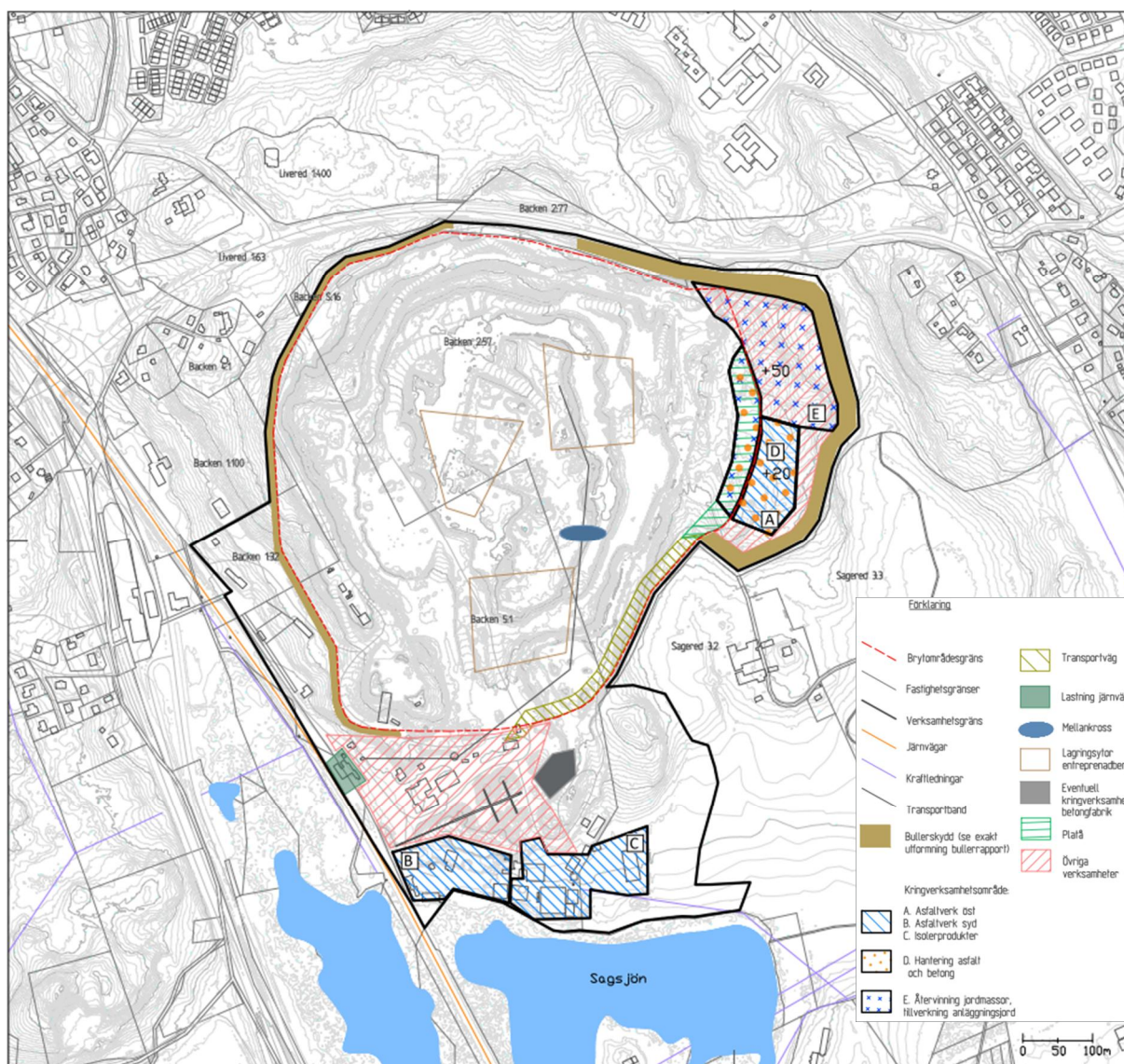
2 PLAN OCH HÖJDSYSTEM

Plankoordinater: SWEREF 99 12:00

Höjdsystem: RH2000

3 PLANERAD VERKSAMHET

Det planerade verksamhetsområdet omfattar 56 ha varav brytområdet består av 38,5 ha. Täktbotten ligger idag på som djupast -9 m, i det nya tillståndet ansöks om brytning ner till nivån -99 m. En bullervall konstrueras längs delar av den östra gränsen av verksamhetsområdet.



Figur 2 Exploateringsplan för Kålleröds bergtäkt

Uppdragsnr: 10214591	Rapport hydrologi och hydrogeologi -	
Daterad: 2017-02-02	Kålleröd bergtäkt	
Reviderad:	Bilaga B.6	
Handläggare: Alexander Hansen	Status: Slutversion	

Bortledning av grund- och ytvatten sker för närvarande ur tåkten och grundvattennivån hålls som lägst (lokalt) strax under täktbotten på -9 m. Vattnet pumpas via sedimentations- och oljeavskiljande funktioner upp över kanten i sydväst och släpps till den damm som konstruerats vid Sagsjön enligt figur 11. I och med den nya planerade brytnivån på -99 m kommer grundvattennivån i tåkten behöva sänkas till strax under detta.

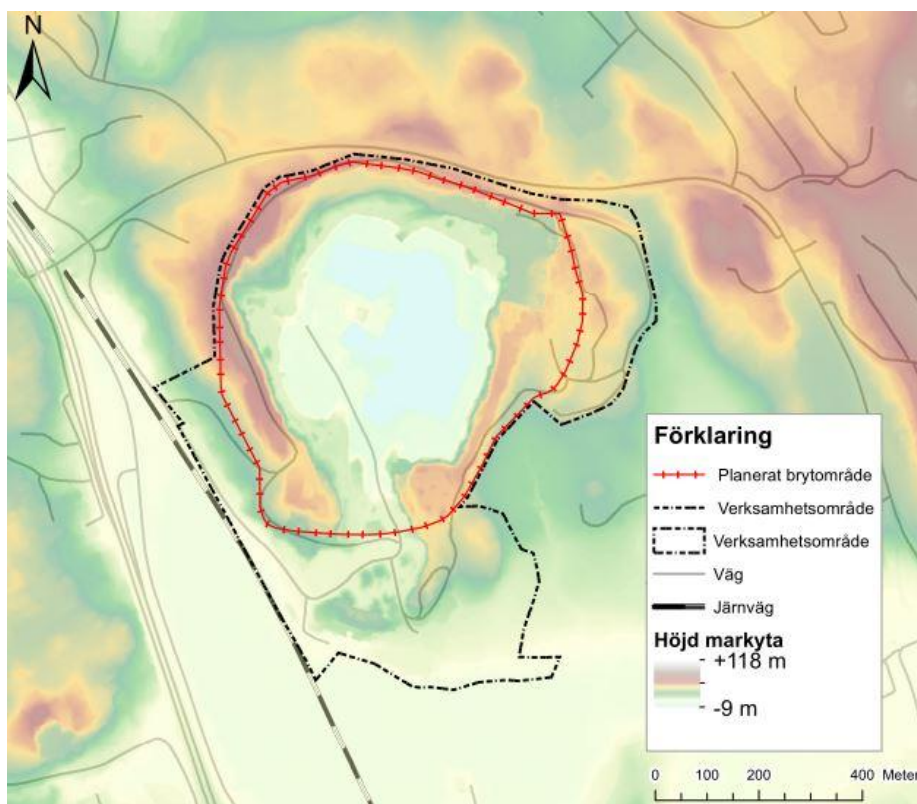
4 OMRÅDESBESKRIVNING

Täktverksamhet har sedan länge bedrivits på platsen. Redan på 1920-talet började sten brytas från det då upp till ca 110 m höga berget för att förse den intilliggande järnvägen med ballast. Tåkten är belägen strategiskt bra precis intill motorväg och järnväg vilket gör det lätt att transportera krossmaterial både med lastbil och med tåg.

4.1 Topografi

Brytning bedrivs idag huvudsakligen lägre än omgivningens markyta och som djupast ner till -9 m. Som kan ses i figur 3 omges bergtåkten av höga bergslägen, förutom i söder där en kil möjliggör inpassage ner i tåkten. Söder om tåkten finns Sagsjön och ett lågområde med jordbruksmark.

Brytning är planerad till -99 m Det betyder att den största skillnaden jämfört med idag är på djupet. Större delen av de höga bergslägen som omger tåkten kommer att bevaras. Ett undantag är en del av den västra slänten som kommer att ingå i det nya brytområdet. Insynen till tåkten kommer knappt att förändras.



Figur 3 Topografisk karta med verksamhetsområde och planerat brytområde

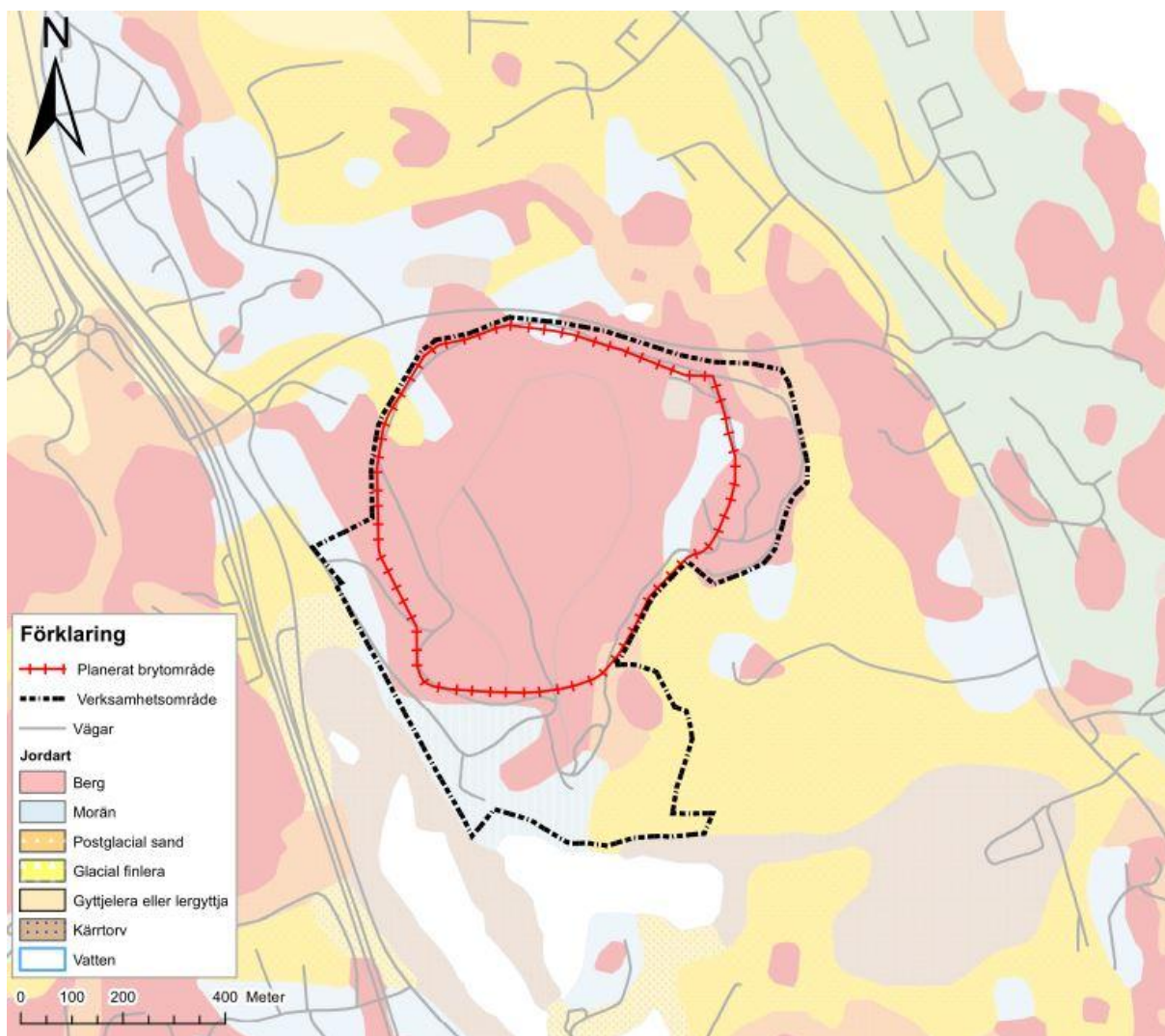
Uppdragsnr: 10214591	Rapport hydrologi och hydrogeologi -	
Daterad: 2017-02-02	Kålleröd bergtäkt	
Reviderad:	Bilaga B.6	
Handläggare: Alexander Hansen	Status: Slutversion	

4.2 Jordarter

Täkten startades från början genom brytning av ett ca 110 m högt berg. Under årens gång har berget försvunnit och brytning fortsatt ner under omgivande marknivå. Enligt SGUs jordartskarta är täkten belägen i ett område med berg i dagen eller ett tunt jordtäckte.

Geologin kring täkten är varierande, se figur 4. I NO (ljusgrönt) syns ett stråk av morän med inslag av sorterade sediment. Åt norr och sydost (mörkgult) finns större partier av glacial finlera. I öst och väst finns inslag av postglacial sand (orange) deponerad mellan bergpartierna. Nordväst om täkten mot Kålleröd finns ett större område med gyttjeler. Söder om täkten runt Sagsjön finner man kärrtorv.

Den glaciala finleran och gyttjeleran överlagrar oftast någon form av friktionsmaterial som bildar undre slutna grundvattenmagasin. På utvalda platser som beskrivs i avsnitt 5.4 har ett antal grundvattenrör installerats och på samtliga platser återfanns friktionsmaterial under leran.

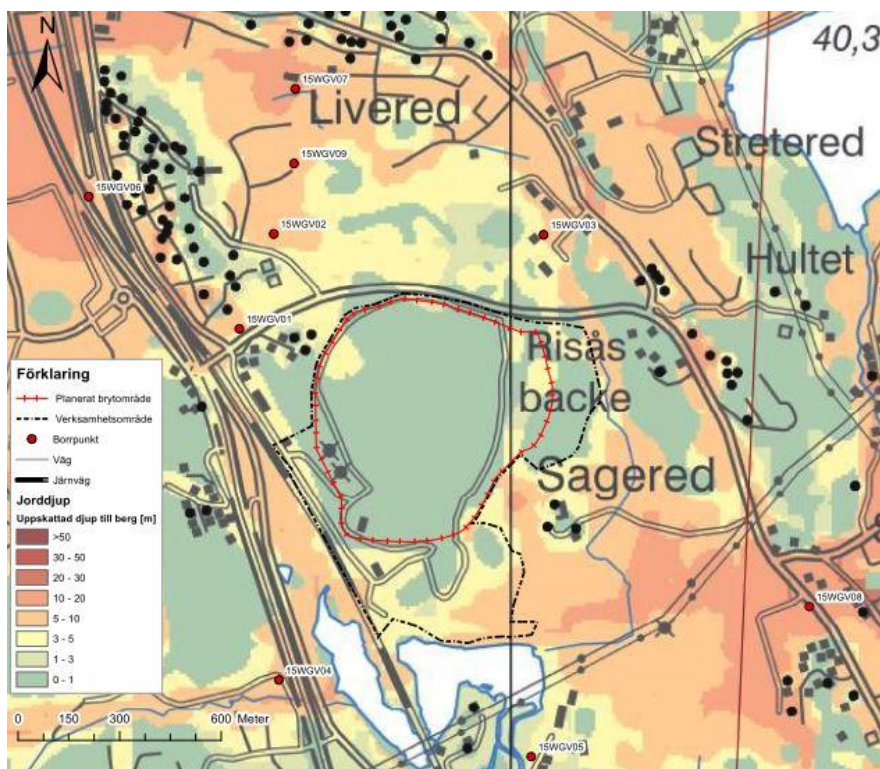


Figur 4 Jordartskarta med bergtäktens utbredning markerad

Uppdragsnr: 10214591	Rapport hydrologi och hydrogeologi -	
Daterad: 2017-02-02	Kållerød bergtäkt	
Reviderad:	Bilaga B.6	
Handläggare: Alexander Hansen	Status: Slutversion	

4.3 Jorddjup

Jorddjupet varierar stort över området, se **figur 5**. Då täkten tidigare var ett berg är jorddjupet inom täktområdet litet. Vid jordbruksmarken söder om täkten uppskattas jorddjupet uppgå till som mest ca 20 m. Även i den större svackan med gyttjeler SV om täkten uppskattas jorddjupet av SGU uppgå till ca 20 m.



Figur 5. SGU:s jorddjupskarta för området kring täkten. Röda punkter är skruvborrningar

I ett antal punkter kring täkten har skruvborrningar utförts under 2015, se röda markeringar i figur 5. Resultaten av skruvborrningarna presenteras i tabell 1. De visar djupet till det friktionsmaterial som ligger under leran.

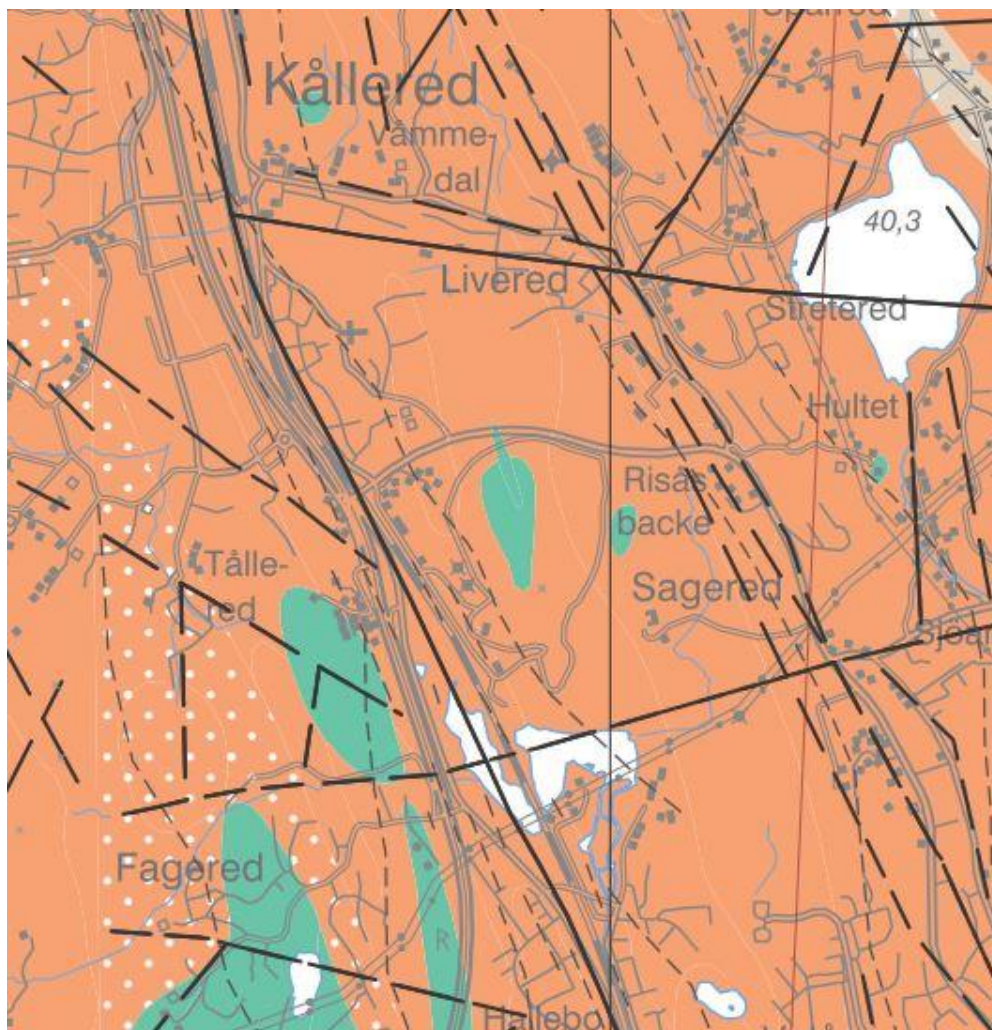
Tabell 1 Resultat av skruvborrningarna, djup till friktionsmaterial

Punkt	Djup till friktionsmaterial
15WGV01	5
15WGV02	8,85
15WGV03	6
15WGV04	4,7
15WGV05	9,4
15WGV06	8
15WGV07	8,4
15WGV08	17,8
15WGV09	10

Uppdragsnr: 10214591	Rapport hydrologi och hydrogeologi -	
Daterad: 2017-02-02	Kållerød bergtäkt	
Reviderad:	Bilaga B.6	
Handläggare: Alexander Hansen	Status: Slutversion	

4.4 Berggrund

Berggrunden vid täkten består enligt SGU i huvudsak av ultrabasiska, basiska eller intermediära intrusiva bergarter. Omringande bergarter består av sura intrusiva bergarter. Enligt SGU:s tjänst för ballastkartor är berget av god kvalitet, det har en bergkvalitetsklassificering på 2. Enligt SGU:s sprickkartering går inga större sprickzoner genom täkten. Det finns på kartan en mindre sprickzon som löper längs täktens västra kant.

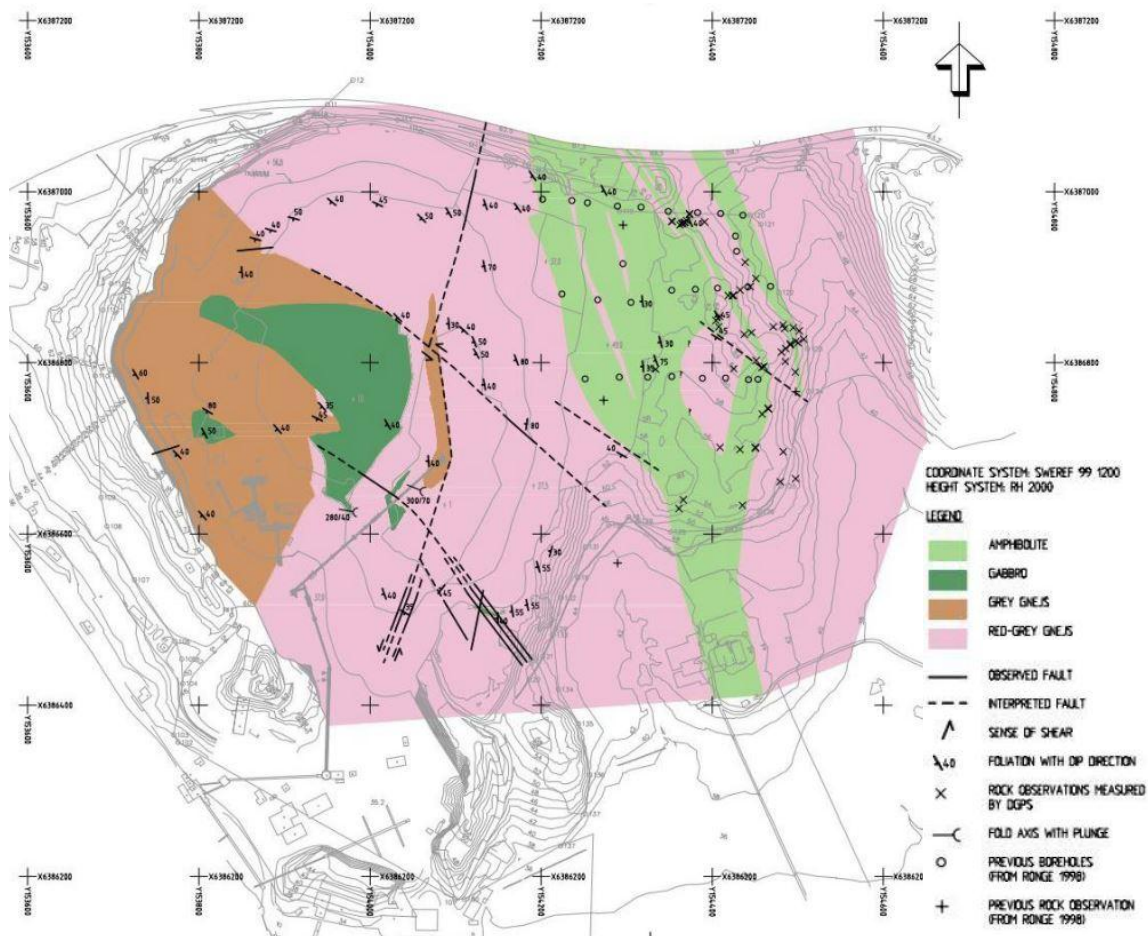


Figur 6 SGUs bergartsgeologiska karta

WSP har på uppdrag av Jehander utfört egna omfattande karteringar av berggrunden i täkten, vilket kan läsas i *Geological model of the Kållerød quarry, WSP 2013*. Ur denna rapport har figur 7 hämtats, föreställande en geologisk karta av bergtäkten. Som kan ses är den största mängden berg röd-grå gnejs (rosa). Berget består även av amfibolit (ljusgrön), gabbro (mörkgrön) och grå gnejs (brun). Det berget som har bäst kvalitet och de bästa produktionsmässiga egenskaperna är den grå gnejsen och gabbbron.

Vid karteringen av berggrunden utfördes även en sprickkartering i täkten. Som kan ses i figur 7 observerades ett antal mindre förkastningar och utifrån dessa tolkades en fortsättning enligt de streckade linjerna. Dessa är små och bedöms inte påverka grundvattentransporten nämnbart.

Uppdragsnr: 10214591	Rapport hydrologi och hydrogeologi -	
Daterad: 2017-02-02	Kålleröd bergtäkt	
Reviderad:	Bilaga B.6	
Handläggare: Alexander Hansen	Status: Slutversion	



Figur 7 Geologisk karta från rapporten "Geological model of the Kålleröd quarry", WSP 2013

4.5 Grundvatten

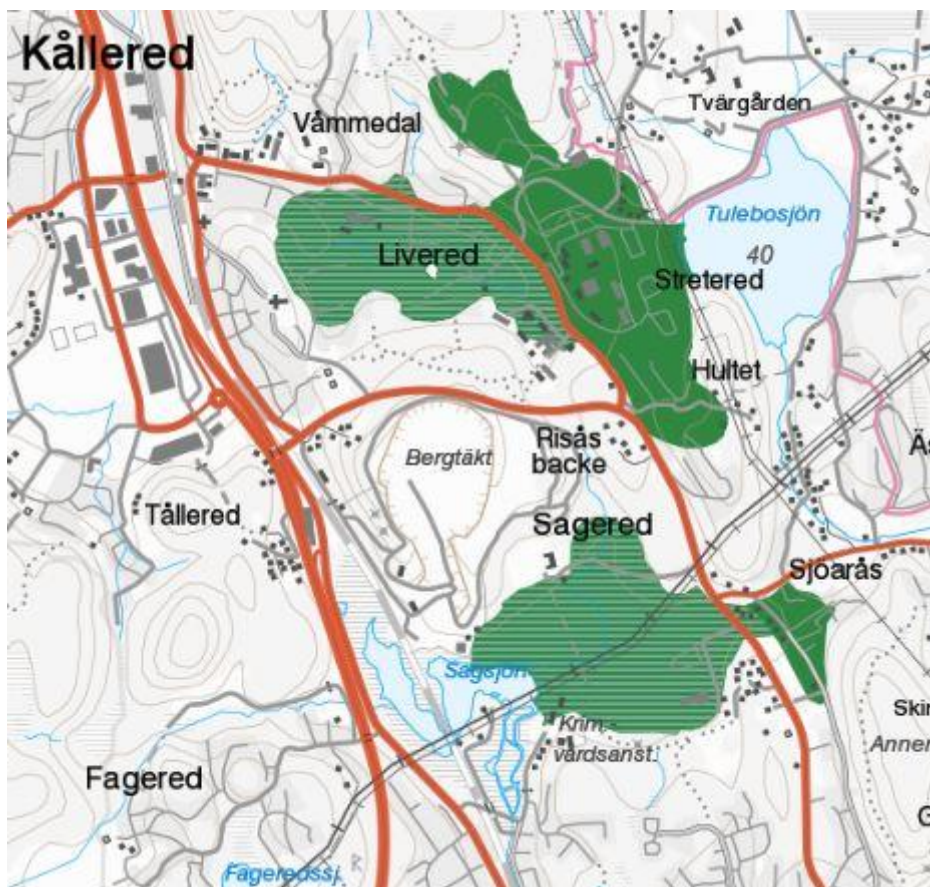
Det finns inga källor i området.

4.5.1 Grundvattenmagasin

SGU har pekat ut två grundvattenmagasin i närheten av täkten, se figur 8. Norr om täkten finns ett tvådelat magasin (magasinsnummer 204300007) där den västra delen bedöms ha uttagsmöjligheter på 1-5 l/s och den östra delen, på andra sidan Streteredsvägen, bedöms ha uttagsmöjligheter på under 1 l/s. Söder om täkten ligger det andra grundvattenmagasinet (magasinsnummer 204300003), detta område bedöms ha uttagsmöjligheter på 1-5 l/s. Båda magasinerna har magasinposition J1 vilket betyder att magasinet huvudsakligen finns i jord och att det ej överlagras av något annat magasin. Utifrån jordartskartan kan förstås att magasinerna i de västra delarna täcks av lera (slutna magasin) men att de i öster är öppna magasin (täcks inte av täta jordarter). Gränsen mellan magasinstyperna går ungefär i Streteredsvägen.

Drygt 2 km sydost om täkten (utanför kartan) finns ytterligare ett av SGU utpekat grundvattenmagasin (magasinsnummer 204300001). Det är en sand- och grusförekomst med uttagsmöjligheter på 5-25 l/s. Detta magasin ligger nästan 1,5 km utanför beräknat influensområde och bedöms inte påverkas.

Uppdragsnr: 10214591	Rapport hydrologi och hydrogeologi -	
Daterad: 2017-02-02	Kållerød bergtäkt	
Reviderad:	Bilaga B.6	
Handläggare: Alexander Hansen	Status: Slutversion	



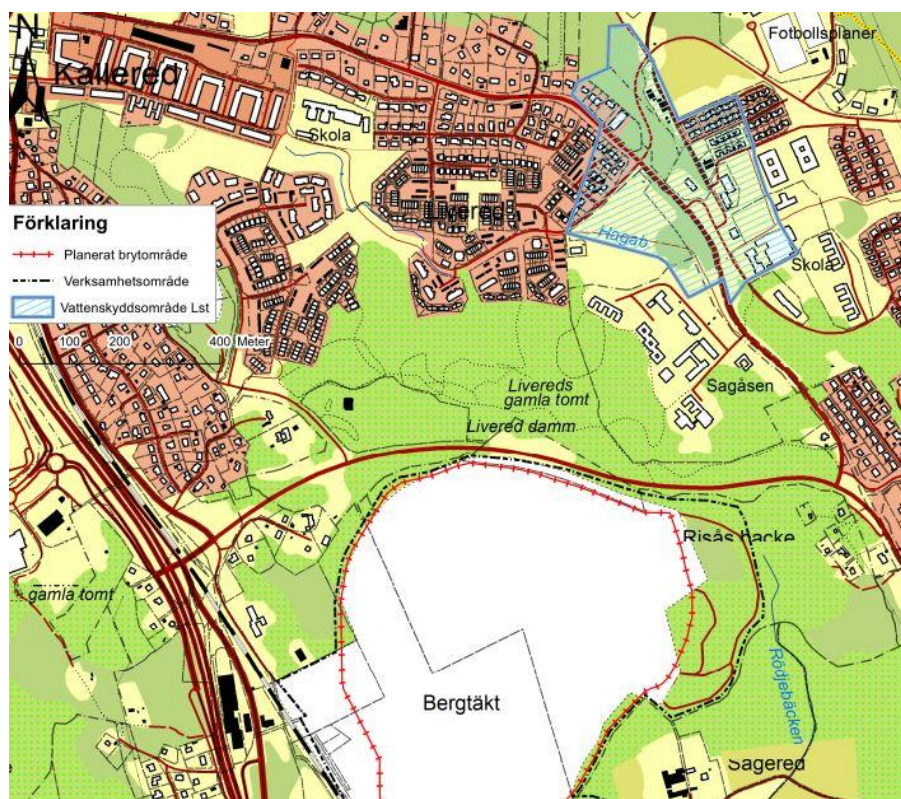
Figur 8 Av SGU utpekade grundvattenmagasin

4.5.2 Vattenskyddsområden och vattenforekomster grundvatten

Det finns ett vattenskyddsområde (A 61/1962) i tåktens närområde, se figur 9. Det ligger inom det norra av de av SGU utpekade grundvattenmagasinen. Vattenskyddsområdet fastställdes av Västerbygdens vattendomstol i samband med vattendom för en nu nedlagd vattentäkt. Vattentäkten utgjordes av två intill varandra liggande grävda brunnar med ett djup på ca 6 m och en diameter om 1,5 m. Delar av vattenskyddsområdet är i dagsläget detaljplanlagda och byggande av bostäder planeras.

Drygt 2 km sydost om tåkten (utanför kartan) finns också en i VISS utpekad vattenforekomst i grundvatten (vattenforekomst-ID SE638958-127884). Vattenforekomsten är samma som av SGU utpekad grundvattenmagasin med magasinnummer 204300001. Vattenforekomsten ligger nästan 1,5 km utanför beräknat influensområde och bedöms inte påverkas av verksamheten.

Uppdragsnr: 10214591	Rapport hydrologi och hydrogeologi -	
Daterad: 2017-02-02	Kållerød bergtäkt	
Reviderad:	Bilaga B.6	
Handläggare: Alexander Hansen	Status: Slutversion	



Figur 9 Vattenskyddsområde A 61/1962.

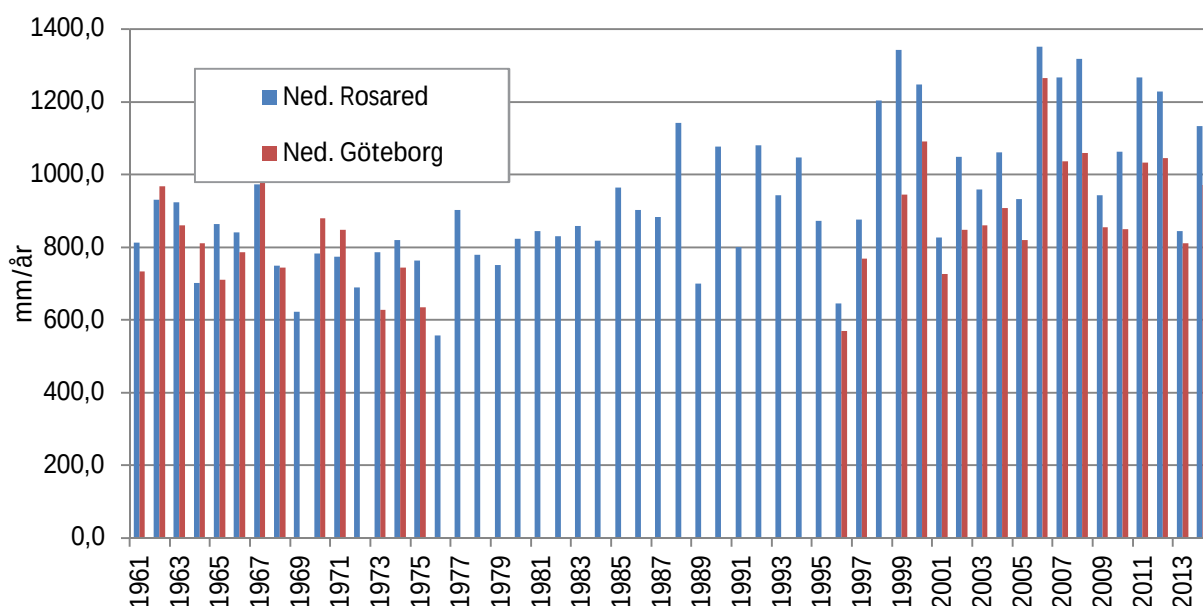
4.6 Avrinning och grundvattenbildning

Den övergripande vattenbalansen för aktuellt område kan tecknas $P_k - ET = P_n$, där P_k är korrigerad nederbörd, ET är evapotranspirationen (total avdunstning) och P_n nettonederbörd, vilken bildar avrinning. Enligt SMHI:s översiktliga kartering över ovanstående parametrar kan följande representativa årsmedelvärden ansättas:

- $P_k = 900 \text{ mm/år}$
- $ET = 440 \text{ mm/år}$
- $P_n = 460 \text{ mm/år}$

Värdena avser långtidsmedelvärden för referensnormalperioden 1961-1990. Nederbörden i området idag är större än referensnormalperioden, se figur 10. Tre närliggande väderstationer från SMHI har använts för att beräkna storleken på denna ökning, se tabell 2. **Fel! Hittar inte referenskälla..** Utefter dess placering och med hänsyn till årsmedelvärden och avstånd till Kållerød har en bedömd lokal förändring tagits fram.

Uppdragsnr: 10214591	Rapport hydrologi och hydrogeologi -	
Daterad: 2017-02-02	Kållerød bergtäkt	
Reviderad:	Bilaga B.6	
Handläggare: Alexander Hansen	Status: Slutversion	



Figur 10. Uppmätt nederbörd för Göteborg (station 71420) och Rossared (station 72300).

Tabell 2. Uppmätt årsmedelvärden för nederbörd [mm/år] och temperatur [C°] för tre närliggande väderstationer.

Typ	Ort	Station	1961-1990	1991-2014	Förändring
Nederbörd mm/år	Göteborg A	71420	793	914	115 %
Nederbörd mm/år	Rosared D	72300	828	1054	127 %
Temperatur C°	Göteborg A	71420	7,8	8,4	108 %
Temperatur C°	Borås	72450	6,1	7,0	115 %

Med stöd av ovanstående data har för Kållerød antagits en årsmedelnederbörd för nuvarande förhållanden om ca 121 % gånger referensnormalperioden. För avdunstningen har nuvarande förhållande om ca 108 % gånger referensnormalperioden. Därmed kan följande värden ställas upp för den klimatologiska vattenbalansen, vilka även använts för vidare beräkningar:

- $P_k = 1080 \text{ mm/år}$
- $ET = 470 \text{ mm/år}$
- $P_n = 610 \text{ mm/år}$

Infiltrationskapaciteten i förekommande yttjordarter är normalt sådan att all nederbörd kan tillåtas infiltrera, d.v.s. att direkt ytavrinning från området kan anses vara försumbar. I områden med tunt jordtäck och berg i dagen kan grundvattenbildningen lokalt vara lägre men nederbörden kvarhålls ofta i lågpunkter (t.ex. mossar) där den senare antingen kan bilda grundvatten eller avrinna i bäckar. Således kan i princip hela avrinningen från sådana områden antas ha varit grundvatten en kortare eller längre tid innan den når ytvattendrag. Nybildningen av grundvatten kan därmed antas vara i princip densamma som nettonederbörden över området.

Över en täkt där ingen växtlighet finns sjunker evapotranspirationen och här används en faktor på 60 % av medelavdunstningen i den klimatologiska vattenbalansen. Avdunstningen över en öppen vattenyta ökar och här används ett värde på 670 mm/år^1 .

¹ SMHI:s temakarta över potential avdunstning från medelstora sjöar, uppräknat med samma faktor 108 %.

Uppdragsnr: 10214591	Rapport hydrologi och hydrogeologi -	
Daterad: 2017-02-02	Kålleröd bergtäkt	
Reviderad:	Bilaga B.6	
Handläggare: Alexander Hansen	Status: Slutversion	

Grundvattenbildningen har, utifrån områdets geologi och hydrologi och med beaktande av nettonederbörden, antagits till 610 mm/år över bevuxet området och 800 mm/år över bruten täkt. Nettonederbörden över en öppen vattenyta har antagits till 410 mm/år.

4.7 Vattenhantering täkt

4.7.1 Nuläge

Idag pumpas vatten (grundvatten, regnvatten och inrinnande ytvatten) via två pumpar från en pumpgrop i botten av täkten (figur 11). Mängden vatten som pumpas ut mäts kontinuerligt av en flödesmätare som loggar flödet varje timme och skickar det automatiskt via GSM-nätet till en server för lagring. Sedan flödesmätarens installation i oktober 2015 har det största momentana utflödet från täkten varit nästan 3000 m³/dygn och medelflödet drygt 1100 m³/dygn. Av detta består ca 340 m³/dygn av inläckande grundvatten. Vattnet pumpas över täktkanten upp till en sedimentationskammare med oljeavskiljning. Därefter rinner vattnet vidare till utsläppspunkten (figur 11). Utsläppspunkten mynnar till en damm vars syfte är att rena vattnet på kväve innan det når Sagsjön. Från Sagsjön rinner vattnet vidare i ett dike ca 2 km till Lindomeån. Lindomeån övergår sedan till att bli Kungsbackaån vilken i sin tur mynnar i Kungsbackafjorden.



Figur 11 Vattenhanteringen för täkten.

Uppdragsnr: 10214591	Rapport hydrologi och hydrogeologi -	
Daterad: 2017-02-02	Kållerød bergtäkt	
Reviderad:	Bilaga B.6	
Handläggare: Alexander Hansen	Status: Slutversion	

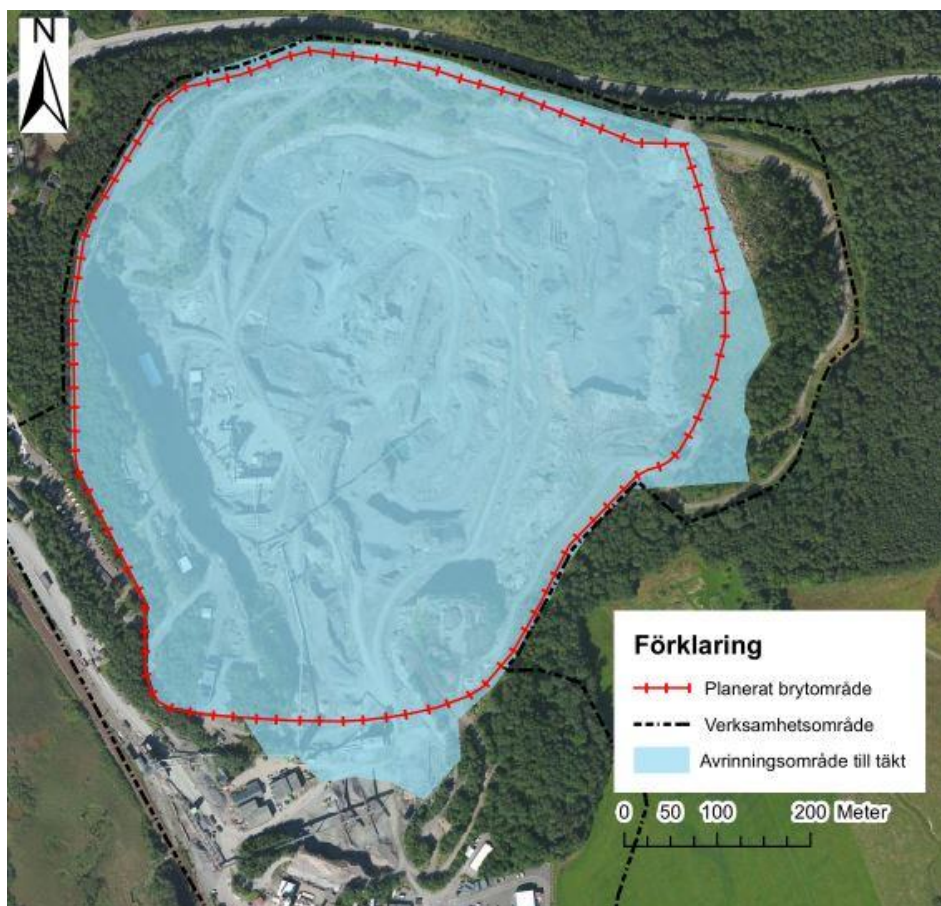
4.7.2 Fullt utbrutet

Vid fullt utbruten täkt kommer mängden inläckande grundvatten att öka något och det kommer också tillskott i form av direkt nederbörd och inrinnande ytvatten. Utifrån dagens läge och de undersökningar som gjorts (pumptest, modellering mm) uppskattas mängden inläckande grundvatten vid fullt utbruten täkt uppgå till ca 770 m³/dygn.

Utsläppspunkten för uppumpat vatten kommer fortsatt att vara Sagsjön men vattnets väg dit kommer att förändras. För att förbättra kvävereningen kommer, som beskrivs närmare i avsnitt 9 våtmarker att anläggas.

Ytterligare en förändring jämfört med dagens läge är att dagvatten från arbetsytorna söder om täkten kommer att ledas till en separat sedimentationsdamm, se avsnitt 4.7.4. Detta vatten har en hög partikelhalt och genom att separera det från vattnet från täkten kommer mängden partiklar som tillförs Sagsjön att minskas kraftigt vilket leder till en bättre vattenkvalitet i Sagsjön och förbättrad kväverening i kvävereningsvåtmarken.

Tillrinningsområdet för ytvatten till täkten är begränsat. Eftersom täkten tidigare bestod av ett berg omges den till stor del fortfarande av höga bergslägen sluttande bort från täkten (figur 3) leds vattnet i stor utsträckning bort från täkten. Som kan ses i figur 12, som visar situationen vid en fullt utbruten täkt, begränsas tillringen i väst och i norr till stor del till höjdryggar strax utanför brytgränsen. I öst begränsas den till gränsen för verksamhetsområdet där en vall kommer att konstrueras och i söder bidrar en del av arbetsytorna. Totalt handlar det om ca 43 ha, en mindre ökning jämfört med dagens situation då ca 40 ha bidrar med direkt nederbörd och ytvavrinning.



Figur 12 Tillrinningsområde för ytvatten till täkten.

Uppdragsnr: 10214591	Rapport hydrologi och hydrogeologi -	
Daterad: 2017-02-02	Kållerød bergtäkt	
Reviderad:	Bilaga B.6	
Handläggare: Alexander Hansen	Status: Slutversion	

4.7.3 Magasinering och fördröjningsmagasin

För att den planerade våtmarken ska fungera optimalt måste vattnet ha en tillfredställande uppehållstid. Det betyder att uppumpat vatten med fördel bör kunna regleras. Den enda möjligheten för detta är med ett fördröjningsmagasin i botten på tåkten. Dimensioneringen av magasinet måste utföras på så sätt att det i normalläge inte påverkar produktionen.

Som beskrivits ovan är tillrinningsområdet för tåkten nästan 43 ha, det betyder att mycket vatten når tåkten på kort tid vid kraftiga regn. För att få en uppfattning av hur mycket vatten det kan tänkas bli har historisk nederbördsdata från SMHI inhämtats från närliggande mätstationer. Nederbördsdata som används är från 1939-2014 och har korrigerats för mätförluster. Därefter har en statistisk analys genomförts och tidsserien har passats mot ett antal fördelningar av vilka Log Pearson stämde bäst överens. Detta resulterade i att två värden valdes ut för vidare analys: den största uppmätta nettoregnmängden (tabell 3) och det största medelvärde från två på varandra efterföljande regnrika år (tabell 4). För dessa två scenarier har två situationer studerats: dagens situation som bedöms motsvara den kommande 10-årsperioden och en framtida situation där brytning i tåkten är nere på maximalt djup. För den framtida situationen har en klimatanpassning på +25% för ökade regnmängder lagts på.

Tabell 3 Största årsavrinningen sedan 1939. Räknat utifrån dagens situation och en framtida situation då tåkten är som störst. Återkomsttid 100 år

Största årsvärde – Avrinning, P_n		
	Idag	Framtid
Total volym [m ³]	479600	858024
Flöde [l/s]	15,2	27,2

Tabell 4 Största medelvärde på årsavrinning från två nederbördsrika år sedan 1939. Räknat utifrån dagens situation och en framtida situation då tåkten är som störst. Återkomsttid 50 år

Största medelvärde två nederbördsrika år – Avrinning, P_n		
	Idag	Framtid
Total volym [m ³]	439814	794349
Flöde [l/s]	13,9	25,2

Utifrån tabellerna ovan har värden för maximalt utpumpat vatten till våtmarken bestämts. För dagens situation har ett flöde på 15 l/s valts som rimligt och för en framtida situation 26 l/s. Våtmarken kommer att dimensioneras efter dessa flöden och detta är då att betraktas som ett dimensionerande maximalt flöde som kan belasta våtmarken och samtidigt behålla beräknad reningsgrad.

Det finns situationer som medför att flöden som är större än dimensionerande utgående flöde avrinner till tåkten. För dessa måste därför ett utrymme för magasinering av vatten i tåkten finnas. Ur den statistiska analysen framstod att de mest regnintensiva månaderna är juli till september. Dessa står under regnintensiva år för ca 40 % av årsnederbörden. Fördröjningsmagasinet kommer därför utformas efter detta.

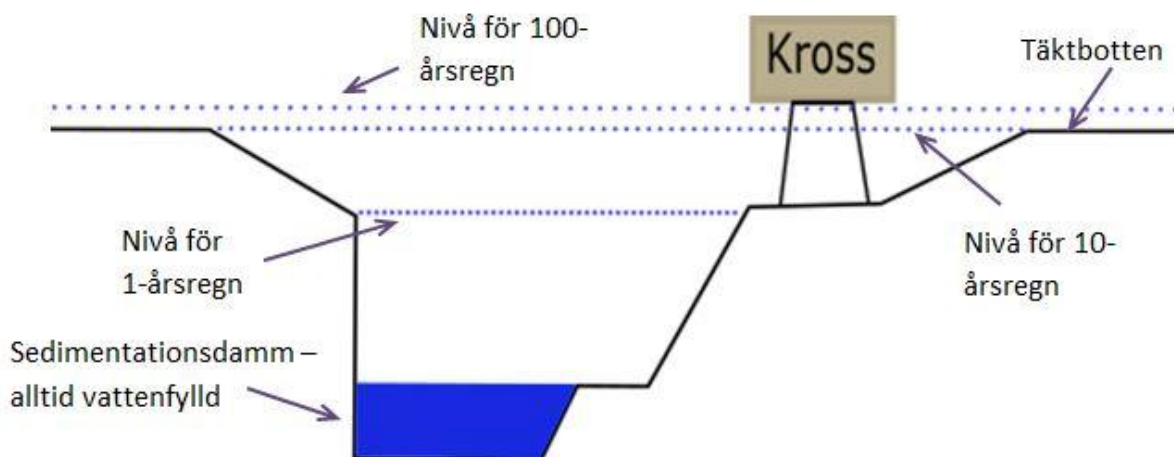
Tabell 5. Visar underkapaciteten för situationen i tabell 4 om 40 % av årsnederbörden kommer under tre månader. Det förutsätts att 15 l/s respektive 26 l/s pumpas upp kontinuerligt ur tåkten under denna tid.

Underkapacitet P_n under juli – september	Idag	Framtid
Underkapacitet [l/s]	7,1	14,0
Totalt 92 dagar [m ³]	56 693	111 070

Uppdragsnr: 10214591	Rapport hydrologi och hydrogeologi -	
Daterad: 2017-02-02	Kålleröd bergtäkt	
Reviderad:	Bilaga B.6	
Handläggare: Alexander Hansen	Status: Slutversion	

Som kan ses i tabellen ovan ansamlas nästan 57 000 m³ i dagsläget under denna period vid ett regn med återkomsttiden 50 år. Att ha ett permanent magasin av denna storlek skulle kraftigt försvåra verksamheten i täktbotten. Därför föreslås en lösning enligt figur 13 med ett utrymme som alltid är vattenfylldt längst ner och som därmed fungerar som sedimentationsdamm. En nivå upp från denna föreslås ett utrymme om 20 000 m³ som ska klara av utjämning under normala år. Här sätts inga installationer och det pågår ingen verksamhet. Ovan detta sätts ytterligare en nivå fungerande som magasinering för situationer som i tabell 5, denna med en volym för dagens situation på ca 40 000 m³. I framtiden kan denna volym med fördel sträcka sig upp mot 100 000 m³. Här skall installationer tåla att stå i eller under vatten under kortare perioder. I det fall ett 100-årsregn skulle infalla kommer den övriga täktbotten att användas för tillfällig magasinering av vatten.

För de två sistnämnda scenarierna bör möjligheten för bräddning förbi våtmarken finnas om så bedöms nödvändigt för verksamheten. Sannolikheten att det ska inträffa är låg men det bör inte allvarligt påverka verksamheten i de fall då de skulle inträffa. Om bräddning skulle ske enligt fallet i tabell 5 skulle detta motsvara ca 13 % av årsflödet.



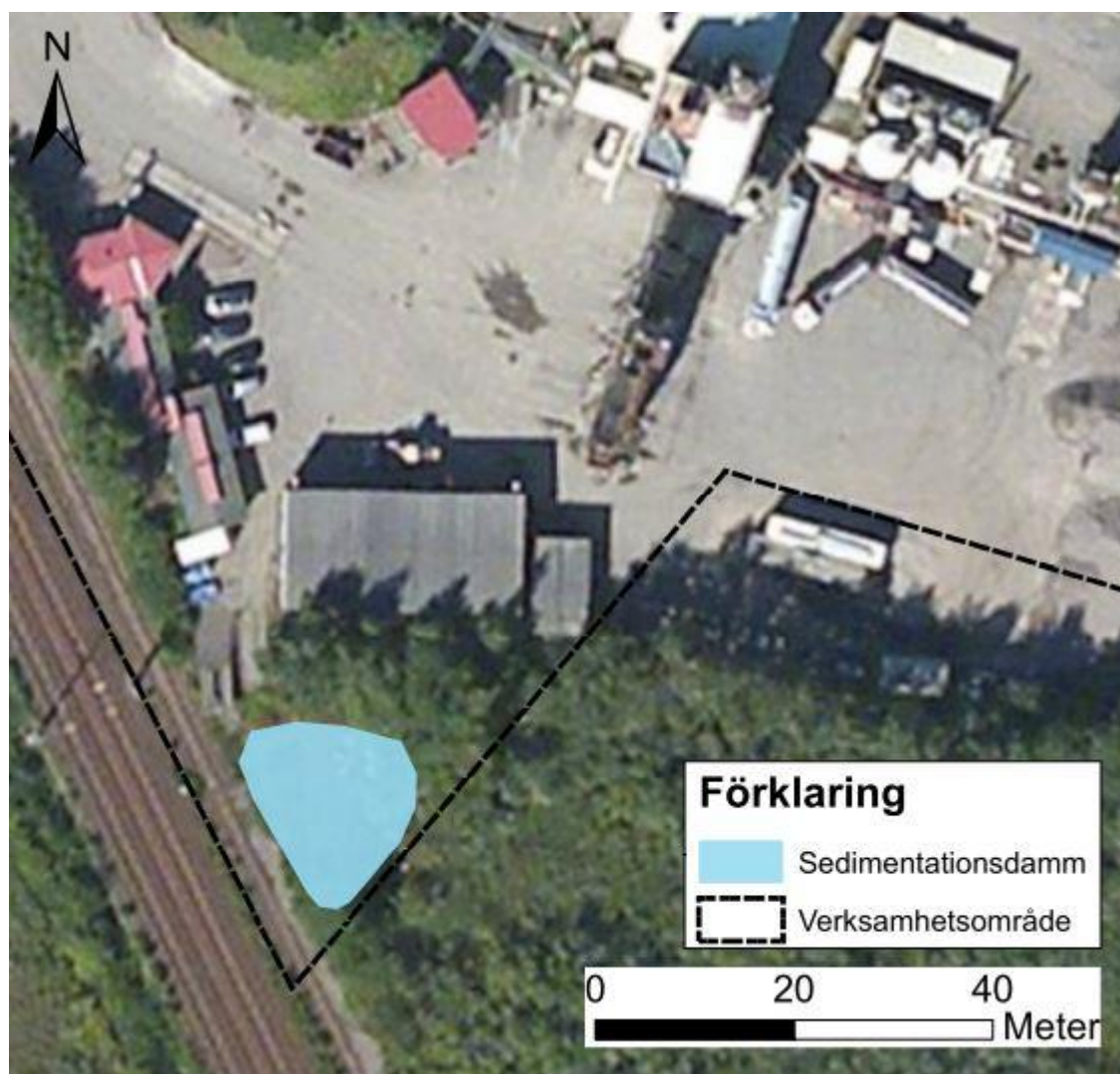
Figur 13 Principskiss av hur sedimentationsdamm och magasinering i botten på täkten kan utformas.

4.7.4 Sedimentationsdamm ytvatten

Det dagvatten som rinner från arbetsytorna söder om brytområdet är rikt på partiklar. Detta vatten blandas i dagsläget med uppumpat vatten från täkten innan det mynnar ut i dammen i Sagsjön. Inför den planerade utökningen av täkten planeras en separat sedimentationsdamm med oljeavskiljare för dagvattnet. Anledningen till detta är att förbättra kvävereningen på vatten som släpps till Sagsjön. Genom att leda det partikelrika dagvattnet till en separat damm minskar partikelhalten i kvävereningsdammen, vilket i sin tur medför att de kväverenande växterna trivs bättre och kvävereningen ökar.

Dammen är tänkt att uppföras i sydvästra delen av verksamhetsområdet enligt figur 14. Området för vilket dagvattenuppsamling sker är ca 2,2 ha stort. Eftersom dammen endast är tänkt att användas för sedimentation av partiklar och inte för rening av vattnet har den dimensionerats efter ett normalläge med en nettonederbörd på 540 mm/år (enligt avsnitt 4.6) Det ger ett flöde på ca 32 m³/d. För att säkerställa att den även fungerar vid kraftigare kortvariga regnfall rekommenderas en konstruktion om dubbla volymen för normalläget, alltså ca 65 m³.

Uppdragsnr: 10214591	Rapport hydrologi och hydrogeologi -	
Daterad: 2017-02-02	Kålleröd bergtäkt	
Reviderad:	Bilaga B.6	
Handläggare: Alexander Hansen	Status: Slutversion	



Figur 14 Område för installation av sedimentationsdamm

Uppdragsnr: 10214591	Rapport hydrologi och hydrogeologi -	
Daterad: 2017-02-02	Kålleröd bergtäkt	
Reviderad:	Bilaga B.6	
Handläggare: Alexander Hansen	Status: Slutversion	

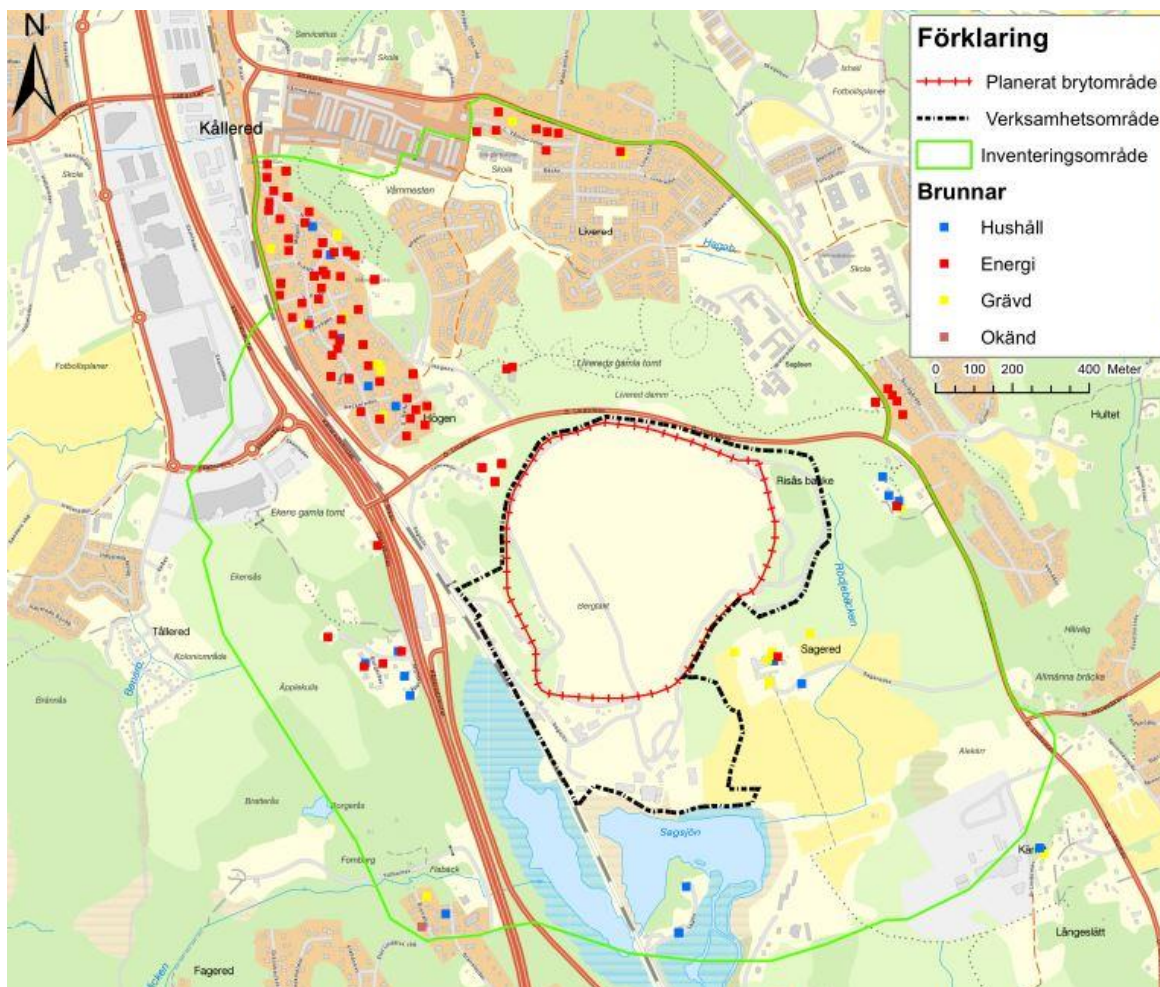
5 UNDERSÖKNINGAR

5.1 Brunnsinventering

En brunnsinventering har utförts inom ett stort inventeringsområde kring bergtäkten (figur 15). Dels har information från SGU:s brunnsarkiv inhämtats och dels har fastighetsägare kontaktats via brev eller telefon.

Totalt omfattades 830 fastigheter och 1179 fastighetsägare av brunnsinventeringen. Av dessa 830 fastigheter ägdes 762 av privatpersoner, 14 av företag, 21 av Trafikverket och 33 av Mölndals kommun. De privata fastighetsägarna och företagen har kontaktats via brev och Trafikverket och kommunen via telefon. De som fick ett brev hemskickat fick alla valet att svara via en webbenkät med en personlig inloggningskod eller att fylla i enkäten i pappersform och returnera den med post. Vid händelse av flera fastighetsägare per fastighet önskades endast ett svar för den fastigheten.

291 privata fastighetsägare och företag svarade på enkäten, av dessa hade 36 stycken en eller flera brunnar på fastigheten, totalt 56 st. Av dessa 56 brunnar fanns 22 registrerade i SGU:s brunnsarkiv. Under utredningen gång har ytterligare 21 brunnar identifierats efter kontakt med fastighetsägare. Samtliga identifierade brunnar redovisas i figur 15 nedan och i bilaga M301.

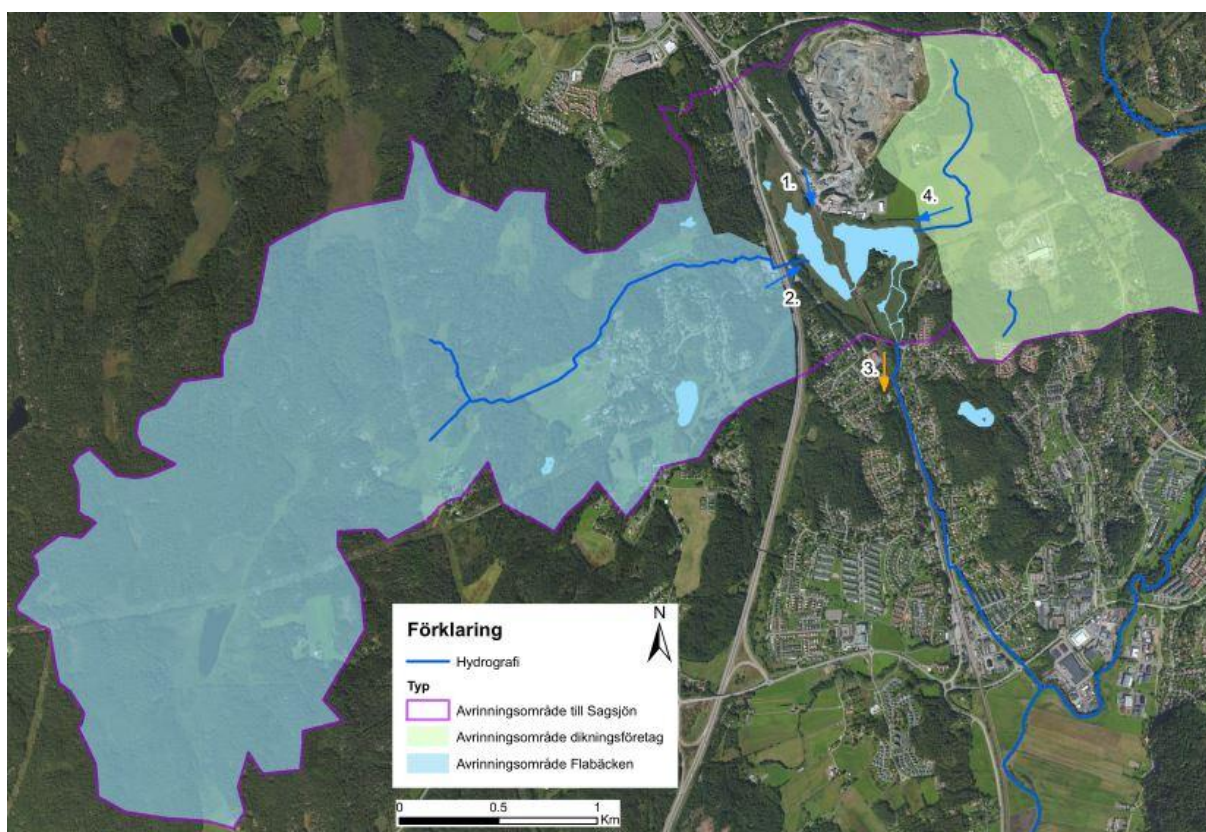


Figur 15 Inventeringsområde med samtliga identifierade brunnar redovisade.

Uppdragsnr: 10214591	Rapport hydrologi och hydrogeologi -	
Daterad: 2017-02-02	Kålleröd bergtäkt	
Reviderad:	Bilaga B.6	
Handläggare: Alexander Hansen	Status: Slutversion	

5.2 Vattenbalans Sagsjön

Vatten tillförs Sagsjön från tre huvudsakliga källor, det är uppumpat vatten från täkten (1), vatten som kommer via Rödjebacken (4) och vatten via Flabäcken (2), se figur 16. Avrinningsområden har tagits fram i ArcGIS och bygger på laserdata och SMHIs delavrinningsområden.



Figur 16 Områden som bidrar med vatten till Sagsjön. Med blå pil: 1 är vatten från täkt, 2 är vatten från Flabäcken och 4 är vatten från Rödjebacken. Nummer 3 med orange pil är utgående vatten från Sagsjön

5.2.1 Vatten från täkt (Punkt 1)

Som beskrivs i avsnitt 4.7 pumpas vatten upp från täkten. Under perioder med nederbörd är den största delen regnvatten och under torrare perioder är majoriteten grundvatten. I medeltal rör det sig om ca 1100 m³/d.

5.2.2 Vatten via Rödjebacken (Punkt 4)

Vatten som når Sagsjön via Rödjebacken kommer från åkermarkerna kring Sagered och industriområdet och skogsområdena vid Annestorp. Totalt rör det sig om ett område på ca 150 ha. Med en nettonederbörd på 460 mm/år (avsnitt 4.6) motsvarar det en medelavrinning på ca 1900 m³/d.

5.2.3 Vatten via Flabäcken (Punkt 2)

Vatten som når Sagsjön via Flabäcken kommer till stor del från Sandsjöbacka naturreservat med stora skogsområden, småsjöar och myrmark. Inom området finns också ett antal enskilda fastigheter med

Uppdragsnr: 10214591	Rapport hydrologi och hydrogeologi -	
Daterad: 2017-02-02	Kålleröd bergtäkt	
Reviderad:	Bilaga B.6	
Handläggare: Alexander Hansen	Status: Slutversion	

enskilda avlopp, åkermarker, en hästgård, en nedlagd deponi och bostadsområdet Fagered. Avrinningsområdet har en total area på ca 620 ha. Det ger genom samma beräkningar som tidigare upphov till en medelavrinning på ca 7 800 m³/d.

5.2.4 Övrigt tillskott av vatten

Förutom de tre ovan nämnda tillskotten av vatten till Sagsjön så tillkommer ytterligare några källor. Direkt nederbörd t.ex. där evapotranspirationen från öppna vattenytor är lite större än från bevuxen mark. Det beräknas ge ett vattentillskott på 415 mm/år vilket för arean ca 31 ha (inklusive vasstäckta områden) motsvarar 130 000 m³ (ca 340 m³/d över året).

Avrinning från den hårt trafikerade E6:an bidrar också med vatten. Utifrån laserdata uppskattas det att ca 4,5 ha av motorvägen och den lilla gräsyta mellan körbanorna bidrar med vatten till Sagsjön. Eftersom det är till stor del hårdgjorda ytor och gräsytor med dränering har en nettonederbörd på 540 mm/år används (enligt avsnitt 4.6). Det ger en ett medelflöde på 66 m³/d.

5.3 Vattenprovtagning

För att undersöka vilken påverkan täkten har på olika recipienter har ett antal vattenprov tagits. Prover har tagits på sju platser, punkt 1-5 kan ses i figur 17 och tas upp i avsnitt 5.3.1 och punkt 6-7 ses i figur 18 och berörs i avsnitt 5.3.2.

Nedan listas de olika provtagningspunkterna och anledningen till varför prov tagits i punkten.

1. Utlopp täkt – För att undersöka vad utpumpat vatten från täkten innehåller.
2. En referenspunkt som används i kontrollprogrammet sedan en tid tillbaka.
3. Utlopp Sagsjön – För att se vad det är för kvalitet på vattnet som lämnar Sagsjön.
4. Utlopp dikningsföretag – För att se vilket tillskott av näringsämnen som åkermarkerna söder om täkten tillför recipienten.
5. Flabäcken - För att se vilket tillskott av näringsämnen som åkermarkerna, deponin och skogsområdena väster om täkten tillför recipienten.
6. Utlopp Lindomeån – För att se vad det är för kvalitet på vattnet innan diket mynnar ut i Lindomeån.
7. Lindomeån – Referenspunkt för att se vad det är för kvalitet på vattnet i Lindomeån.

Tre stycken provtagningar har utförts i samband med ansökan: först 2015-09-17 efter en tid med lite nederbörd, den andra 2015-12-16 efter en tid med mer nederbörd och den tredje 2016-01-14 efter en tid med lite nederbörd och kallt väder. I samtliga provtagningspunkter analyserades provet med avseende på Alcontrols paket NAT002 (TOC, pH, konduktivitet, alkalinitet, färg, ammoniumkväve, kväve total, nitrat + nitritkväve och fosfor). I punkt 1 och 3 har även metallanalys (NAT002) utförts.

Provtagning har enligt befintligt kontrollprogram även utförts i vissa punkter längre bakåt i tiden (sedan 2001), men då endast med avseende på totalkväve (N-tot)

5.3.1 Sagsjön

Sagsjön är 13 ha stor, har ett maxdjup på 1,5 m och ett medeldjup på 0,8 m. Den totala volymen är 123 000 m³.

Uppdragsnr: 10214591	Rapport hydrologi och hydrogeologi -	
Daterad: 2017-02-02	Kållerød bergtäkt	
Reviderad:	Bilaga B.6	
Handläggare: Alexander Hansen	Status: Slutversion	



Figur 17 Provtagningspunkter för ytvatten, punkt 1-5

Medelvärde av de tre provtagningsstillfällena presenteras i tabell 6 nedan.

Tabell 6 Resultat provtagning punkt 1-5, medelvärde från de tre analyserna.

	Enhet	1. Utlopp täkt	2. Referenspunkt	3. Utlopp Sagsjön	4. Utlopp dikningsföretag	5. Flabäcken
TOC	mg/l	4,8	16	9,6	8,9	8,7
HCO ₃	mekv/l	1,3	0,38	0,6	1,1	0,4
Färg	mg/l Pt	5,0	180	73	77	70
Kond 25°C	mS/m	74	10,6	21	26	14
pH vid 20°C		7,9	7,2	7,2	7,4	7,3
NH ₄ -N	µg/l	14,3	30	69	76	200
P	µg/l	284	66	25	39	27
N-tot	µg/l	1353 (	1100	753	1200	740
NO ₂₃ -N	µg/l	1193	100	207	507	195

Uppdragsnr: 10214591	Rapport hydrologi och hydrogeologi -	
Daterad: 2017-02-02	Kålleröd bergtäkt	
Reviderad:	Bilaga B.6	
Handläggare: Alexander Hansen	Status: Slutversion	

5.3.2 Lindomeån

När vattnet lämnar Sagsjön via punkt 3 rinner detta via Sagbäcken söderut längs med järnvägen genom Lindome ca 1,5 km för att sedan ansluta till Lindomeån. Prover har tagits i punkt 6 och 7 enligt figur 18 nedan.



Figur 18 Provtagningspunkter för ytvatten, punkt 6-7

I punkt 6 och punkt 7 har provtagning endast utförts vid ett tillfälle, 2015-09-17. Resultatet av denna provtagning presenteras i tabell 7 nedan. Som kan ses i tabellen ökar t.ex. halten kväve och fosfor mellan utsläppspunkten från Sagsjön (punkt 3) till utloppet till Lindomeån (punkt 6). Det skedde alltså ett tillskott av näringsämnen under den tid som diket har sin sträckning genom Lindome vid detta provtagningstillfälle.

Tabell 7 Resultat provtagning punkt 6-7, 2015-09-17

Enhet/Punkt		6. Utlopp Lindomeån	7. Lindomeån
		10	11
HCO ₃	mekv/l	0,87	0,27
Färg	mg/l Pt	90	110
Kond 25°C	mS/m	22,1	9,12
pH vid 20°C		7,5	7,1
NH ₄ -N	µg/l	23	28
P	µg/l	50	68
N-tot	µg/l	900	990
NO ₃ -N	µg/l	190	210

Uppdragsnr: 10214591	Rapport hydrologi och hydrogeologi -	
Daterad: 2017-02-02	Kålleröd bergtäkt	
Reviderad:	Bilaga B.6	
Handläggare: Alexander Hansen	Status: Slutversion	

5.3.3 Metaller

För punkterna 1. *Utlopp täkt* och 2. *Utlopp Sagsjön* och analyserades även provet med avseende på Alcontrols paket NAT001 (Al, As, Ba, Pb, Cd, Co, Cu, Cr, Ni, Sr och Zn)

Tabell 8 Resultat provtagning metaller punkt 1 och 3, 2015-09-17

	Enhet/Punkt	1. Utlopp täkt	3. Utlopp Sagsjön
Aluminium, Al	µg/l	2200	120
Arsenik, As	µg/l	0,37	0,42
Barium, Ba	µg/l	50	19
Bly, Pb	µg/l	1,2	0,16
Kadmium, Cd	µg/l	0,077	<0,01
Kobolt, Co	µg/l	3	0,14
Koppar, Cu	µg/l	2,6	1,4
Krom, Cr	µg/l	3,4	0,29
Nickel, Ni	µg/l	9,3	0,96
Strontium Sr	µg/l	420	91
Zink, Zn	µg/l	46	1,7

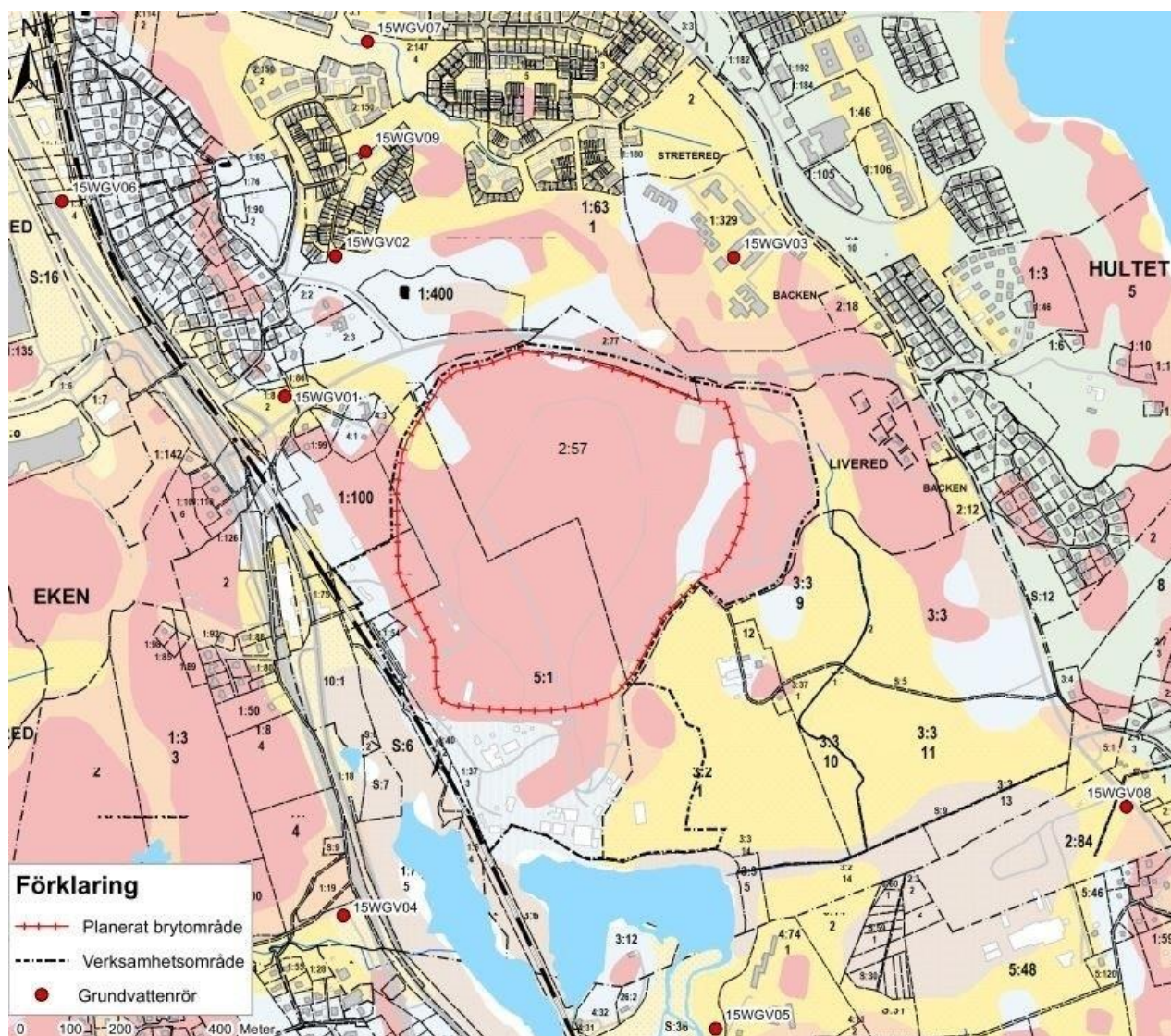
Som kan ses i tabell 8 minskar metallhalterna påtagligt från *Utlopp täkt* till *Utlopp Sagsjön*, detta tyder på att reningsdammen och Sagsjön är effektiv på att rena vattnet från metaller. Den enda metallen som inte minskar utan istället ökar med 0,05 µg/l är arsenik.

5.4 Installation av grundvattenrör

Ett antal grundvattenrör har installerats runt bergtäckten för att kontrollera grundvattennivåer. Totalt har nio stycken rör installerats (figur 19 och tabell 9) på platser där den hydrogeologiska utredningen visat att det kan finnas en sättningsrisk i lerlagret om trycknivån hos grundvattnet minskar. Lokaliseringen har också valts så att dessa sitter mellan täkten och möjligt känsliga objekt för att på så sätt upptäcka en möjlig grundvattensänkning tidigt.

Grundvattenrören är av typen 2" stålrör mer perforerad spets. De är installerade med filterdelen penetrerande friktionslagret som underlagrar leran.

Uppdragsnr: 10214591	Rapport hydrologi och hydrogeologi -	
Daterad: 2017-02-02	Kållerød bergtäkt	
Reviderad:	Bilaga B.6	
Handläggare: Alexander Hansen	Status: Slutversion	



Figur 19 Lokalisering av installerade grundvattenrör kring bergtäkten i Kållerød

Tabell 9 Installerade grundvattenrör

Rör-ID	Djup till spetsnivå gv-rör
15WGV01	6
15WGV02	9,85
15WGV03	7
15WGV04	5,7
15WGV05	10,4
15WGV06	9
15WGV07	9,4
15WGV08	18,8
15WGV09	11

Uppdragsnr: 10214591	Rapport hydrologi och hydrogeologi -	
Daterad: 2017-02-02	Kållerred bergtäkt	
Reviderad:	Bilaga B.6	
Handläggare: Alexander Hansen	Status: Slutversion	

5.5 Grundvattennivåmätningar

Grundvattennivån i de installerade grundvattenrören har mätts vid fyra tillfällen inför ansökan, detta presenteras i tabell 10.

Tabell 10 Grundvattennivåmätningar i rören kring Kållereds bergtäkt. Uppmätta värden i tabellen visas i nivå under rör över kant (rök). Nivåer i grått indikerar att vattnet i röret varit fruset vid mättillfället, då har överkant på isen redovisats. Se figur 19 för rörens lokalisering

	Medelnivå RH2000	2015-11-24	2015-12-16	2016-01-07	2016-01-22
15WGV01	28,92	1,75	1,5	1,75	2,05
15WGV02	27,30	4,35	4	3,71	3,82
15WGV03	33,42	2,07	1,91	2,06	2,21
15WGV04	20,91	1,7	1,65	1,83	1,93
15WGV05	21,31	0,4	0,235	0,29	0,39
15WGV06	11,48	1,65	1,65	1,69	1,73
15WGV07	17,33	1,1	0,98	0,96	0,99
15WGV08	>26,94	Bräddar	Bräddar	Bräddar	Is
15WGV09	21,16	5,39	5,11	4,95	5,13

Mätningar av grundvattennivåerna kommer att fortlöpa. Initialt kommer grundvattennivåmätningarna att ligga tätt för att ge en god bild på hur årstidsvariationen hos nivåerna ser ut. Därefter kommer mätningar utföras enligt kontrollprogrammet för att bygga upp en långtidsserie av mätningar för att på så sätt kunna avgöra om täktverksamheten, när den går ner ytterligare på djupet, leder till någon påverkan på grundvattennivåerna i undre magasin.

5.6 Geotekniska sonderingar och sättningsrisk

Runt täkten finns ett flertal större områden med lera. Dessa områden har samtliga ett undre magasin vilket betyder att de kan vara sättningskänsliga om grundvattentrycket sjunker. Det kan leda till skada på byggnader, vägar och andra installationer. Som beskrevs i avsnitt 5.4 ovan har nio grundvattenrör installerats i områden som bedömts som sättningskänsliga vid en trycksänkning.

Geotekniker har studerat området utifrån möjliga riskobjekt. Arkivborringar (äldre geotekniska undersökningar) inom område har studerats. Egna geotekniska sonderingar har sedan utförts i två syften:

- Det första är att undersöka lerans egenskaper på ett antal platser kring täkten för att på så sätt bedöma lerans sättningskänslighet.
- Det andra är verifiera hypotesen att Sagsjöns botten består av lågpermeabelt material och inte har någon större hydraulisk kontakt med berggrunden.

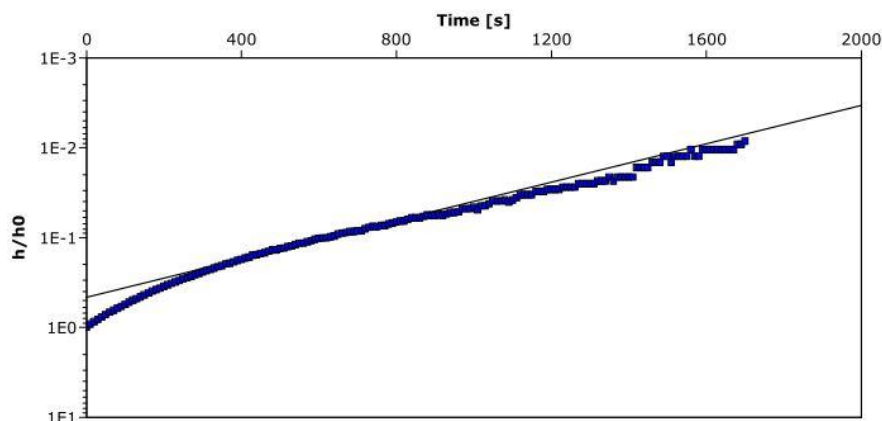
Resultaten av undersökningarna visar att leran har en viss sättningskänslighet och att grundvattenrören därmed är installerade på lämpliga platser. Det visade också att Sagsjön underlagras av ett lerlager vilket begränsar den hydrogeologiska kontakten med berggrunden och därmed täkten.

Uppdragsnr: 10214591	Rapport hydrologi och hydrogeologi -	
Daterad: 2017-02-02	Kålleröd bergtäkt	
Reviderad:	Bilaga B.6	
Handläggare: Alexander Hansen	Status: Slutversion	

5.7 Infiltrationstester

En skadlig grundvattennivåsenkning ska undvikas. För att säkerställa att detta uppfylls finns planer på att installera ett infiltrationssystem genom vilket vatten kan infiltreras för att upprätthålla grundvattennivån. Möjligheten för infiltration av vatten har undersökts genom hydrauliska tester i installerade grundvattenrör. Testerna utfördes i form av slug-tester. Ett slug-test går till på så sätt att vatten fylls på i ett grundvattenrör som penetrerar den akvifär som ska undersökas. Sedan mäts kontinuerligt vattnets avtagande till dess att nivån i röret återgått till den ursprungliga.

Slug-tester har utförts i 15WGV01, 15WGV02, 15WGV06 och 15WGV09. Nedan i figur 20 visas ett exempel från analysen av testerna, detta för grundvattenröret 15WGV01. Avsänkningen plottas i en lin-log graf med tiden linjär på X-axeln och avsänkningen logaritmisk på Y-axeln. Längs denna kurva passas en rät linje vars lutning motsvarar akvifärens hydrauliska konduktivitet. Kurvan passades enligt Horslevs metod. Passningen av den rätta linjen gjordes för kurvan inom spannet 0,15-0,25, detta enligt resultatet av en studie av James J Butler (1997) som visar att detta är det intervall där passningen stämmer bäst överens med verkligheten för normaliserad data.



Figur 20. Lin-log graf över avsänkningen i grundvattenröret 15WGV01.

Resultat av de fyra slugtesterna pekar på goda infiltrationsmöjligheter. I tabell 11 presenteras de utvärderade hydrauliska konduktiviteterna för respektive rör. Som kan ses har 15WGV02 och 15WGV06 en konduktivitet på runt 10^{-5} m/s och 15WGV01 och 15WGV09 en hydraulisk konduktivitet på ca $3 \cdot 10^{-6}$ m/s.

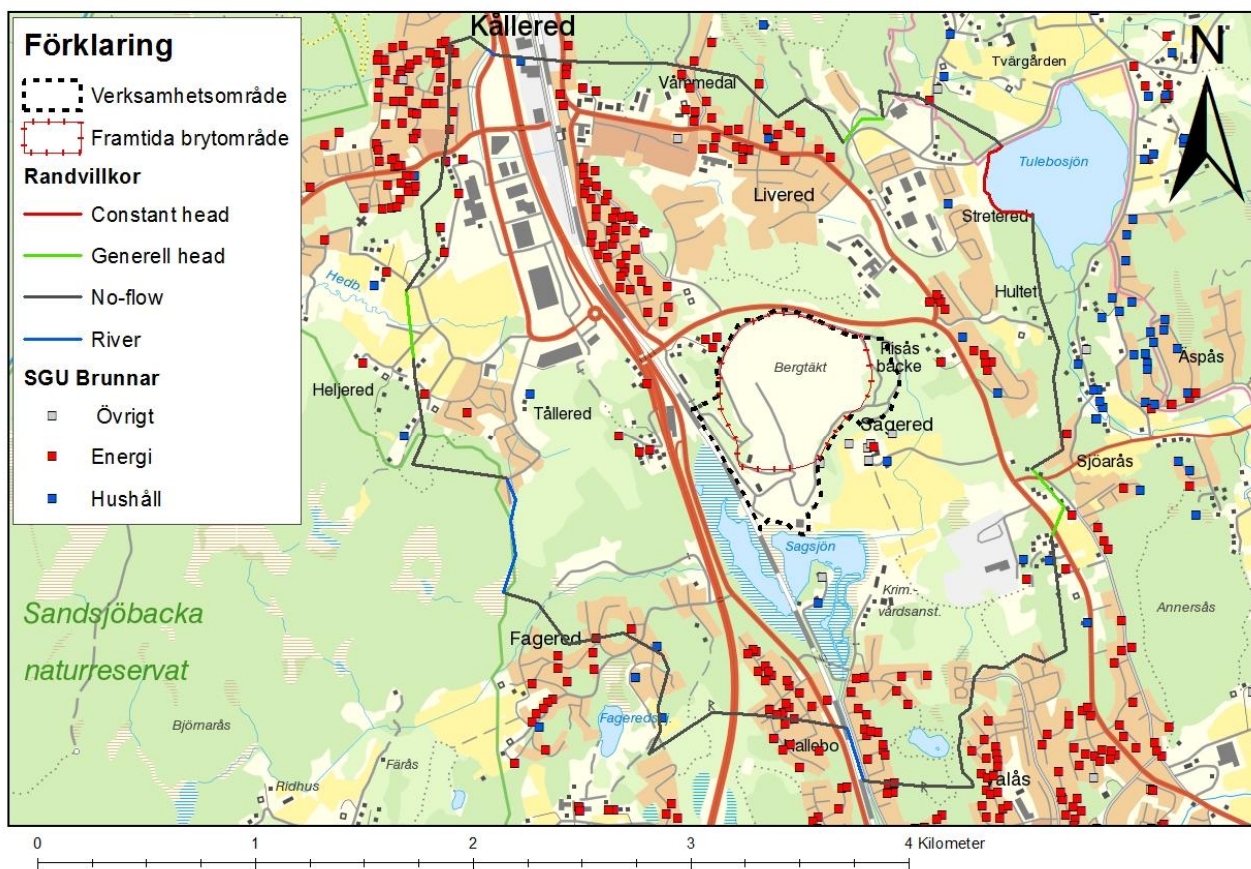
Tabell 11 Hydrauliska konduktiviteter för de rör där slug-tester utförts

	Hydraulisk konduktivitet (m/s)
15WGV01	$3,6 \cdot 10^{-6}$
15WGV02	$9,0 \cdot 10^{-6}$
15WGV06	$1,2 \cdot 10^{-5}$
15WGV09	$3,1 \cdot 10^{-6}$

5.8 Bestämning av bergets hydrauliska konduktivitet

Bergets storskaliga hydrauliska konduktivitet har uppskattats genom bearbetning av data ur SGU:s brunnarsarkiv. En statistisk beräkning har utförts av data från brunnar inom ca 3 km radie från täkten enligt figur 21.

Uppdragsnr: 10214591	Rapport hydrologi och hydrogeologi -	
Daterad: 2017-02-02	Kålleröd bergtäkt	
Reviderad:	Bilaga B.6	
Handläggare: Alexander Hansen	Status: Slutversion	



Figur 21. Använda brunnar i närheten av tåkten.

Sammanlagt ingår 592 brunnar i urvalet vilket gav beräkningsbar data för 398 st. Den hydrauliska konduktiviteten för berget beräknades för respektive brunn baserat på brunnskapacitet och brunnsdjup.

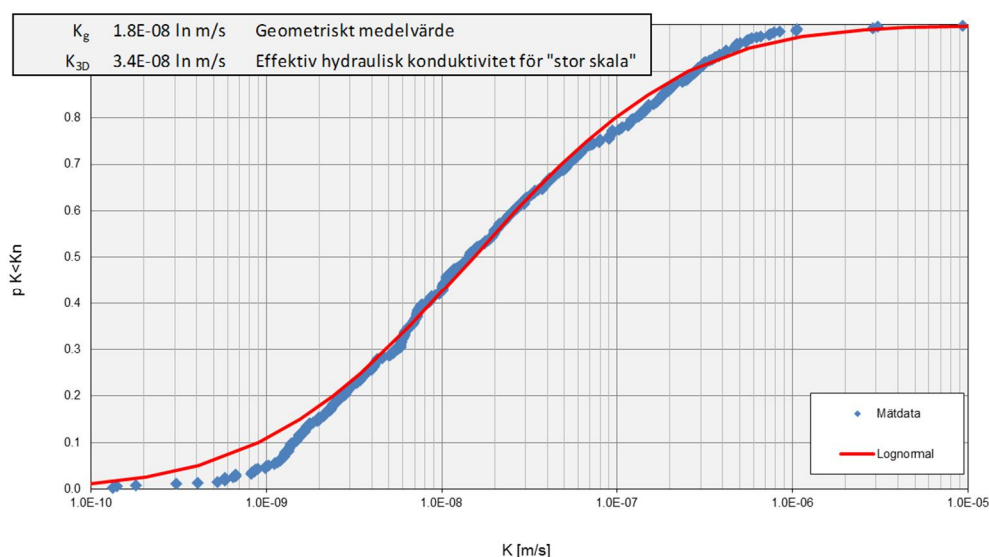
$$K = (\text{Flöde} / \text{Avsänkning}) / \text{Borrhålets djup i berg} \quad (2)^2$$

Där avsänkningen antas vara detsamma som borrhålets djup i berg (effektivt djup).

Vid installation av en bergborrad brunn "spräcker" ibland borrararen berget för att få en ökad tillrinning av vatten. Detta kan ge en liten överskattning av K-värdet. Populationen har anpassats mot en lognormalfördelning för den hydrauliska konduktiviteten, se figur 22

² Berggren M, 1998

Uppdragsnr: 10214591	Rapport hydrologi och hydrogeologi -	
Daterad: 2017-02-02	Kålleröd bergtäkt	
Reviderad:	Bilaga B.6	
Handläggare: Alexander Hansen	Status: Slutversion	



Figur 22. Anpassad lognormalfördelning för hydraulisk konduktivitet för brunnar inom 3 km radie från tåkten

Utifrån den anpassade lognormalfördelningen beräknades sedan en storskalig hydraulisk konduktivitet (K_{3D}) enligt Matherons förmodan: $K_{3D} = K_g \exp(\sigma_{\ln K}^2/6)$ där K_g är det geometriska medelvärdet och $\sigma_{\ln K}$ är logstandardavvikelsen. Detta ger ett K_{3D} -värde på $3,4 \cdot 10^{-8}$ m/s vilket ger underlag för vidare beräkningar. Det beräknade K_{3D} -värdet ligger inom ramen för normala hydrauliska konduktiviteter för berg. Det beräknade lokala K -värdet för tåkten från kapacitetstestet ger ett aningen högre värde, $8,2 \cdot 10^{-8}$ m/s. Däremot är de använda brunnarna mycket grundare och med hänsyn till detta får det ändå anses att resultaten till stor del överensstämmer.

Det generella värdet på K för berget ansattes med ett högre värde i de övre lagren för att sedan avta med djupet för att simulera avtagandet av sprickbildning. Sammanvägningen av beräkningslager i modellen ner till samma mediandjup som de brunnar som har utvärderats ges samma K -värde som den storskaliga effektiva hydrauliska konduktiviteten. Nedan dessa lager fortsätter K -värdet sjunka utefter normalt avtagande för berg med djupet³.

5.9 Provpumpning i berg

Den 26 november 2015 genomfördes 3 stycken kapacitetstester för att bedöma den lokala hydrauliska konduktiviteten i berg inom tåkten. Totalt borrades 4 stycken hål ner till 30-40 meters djup med en diameter på 102 mm, se figur 23. Genom att avsänka vattennivån kraftigt tills en stabil nivå uppstår, kan den lokala hydrauliska konduktiviteten beräknas, här genom Mace empiriskt framtagna ekvation.

$$T = 0,76 * \left(\frac{Q}{s}\right)^{1,08} \quad (1)$$

Där Q mäts i $m^3/dygn$ och T som $m^2/dygn$.

Stor skillnad mellan borrhålen uppmättes, där nr 3 hade artesiskt vatten och rann naturligt över kanten på hålet medan nr 4 hade ett mycket begränsat inflöde. Det geometriska medelvärdet på de tre testerna beräknades till $8,2 \cdot 10^{-8}$ m/s. Under hela testet mättes nivån i borrhål nr 1 men ingen respons kunde utläsas från pumpningen av de andra borrhålen.

³ SNV rapport 4818. Grundvattenströmning i kristallint berg, Stockholm 1997.

Uppdragsnr: 10214591	Rapport hydrologi och hydrogeologi -	
Daterad: 2017-02-02	Kålleröd bergtäkt	
Reviderad:	Bilaga B.6	
Handläggare: Alexander Hansen	Status: Slutversion	

Tabell 12. Utvärderade K värden från kapacitettest [m/s]

	Borrhål 2	Borrhål 3	Borrhål 4	Geometriskt medelvärde
K_{Mace}	$2,5 \cdot 10^{-7}$	$1,4 \cdot 10^{-6}$	$1,6 \cdot 10^{-9}$	$8,2 \cdot 10^{-8}$



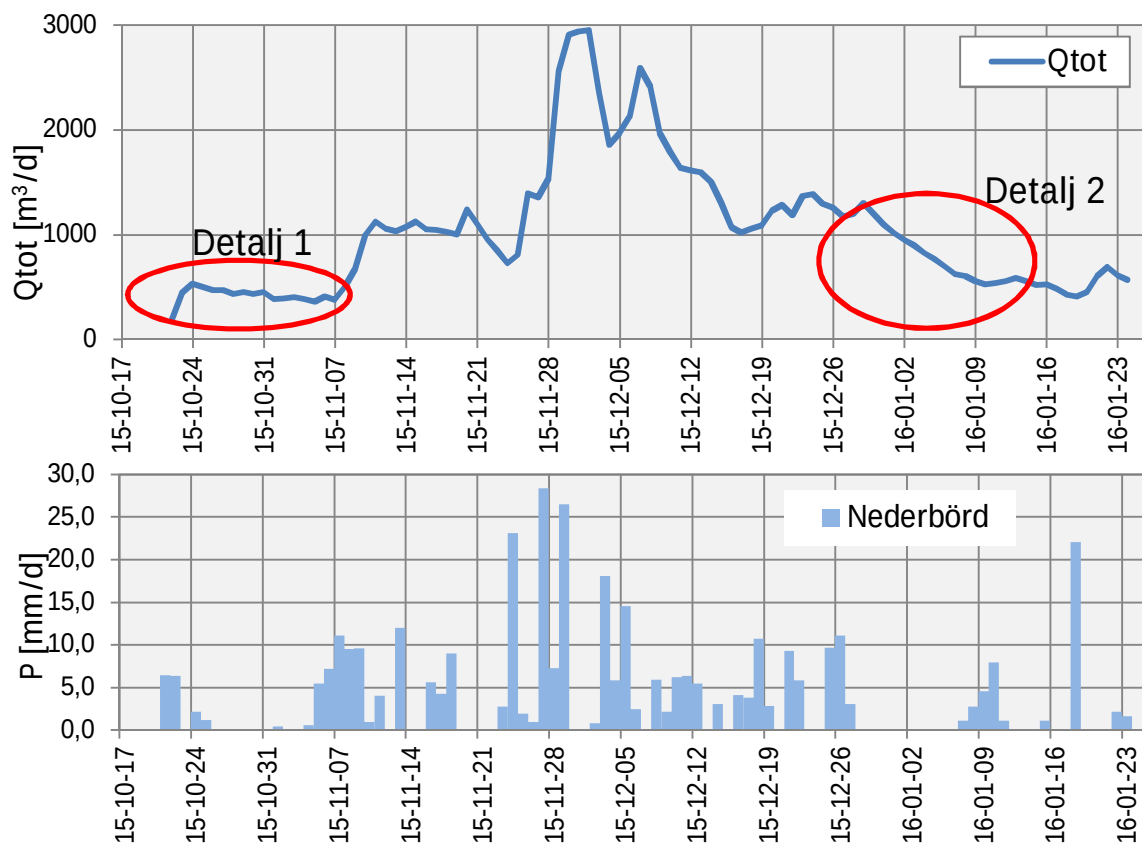
Figur 23. Placering av 4 stycken borrhål i täkten.

5.10 Grundvatteninläckage

Som beskrevs i avsnitt 4.7 mäts flödet från pumpgruppen i täkten. Däremot mäts enbart ena pumplinjen, huvudpumplinjen. Genom en flödesmätning på plats där de olika pumplinjerna testades separat har ett förhållande mellan de två linjerna beräknats, med hjälp av detta har det totala flödet beräknats. Vid låga flöden bedöms flödet vara med relativt stor noggrannhet och sämre vid höga flöden.

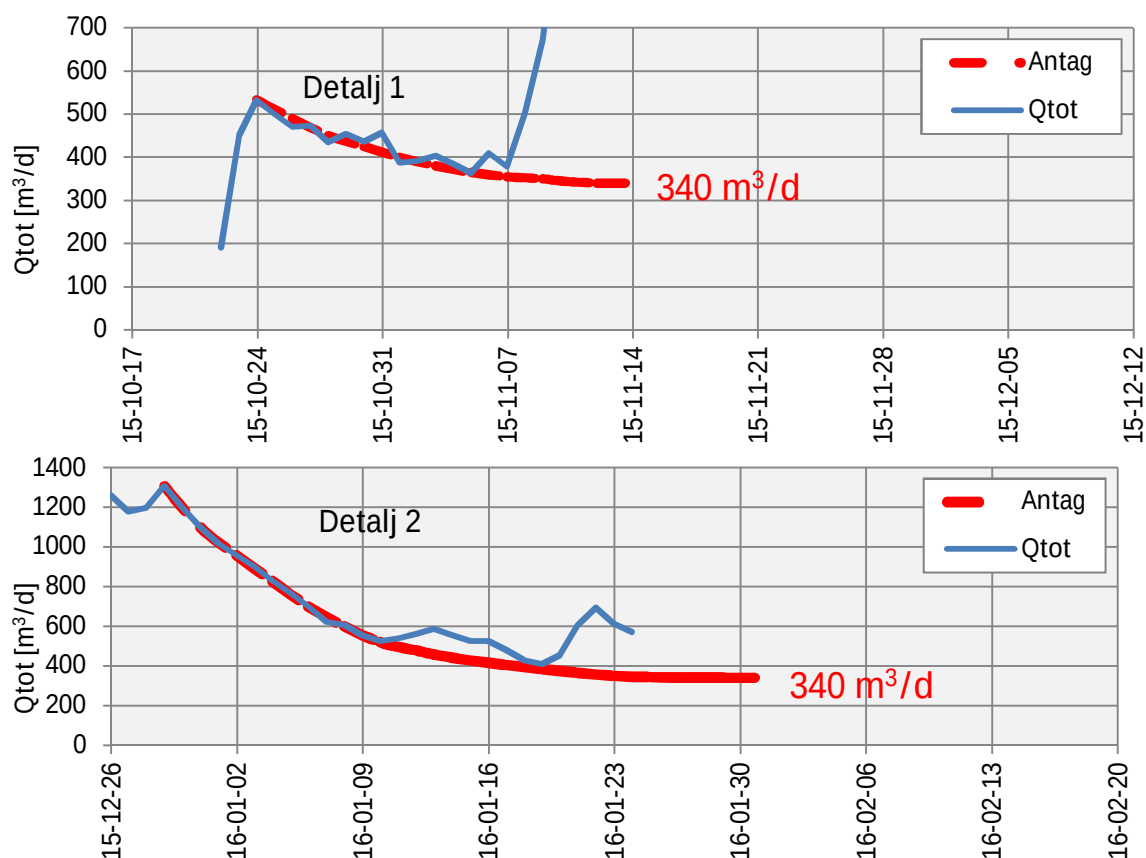
Uppdragsnr: 10214591	Rapport hydrologi och hydrogeologi -	
Daterad: 2017-02-02	Kålleröd bergtäkt	
Reviderad:	Bilaga B.6	
Handläggare: Alexander Hansen	Status: Slutversion	

För att bedöma storleken på grundvatteninläckaget behövs en längre tid med nederbördsuppehåll. Då detta är ovanligt i Göteborgsregionen har inläckaget av grundvatten behövs bedömas med hjälp med extrapolering av trender i tillgänglig data. Två perioder med nederbördsuppehåll finns i nuvarande data, se figur 24. Extrapolering av recessionskurvorna för dessa perioder ger en samstämmig bedömning att inläckaget av grundvatten till täkten kan bestämmas till ca 340 m³/dygn (figur 25).



Figur 24. Uppmätt utpumpning från täkten och nederbörd över området från en närliggande station.

Uppdragsnr: 10214591	Rapport hydrologi och hydrogeologi -	
Daterad: 2017-02-02	Kålleröd bergtäkt	
Reviderad:	Bilaga B.6	
Handläggare: Alexander Hansen	Status: Slutversion	



Figur 25. Extrapolerad trend i uppmätt utflöde för bedömning av grundvattenkomponent.

5.11 Utredning Rödjebacken

Rödjebacken har sitt ursprung i skogsområdet öster om täkten, strax söder om Östra Lindomevägen. Skogsområdet består i sin centrala norra del av kärrskog som övergår till alsumpskog och fuktig lövskog lägre söder ut. Kärrskogen har ett fåtal vattenspeglar, dessa blir flertaliga längre söder ut och övergår till en liten bäck som sedan rinner ner till alsumpskogen. Efter cirka 400 m från dess källa når bäcken åkermarken vid Sagered och lämnar därmed skogen. Här övergår den från en naturlig skogsbäck till ett uträtat dike. Diket sträcker sig cirka 600 m innan det mynnar i ytterligare ett dike, detta dike mynnar sedan efter cirka 300 m i Sagsjön.

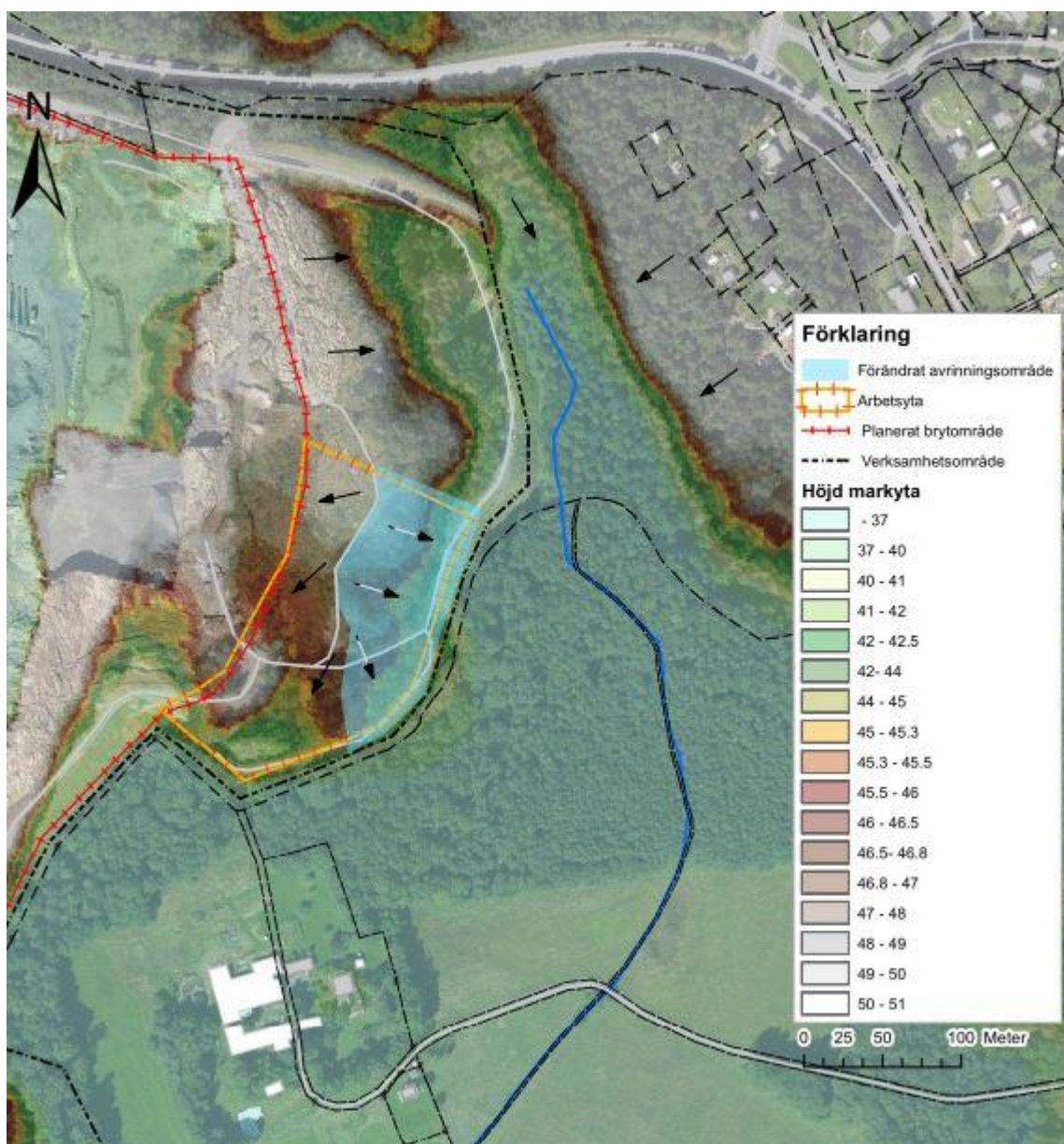
Kärrskogens, och därmed Rödjebackens vatten härstammar från direkt nederbörd, ytavrinning och ytnära grundvatten från omkringliggande högområden. Eftersom bäckens vattenflöde nästan uteslutande är beroende av regnvatten är vattenföringen i denna varierande, vid perioder med mycket nederbörd är vattenföringen kraftigare och vid perioder med lite nederbörd är vattenföringen liten.

Påverkan av täktverksamheten på Rödjebacken beräknas bli försumbar. Som kan ses i jordartskartan i figur 4 är sänkan öster om täkten där alsumpskogen växer belägen på lera. Längst norrut visar jordartskartan på postglacial sand vilken mest troligt överlagras det lager med lera som är synligt längre söder ut. Detta lerslager skapar en barriär mot underliggande morän och berggrund vilket gör att den hydrogeologiska kontakten mellan sumpskogen och undre magasin blir näst intill obefintlig. Något som ytterligare styrker att Rödjebacken och sumpskogen inte kommer att påverkas av täktverksamheten är det faktum att det i dagsläget inte kan ses någon påverkan. Täktverksamhet har

Uppdragsnr: 10214591	Rapport hydrologi och hydrogeologi -	
Daterad: 2017-02-02	Kålleröd bergtäkt	
Reviderad:	Bilaga B.6	
Handläggare: Alexander Hansen	Status: Slutversion	

pågått under grundvattenytan en längre tid vilket har sänkt av grundvattenyttrycknivån i berget kring tåkten, något som inte har märkts på alsumpskogen eller bäcken.

Ett förhållande som kommer att ändras till följd av sökt verksamhet är att en yta (se figur 26) som tidigare har bidragit med ytavrinning till sumpskogen kommer att omvandlas till arbetsyta. Ytan har en area på ca 1 ha. Nylig avskogning inom verksamhetsområdet, norr om denna punkt har skapat ökad ytavrinning och på så sätt förmodligen ökat vattenföringen i bäcken. Det uppskattas att den ökade ytavrinningen motsvarar den minskning på 1 ha av avrinningsområdet.



Figur 26 Förändrad ytavrinning vid Rödjebacken på grund av anläggning av en arbetsyta inom verksamhetsområdet

Uppdragsnr: 10214591	Rapport hydrologi och hydrogeologi -	
Daterad: 2017-02-02	Kålleröd bergtäkt	
Reviderad:	Bilaga B.6	
Handläggare: Alexander Hansen	Status: Slutversion	

5.12 Trycknivåer i berg och brunnar

Trycknivån för grundvattenytan i berg närmast täkten kan komma att påverkas, se figur 33. Det betyder inte automatiskt att effektiviteten hos de energibrunnar som finns i närområdet kommer att påverkas. För att kontrollera om energibrunnarna kan komma att påverkas kommer mätningar utföras enligt framtida kontrollprogram på platserna i figur 27 nedan. Dessa platser är valda för att få en bra spridning i riktning och avstånd från täkten.

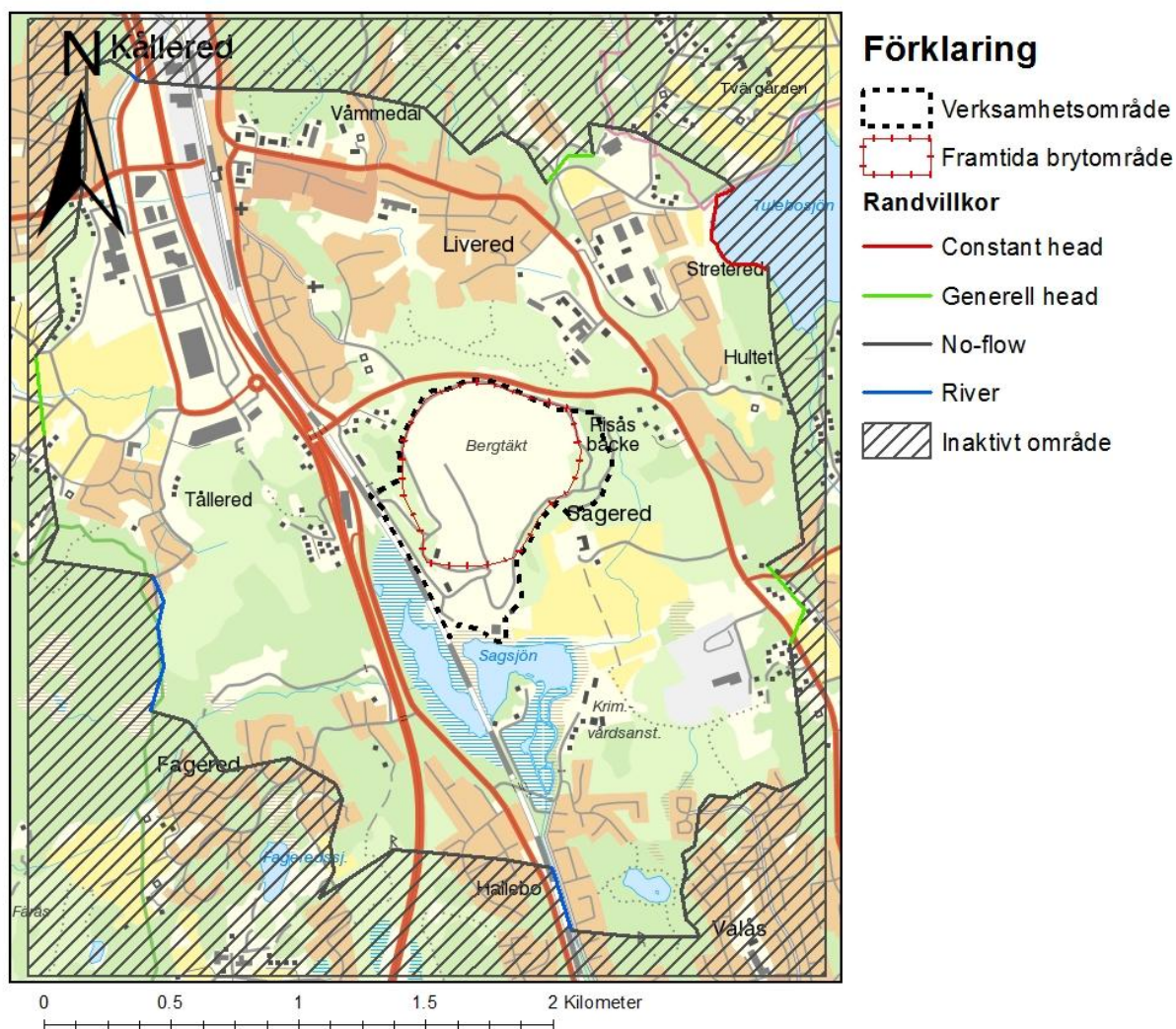


Figur 27 Mätning av grundvattennivåer i berg (energibrunnar)

Uppdragsnr: 10214591	Rapport hydrologi och hydrogeologi -	
Daterad: 2017-02-02	Kållerød bergtäkt	
Reviderad:	Bilaga B.6	
Handläggare: Alexander Hansen	Status: Slutversion	

6 GRUNDVATTENMODELLERING

En grundvattenmodell upprättades enligt den hydrogeologiska beskrivningen i denna rapport. Den geografiska avgränsningen för modellen sätts genom att finna säkra hydrauliska randvillkor i närheten av modellens fokusområde (här bergtäkten). Detta görs genom att studera topografi, jordarter, vattendrag och liknande faktorer. Avgränsningen sätts så långt från fokusområdet att randvillkoren inte ska påverka kommande simuleringar för prognostisering av grundvattenhydraulisk påverkan från sökt vattenverksamhet, men samtidigt inte onödigt långt ifrån fokusområdet för att effektivisera modellens storlek. För modell över Kållerøds bergtäkt har avgränsning gjorts enligt, se figur 28.



Figur 28. Modellområde och randvillkor för grundvattenmodellen. *Constant head* motsvarar en hydraulisk rand som inte bedöms kunna påverkas och håller till stor del en konstant nivå, t.ex. en sjö. *Generell head* motsvarar en hydraulisk rand som kan påverkas men annars håller till stor del en konstant nivå. *River* motsvarar som namnet indikerar en å eller bäck, som har en viss vattennivå. Samtliga av dessa tre randvillkor kan både ge vatten till modellen men även ta ut vatten, beroende på omgivningens grundvattennivåer. Slutligen användes randvillkoret *No-flow*, vilket är en rand där inget vatten passerar, dvs en vattendelare.

Uppdragsnr: 10214591	Rapport hydrologi och hydrogeologi -	
Daterad: 2017-02-02	Kålleröd bergtäkt	
Reviderad:	Bilaga B.6	
Handläggare: Alexander Hansen	Status: Slutversion	

6.1 Modellteknisk uppbyggnad

Där SGU har bedömt att det är ytligt berg och berg i dagen återfinns fortfarande jordlager där nederbörd infiltrerar, kvarhålls och transporteras vidare. För att återge detta ansätts det översta beräkningslagret i dessa områden till ett tunt lager med ett K-värde som ska representera en blandning av berg och lösa jordlager.

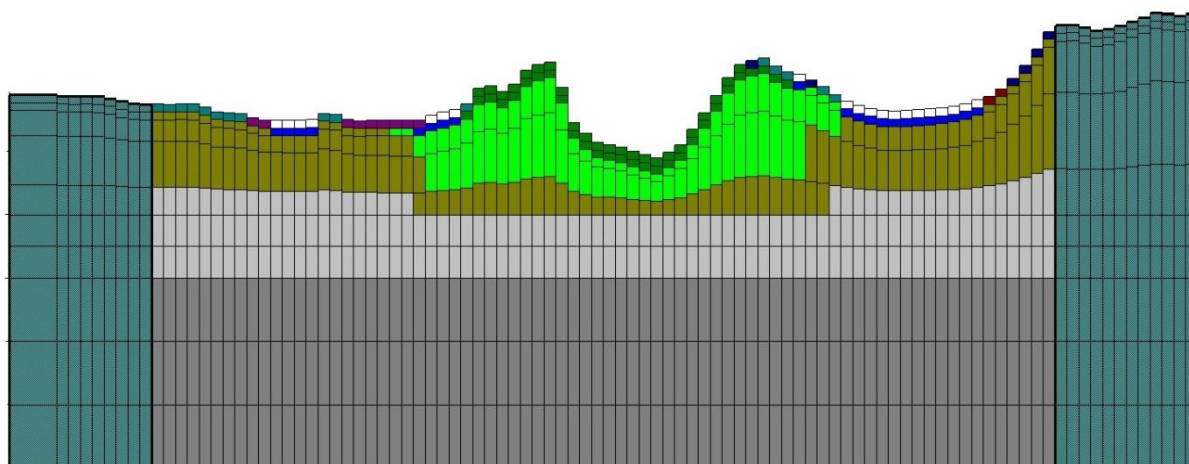
Konduktiviteten i jordlagren, ansattes initialt utefter de fältdata som tagits fram, där detta saknades ansattes litteraturvärden (Domenico & Schwartz, 1998). Dessa värden har sedan förändrats i och med att modellen kalibrerades och presenterade värden skiljer sig aningen från initiala och de uppmätta, se tabell 13. I figur 29 visas lagerindelningen i grundvattenmodellen i profil, observera att bilden är utdragen i höjdlängd (5 gånger) för att kunna se höjdskillnader.

Tabell 13. Kalibrerade K värden som använts i modellen.

Färgkod	Lager	K _{vert} [m/s]	K _{horz} [m/s]	Typ
	1	$2,0 \cdot 10^{-9}$	$5,0 \cdot 10^{-10}$	Lera, lerig morän
	1	$1,0 \cdot 10^{-7}$	$1,0 \cdot 10^{-7}$	Berg + tunt jordtäck
	2	$1,0 \cdot 10^{-4}$	$1,0 \cdot 10^{-4}$	Undre magasin I
	2	$2,0 \cdot 10^{-5}$	$2,0 \cdot 10^{-5}$	Undre magasin II
	1	$2,0 \cdot 10^{-6}$	$2,0 \cdot 10^{-6}$	Sand, sandig morän
	1	$4,0 \cdot 10^{-9}$	$1,0 \cdot 10^{-9}$	Mossar
	1	$2,0 \cdot 10^{-4}$	$5,0 \cdot 10^{-5}$	Göteborgsmorän
	1	$6,3 \cdot 10^{-7}$	$6,3 \cdot 10^{-7}$	Täkt - Berg i dagen
	3 - 4	$4,3 \cdot 10^{-7}$	$4,3 \cdot 10^{-7}$	Berg runt täkten
	2 - 3	$8,0 \cdot 10^{-8}$	$8,0 \cdot 10^{-8}$	Berg
	4 - 6	$4,0 \cdot 10^{-8}$	$4,0 \cdot 10^{-8}$	Djupt berg
	7 - 9	$1,0 \cdot 10^{-8}$	$1,0 \cdot 10^{-8}$	Mycket djupt berg

Utefter SGU:s bedömda jorddjup ansattes botten av beräkningslager 1 till bedömd bergöveryta. Där berg i dagen återfinns ansattes lagermaktigheten till minst 5 meter och det översta beräkningslagret simulerar en blandning av berg och -jordlager. Under lerområden ansattes ett K-värde som representerar ett grövre material vilket ger utrymme för undre slutna magasin. Detta lager delades upp i två olika K värden då kalibreringen av modellen tydde på detta, se figur 29.

Uppdragsnr: 10214591	Rapport hydrologi och hydrogeologi -	
Daterad: 2017-02-02	Kållerød bergtäkt	
Reviderad:	Bilaga B.6	
Handläggare: Alexander Hansen	Status: Slutversion	



Figur 29. Profilbild för modellen i höjdlid och indelning. För olika K värden se tabell 13.

Modellen byggdes initialt för dagens situation för att kunna kalibrera den mot uppmätt data, där grundvatteninläckage till täkten har varit en viktig parameter. När modellen var kalibrerad användes den för att simulera situation 2-5 nedan.

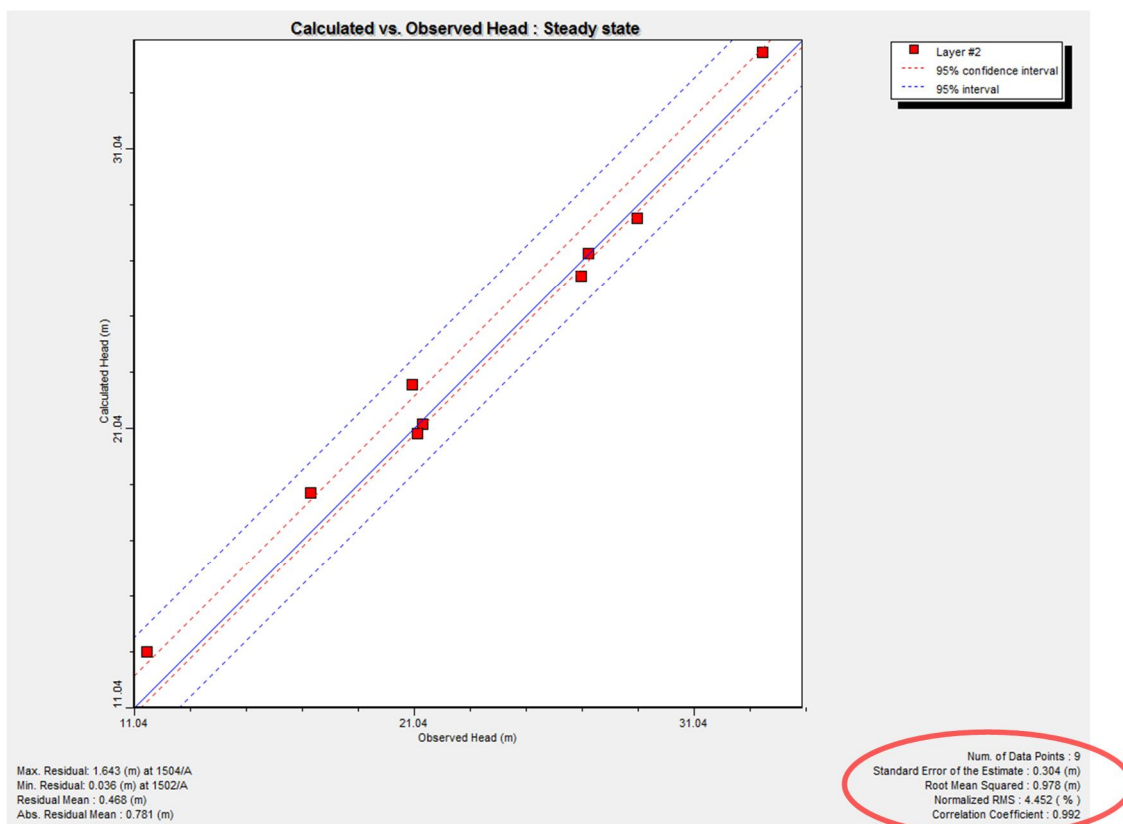
1. Nuvarande situation, för att kalibrera modellens parametrar.
2. En situation som var rådande innan täkten anlades.
3. En framtida situation när den planerade täktutökningen är helt utbruten.
4. En framtida situation som nr 3 där konstgjord infiltration används för att begränsa omgivningspåverkan.
5. En framtida situation där modellen används för att beräkna tiden för uppfyllnaden av en täktsjö efter slutförd brytning.

Effekten av den planerade täkten ges mot en situation som motsvarar rådande förhållanden innan täkten existerade och inte dagens situation. Detta eftersom en viss hydraulisk omgivningspåverkan kan förutsättas redan ha skett genom den verksamhet som har bedrivits fram till idag.

6.2 Kalibrering

Modellen kalibrerades mot mängden inläckande grundvatten till täkten och uppmätta grundvattennivåer i undre magasin i omgivningen (9 grundvattenrör). Kalibreringen gjordes först mot bedömt grundvatteninläckage på 340 m³/dygn med ett par procents skillnad. Sedan kalibrerades modellen för att återge uppmätta nivåer i undre magasin, här anses en skillnad (RMS) på under 10 % acceptabelt och under 5 % som bra. Slutligen kontrollerades att grundvatteninläckaget inte förändrats för mycket och en viss justering gjordes. Slutgiltig kalibrering gav ett inläckage av grundvatten på 334 m³/dygn och en skillnad mellan uppmätta nivåer och beräknade på 4,45 %, se figur 30. Resultatet bedöms vara tillräckligt bra för att gå vidare och simulera de olika scenarion som beskrevs tidigare.

Uppdragsnr: 10214591	Rapport hydrologi och hydrogeologi -	
Daterad: 2017-02-02	Kålleröd bergtäkt	
Reviderad:	Bilaga B.6	
Handläggare: Alexander Hansen	Status: Slutversion	



Figur 30. Skillnaden mellan uppmätta och beräknade nivåer i undre magasin från modellen.

6.3 Beräkningsresultat

Modelleringsresultatet har använts som stöd för tolkning av den förutsebara grundvattentrycksänkningen kring täkten. Denna påverkan kan indelas i;

- avsänkning av grundvattenytans läge (får normalt liten utbredning),
- trycksänkning i undre magasin i jord (stys till stor del av magasinutbredning) samt
- trycksänkning djupt ned i berg (får ofta relativt stor utbredning).

Orsaken till att trycksänkningen djupt ned i berget får större utbredning jämfört med avsänkning av grundvattenytans läge kan knytas till nybildningen av grundvatten som tillför vatten uppifrån.

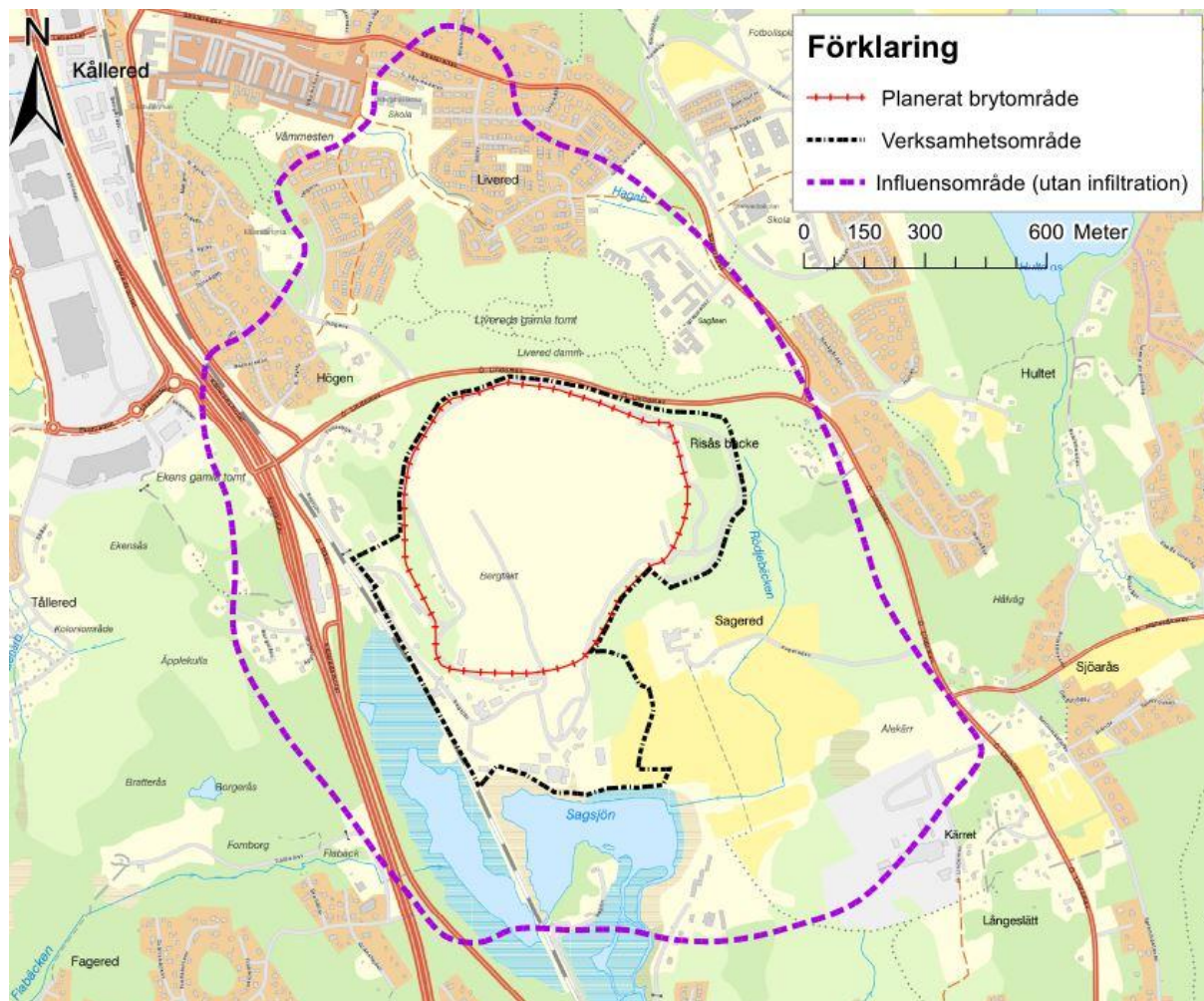
Skäl till ovanstående indelning är att avsänkning av grundvattenytans läge behöver beaktas vid bedömning av konsekvenser för grundvattenberoende ekosystem och grunda (grävda) brunnar. Trycksänkingsutbredningen i undre magasin betraktas vid bedömningen av riskområden för sättningar och brunnar som tar vatten från det undre magasinet. Trycksänkingsutbredning djupt nere i berget behöver beaktas vid bedömning av konsekvenser för djupborrade dricks- och energibrunnar.

För redovisning av influensområdets utbredning görs en bästa uppskattning av gränsen för 0,3 m avsänkning vid fullt utbruten täkt, såväl för grundvattenytans läge som för trycksänkning i undre magasin och djupt nere i berget. Detta bearbetas sedan tillsammans med jordartskartan, jorrdjupskartan, topografiskt underlag för att göra en bedömning för ett sammanvägt influensområde för grundvatten där avsänkningen uppgår till något av ovanstående fall.

Detta leder fram till ett bedömt influensområde där eventuell påverkan på enskilda eller allmänna intressen kan förutses kunna uppstå som en följd av täktverksamheten, se figur 31. Närmre analys av de olika riskerna beskrivs här nedan.

Uppdragsnr: 10214591	Rapport hydrologi och hydrogeologi -	
Daterad: 2017-02-02	Kållerød bergtäkt	
Reviderad:	Bilaga B.6	
Handläggare: Alexander Hansen	Status: Slutversion	

Det ska påpekas att resultaten jämförs när täkten är helt utbruten enligt sökt tillstånd och den situationen som var rådande innan täkten fanns till, således den största tänkbara nivåskillnaden. Hittillsvarande täktverksamhet har redan skapat en viss grundvattensänkning i närområdet kring täkten, varvid skillnaden från idag till fullt utbruten täkt är mindre än vad som här redovisas.



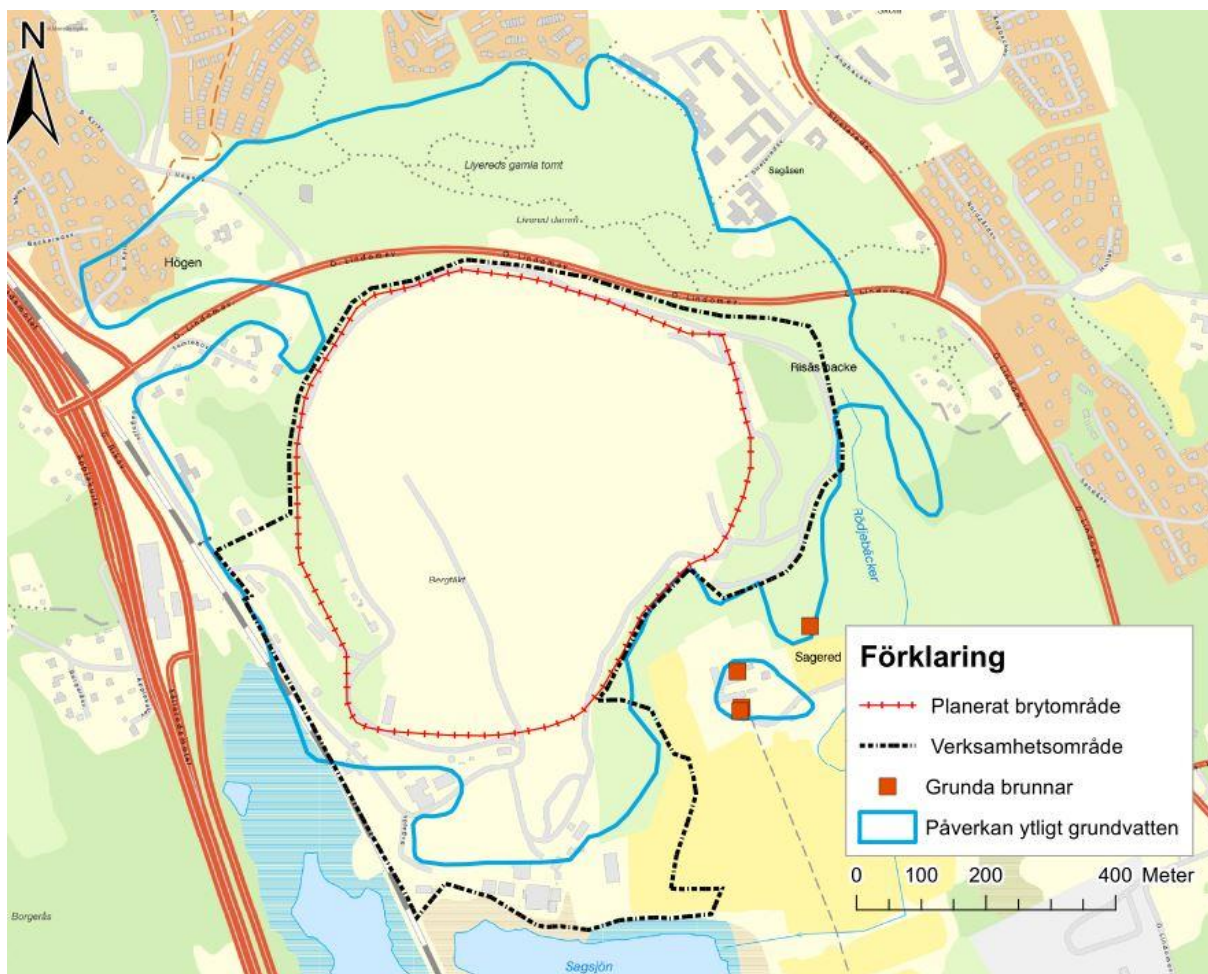
Figur 31. Sammanvägt influensområde för grundvatten (övre och undre magasin, samt berg).

6.3.1 Avsänkning av grundvattenytan

Påverkansområdet för det yliga grundvattnet är förhållandevis litet i utbredning, stor del av utbredningen har troligen redan skett i och med att berget togs bort i börja av brytningen. Höjdpardiet försåg området runt om med grundvatten vilket idag hamnar i täkten och pumpas direkt till Sagsjön. Således kommer nuvarande situation inte förändras i någon större grad i detta avseende.

Inga grundvattenkänsliga biotoper ligger inom dessa områden. Rödjebacken kommer, som beskrevs i avsnitt 5.11, fortfarande få vatten från omgivningen och anses inte kunna påverkas, framför allt då den ligger ovanpå lerlager.

Uppdragsnr: 10214591	Rapport hydrologi och hydrogeologi -	
Daterad: 2017-02-02	Kålleröd bergtäkt	
Reviderad:	Bilaga B.6	
Handläggare: Alexander Hansen	Status: Slutversion	



Figur 32. Influensområde för påverkan av ytligt grundvatten inom området samt grunda brunnar inom detta (två brunnar ligger mycket nära varandra och uppfattas som en punkt på bilden ovan).

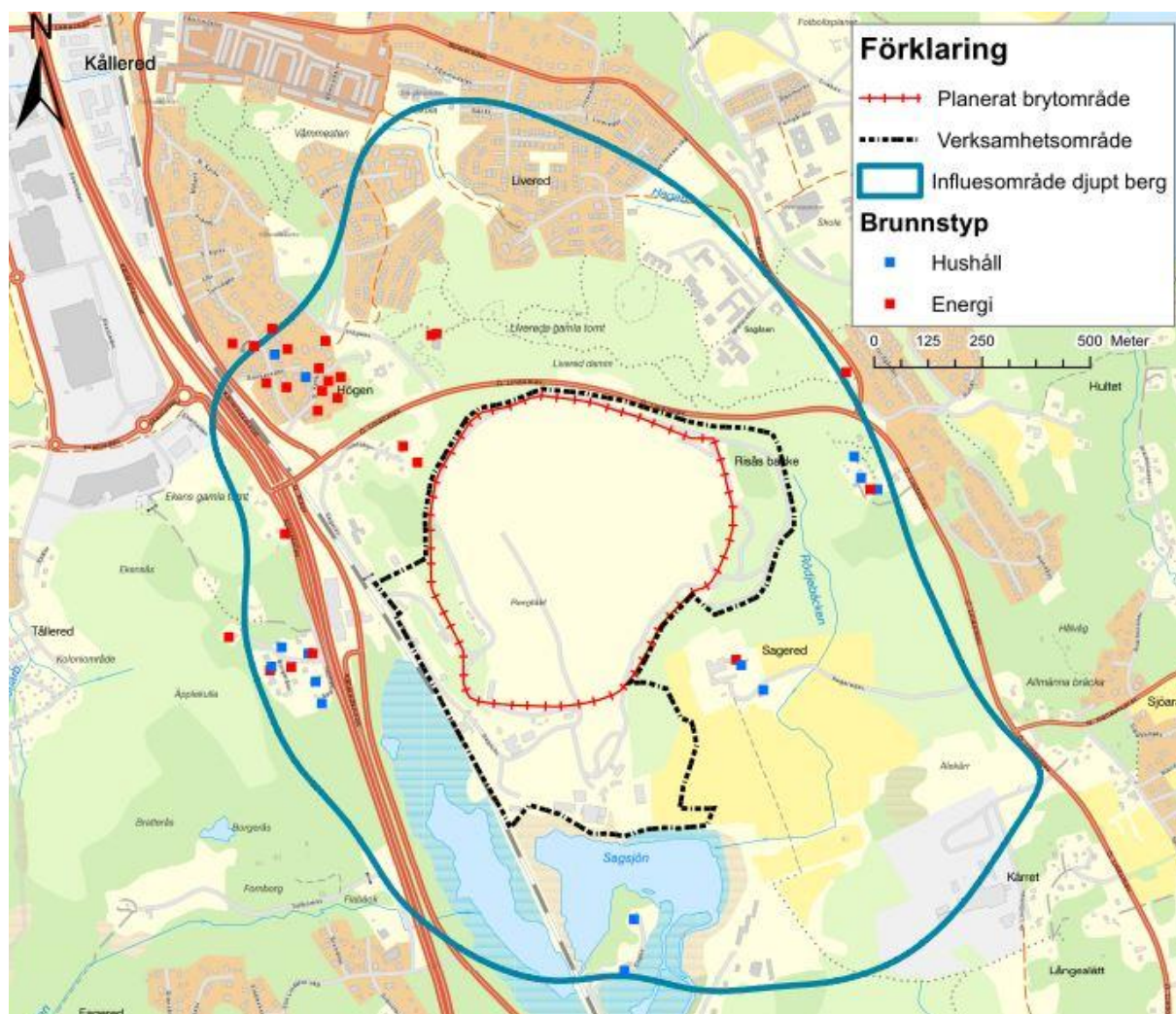
Inom området har fyra grunda brunnar identifieras som kan påverkas negativt om grundvattennivån i de ytliga lagren sjunker. Noteras bör att två av brunnarna ligger mycket nära varandra och därför uppfattas som en punkt i figur 32.

6.3.2 Trycksänkning i berg

Trycksänkningen i berget sprider sig längre än i de ytliga jordlagren, inom detta område är det framför allt bergborrade brunnar som kan påverkas. Inom och i direkt anslutning till området har ett antal brunnar identifieras, åtta stycken dricksvattenbrunnar och 22 stycken energibrunnar.

Ju längre från täkten brunnarna ligger desto mindre är risken för påverkan. Den största risken för påverkan finns för de tre energibrunnarna direkt nordväst om täkten.

Uppdragsnr: 10214591	Rapport hydrologi och hydrogeologi -	
Daterad: 2017-02-02	Kålleröd bergtäkt	
Reviderad:	Bilaga B.6	
Handläggare: Alexander Hansen	Status: Slutversion	



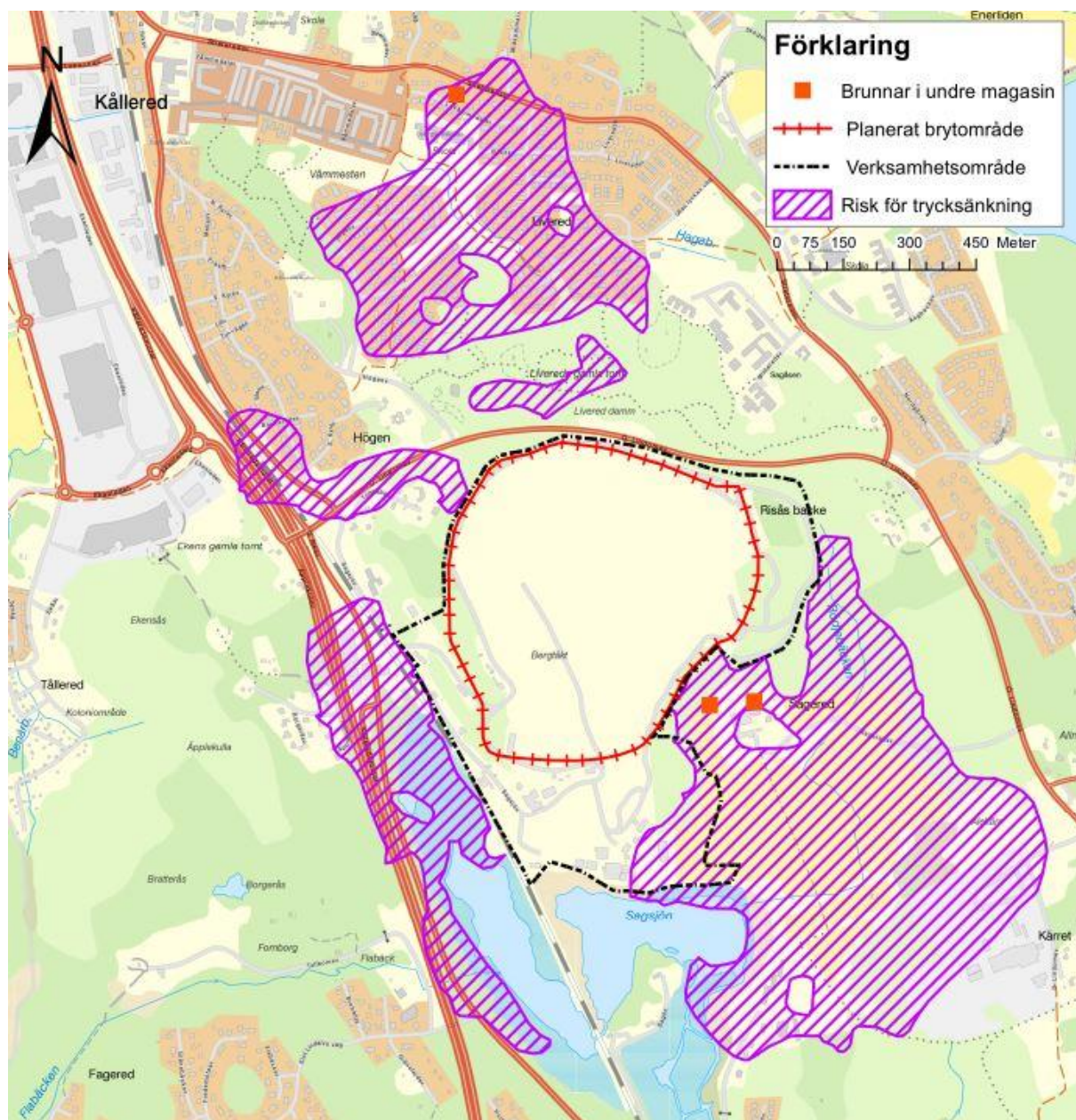
Figur 33. Möjligt påverkansområde i berg jämte brunnar i berg

6.3.3 Trycksänkning i undre magasin

Områden med undre grundvattenmagasin i jord som överlagras av lera är som tidigare beskrivits ofta sättningskänsliga om grundvattentrycket sjunker i det undre magasinet. Detta kan leda till skada på byggnader, vägar, och andra tekniska installationer. I området förekommer ett antal byggnader på lerområden. Vidare passerar motorväg E6/E20 och den dubbelspåriga järnvägen söder ut från Göteborg igenom områden som har undre magasin som bedöms kunna påverkas, se figur 34.

Inom influensområdet, där det förmodas finnas ett undre magasin (finns vid samtliga 9 grundvattenrör) finns det risk att sättningar uppkommer som följd av bortledningen av grundvatten från täktverksamheten. Risk för skadlig påverkan minskar med ökat avstånd från brytområdet och är även mycket beroende på grundläggning av byggnader och anläggningar. I figur 34 visas de områden där det bedöms finnas risk för trycksänkning i undre magasin, detta utan infiltration.

Uppdragsnr: 10214591	Rapport hydrologi och hydrogeologi -	
Daterad: 2017-02-02	Kållerød bergtäkt	
Reviderad:	Bilaga B.6	
Handläggare: Alexander Hansen	Status: Slutversion	



Figur 34. Områden risk för trycksänkning i undre magasinet och tre brunnar i undre magasinet.

Det finns även tre kända brunnar i det undre magasinet runt täkten vilka kan få en sänkt vattennivå. De två brunnarna söder om täkten har i dagsläget artesiskt vatten vilket pekar på att påverkan från hittillsvarande täktverksamhet är liten.

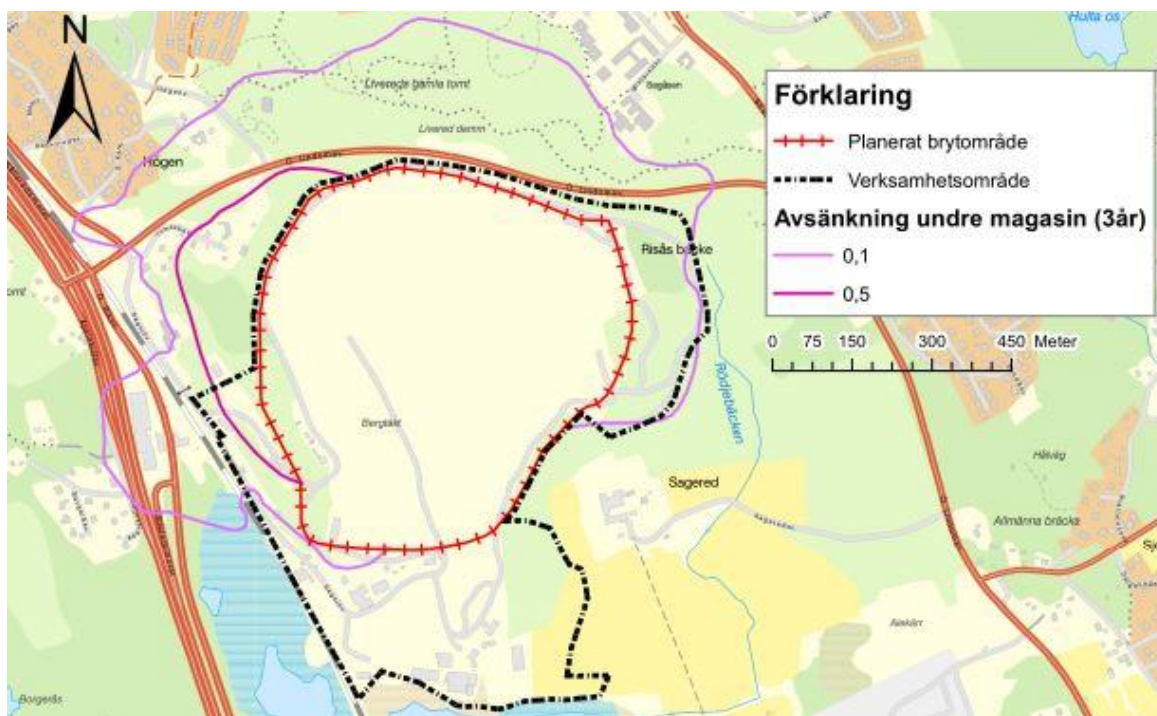
6.3.4 Trycksänkningens tidsmässiga utveckling

För att undersöka hur fort trycksänkningen kommer att utbreda sig har en transient simulering utförts i grundvattenmodellen.

Den planerade brytplanen har används för att bygga upp simuleringen och runt täkten har observationspunkter skapats i modellen för att undersöka trycksänkningens utbredning i undre

Uppdragsnr: 10214591	Rapport hydrologi och hydrogeologi -	
Daterad: 2017-02-02	Kålleröd bergtäkt	
Reviderad:	Bilaga B.6	
Handläggare: Alexander Hansen	Status: Slutversion	

magasin och i berg. I figur 35 redovisas beräknad trycksänkning i undre magasin efter tre år och i figur 36 visas beräknad trycksänkning efter åtta år.



Figur 35 Förutsedd avsänkning i undre magasin efter tre år utan infiltration



Figur 36 Förutsedd avsänkning i undre magasin efter åtta år utan infiltration

Uppdragsnr: 10214591	Rapport hydrologi och hydrogeologi -	
Daterad: 2017-02-02	Kållerød bergtäkt	
Reviderad:	Bilaga B.6	
Handläggare: Alexander Hansen	Status: Slutversion	

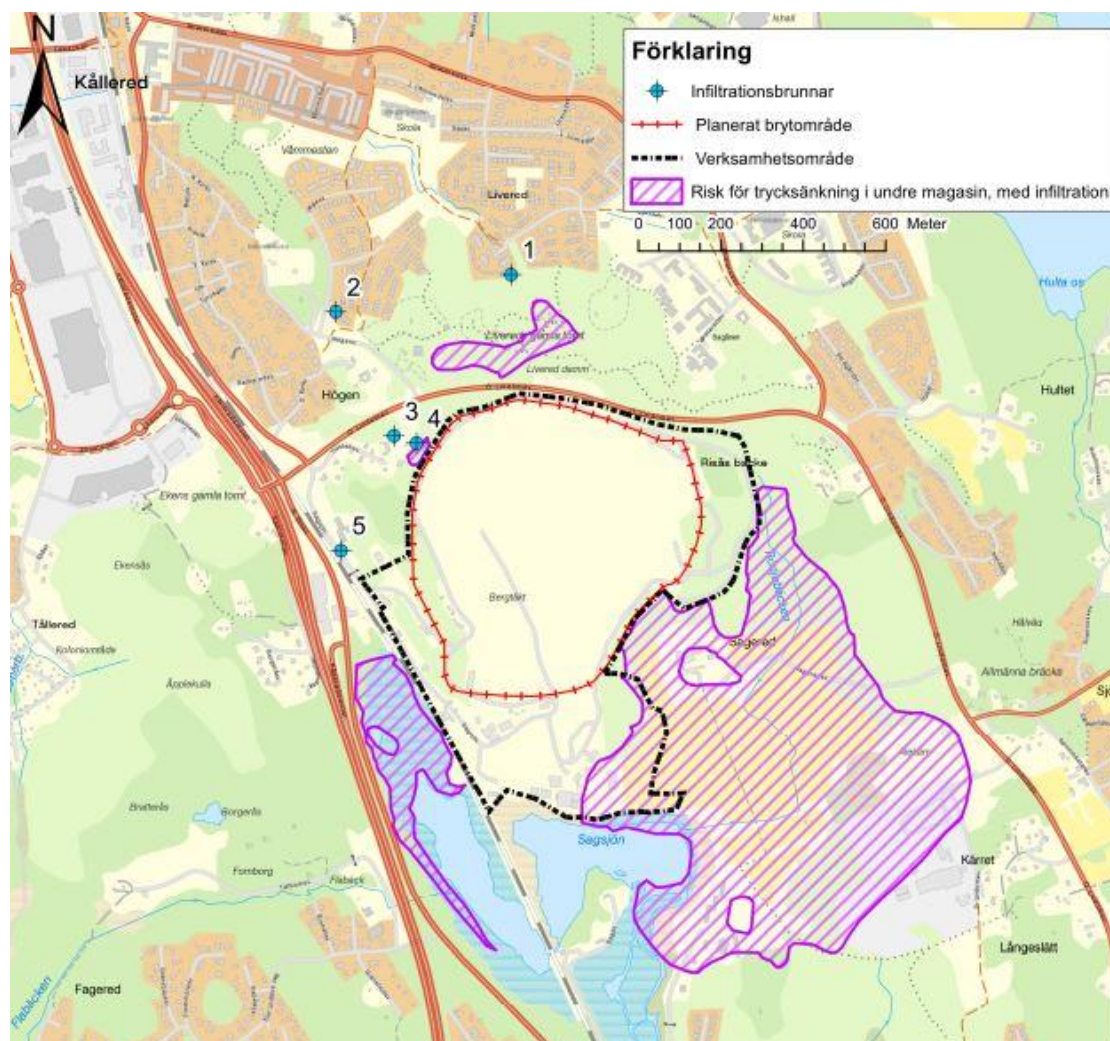
Som kan ses i figurerna ovan är trycksänkningens utbredning långsam. Detta gör att bolaget har god tid att färdigställa infiltrationsbrunnarna, följa upp trycksänkningens utbredning och vidta åtgärder om så skulle behövas.

6.3.5 Infiltration

För att motverka skadliga sättningar om grundvattenyttrycket sjunker i det undre magasinet, kan vatten infiltreras till det undre magasinet vid strategiska punkter. Infiltrationstesterna som utförts visar att det är möjligt att infiltrera de mängder vatten som bedöms vara relevanta.

För studie av relevanta infiltrationsmängder samt effekten av sådan infiltration har detta simulerats i modellen.

Simuleringen avser en situation när täkten är helt utbruten och fem brunnar placerades vid strategiskt lämpliga platser för att infiltrera vatten till det undre magasinet. Resultatet visar tydligt att all potentiellt skadlig påverkan kan, med förhållandevis små medel, motverkas.



Figur 37. Exempel av effekten av infiltration till undre magasin för att motverka trycksänkning.

Beräknade infiltrationsmängder för infiltrationsbrunnar, se figur 37, redovisas i tabell 14 nedan.

Uppdragsnr: 10214591	Rapport hydrologi och hydrogeologi -	
Daterad: 2017-02-02	Kålleröd bergtäkt	
Reviderad:	Bilaga B.6	
Handläggare: Alexander Hansen	Status: Slutversion	

Tabell 14. Beräknade infiltrationsmängder.

Infiltrationsbrunn	Infiltrerad mängd (l/s)	Infiltrerad mängd (m³/d)
1	0,35	30
2	0,12	10
3 och 4	0,93	80
5	1,74	150
Summa	3,14	270

I området sydöst om verksamheten redovisas ett större område med risk för trycksänkning i undre magasin. Inom detta område består större delen av skog och jordbruksmark men i området sydöst om Sagsjön (längst upp på Sagbäcksvägen) finns ett antal fastigheter, bland annat Anstalten Sagsjön. Dessa fastigheter ligger så pass långt ifrån tälken att den förutsägbara trycksänkningen i undre magasin inte bedöms medföra någon risk för skadliga sättningar. Uppföljning av detta görs inom kontrollprogrammet då grundvattenrör för kontroll av trycknivån i undre magasin har installerats på platsen.

En bedömning av förändring av vattenkvaliten i närliggande hushållsvattenbrunnar till följd av infiltrationen har gjorts. Någon påverkan på vattenkvaliten förutses inte ske men det kan inte uteslutas att tre dricksvattenbrunnar direkt väster motorvägen, vid stora uttag, kan få en förändrad vattenkvalitet. Risken för att detta ska ske bedöms som mycket liten.

6.3.6 Vattenbalans – täktområde

Nedanstående beräkningar syftar på långtidsmedelvärden och vattenbalansen kan variera stort mellan två år, de momentana flödena tas inte hänsyn till.

Vattenbalansen mellan tillrinning och direkt nederbörd och grundvattenläckage för täktområdet har beräknats för fyra olika situationer. Det är situationen innan tälken anlades, nuvarande situation, situationen vid fullt utbruten takt samt en situation med fullt utbruten takt med infiltration av vatten till undre magasin. På grund av den ökade nederbörden skiljer sig direkt nederbörd och tillrinning mellan nuvarande situation och den innan tälken fanns, avrinningsområdet förändrats endast i liten omfattning.

Det förutses att tillrinningsområdet till tälken förändras något samt att inläckaget av grundvatten ökar vid planerad fördjupning. Om infiltration till undre magasin utförs ökar grundvatteninläckaget något.

Tabell 15. Vattenbalans över tälken för olika situationer.

Flöden i [m³/d]	Tillrinning och direkt nederbörd	Grundvatteninläckage	Summa
Ingen takt	510	- 490 ⁴	20
Nuvarande situation	725	335	1060
Utbrytning till -99 m	930	780	1710
Utbrytning till -99 m + infiltration	930	795	1725

⁴ Området drog inte på sig vatten tidigare, utan kullen levererade vatten till omgivningen, därav det negativa värdet.

Uppdragsnr: 10214591	Rapport hydrologi och hydrogeologi -	
Daterad: 2017-02-02	Kålleröd bergtäkt	
Reviderad:	Bilaga B.6	
Handläggare: Alexander Hansen	Status: Slutversion	

7 UPPFYLKNAD AV TÄKTSJÖ

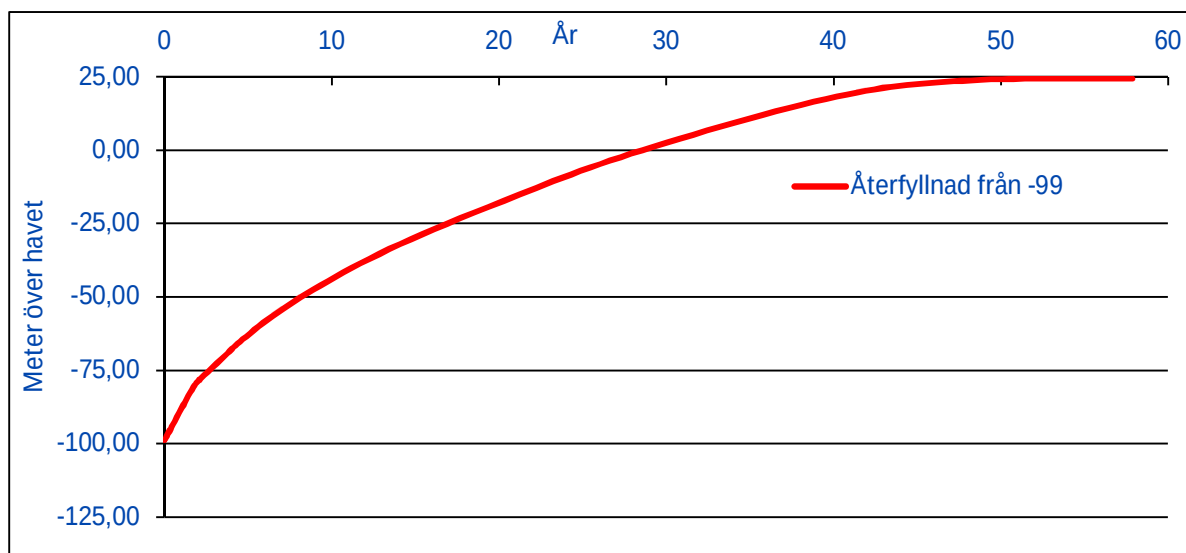
Som ett efterbehandlingsalternativ kan länshållningen ur täkten avslutas varvid täkten fylls upp med vatten och en täktsjö bildas. Om detta sker direkt efter avslutad brytning så kan tiden för uppfyllnad ses som maximerad eftersom den volym som ska fyllas är som störst då. Uppfyllnaden för detta scenario har beräknats genom numerisk simulering i upprättad grundvattenmodell som redovisats tidigare.

För simuleringen har en lokal vattenbalans över täktsjöns vattenspegel antagits där en nettonederbörd om 415 mm/år ansatts (korrigerad nederbörd 1085 mm/år och potentiell avdunstning från vattenyta 670 mm/år).

Inläckande ytvatten har beaktats men inte medräknats i beräkningarna då detta anses ge ett ringa tillskott.

Beräkningen visar att uppfyllnad av täktsjön går snabbare i början beroende ett större tillflöde av grundvatten vid stor gradient in mot täkten. Efterhand som uppfyllnaden pågår minskar grundvattentillrinningen då gradienten in mot täkten minskar, arean av öppen vattenspegel ökar (ökad avdunstning) och uppfyllnadstakten avtar. Full uppfyllnad har antagits till +25 m vilket motsvarar när täktsjön rinner över kanten på täkten ner mot Sagsjön. Enligt beräkningarna sker detta efter ca 47 år, se figur 38.

Efter ca 1 år beräknas hela täktbotten vara täkt med en vattenyta som motsvarar ett vattendjup på ungefär 3 m. Tid för uppfyllnad till dagens grundvattennivå centralt inom täkten (kan här beräkningsmässigt sättas till ca +0 m även om nivån varierar mellan ca +5 m och som lägst ca -9 m) beräknas ta ca 28 år. Detta ger en uppfattning om den tidsrymd inom vilken skyddsinfiltation kan behöva fortgå efter avslutat brytning, givet att nuvarande grundvattennivå inte medför skada men att en (väsentligt) lägre nivå skulle kunna medföra skada.



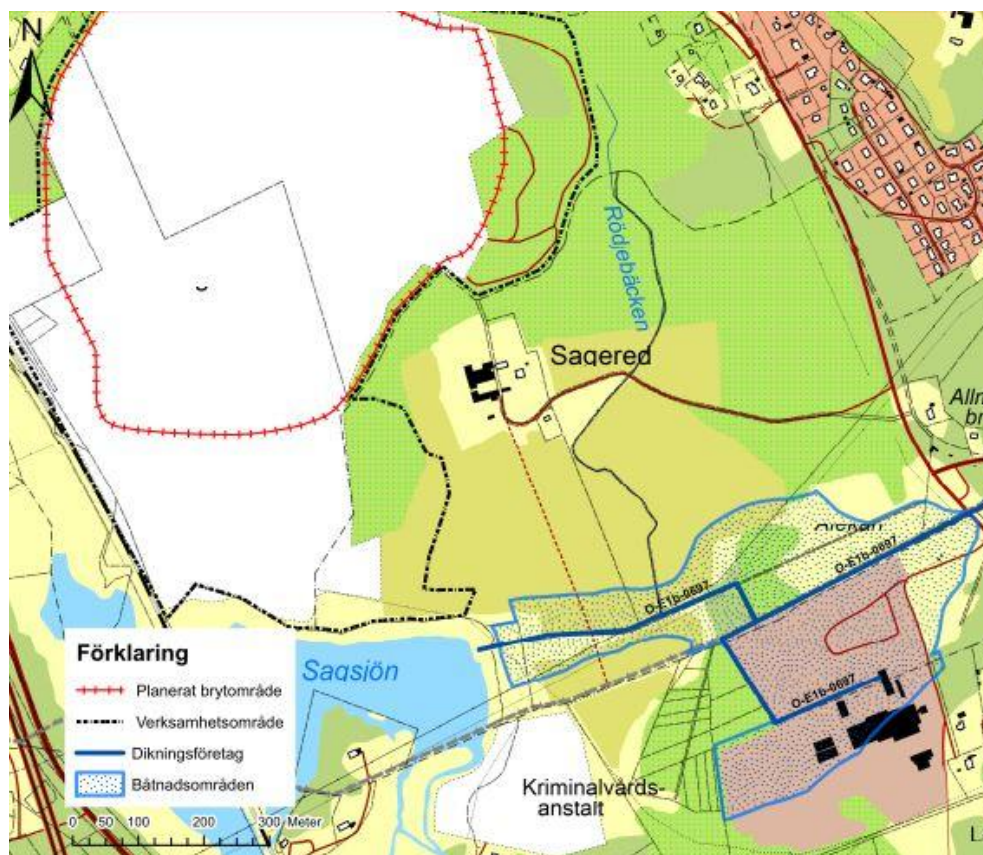
Figur 38. Graf beskrivande hur vattenytan i täktsjön för brytnivån -99 ökar med tiden tills att denna når stationära förhållanden efter ca 47 år.

8 DIKNINGSFÖRETAG

Sydöst om täkten finns ett dikningsföretag (O-E1b-0697). I ett tidigt skede i utredningen undersöktes möjligheten att bortleda uppumpat grundvatten till Rödjebacken, detta skulle därmed öka

Uppdragsnr: 10214591	Rapport hydrologi och hydrogeologi -	
Daterad: 2017-02-02	Kålleröd bergtäkt	
Reviderad:	Bilaga B.6	
Handläggare: Alexander Hansen	Status: Slutversion	

vattenföringen till dikningsföretaget. Denna möjlighet förkastades därför och därmed kommer en fortsatt och utökad brytning inte att påverka dikningsföretaget.



Figur 39 Dikningsföretag och båtnadsområde

9 KONSTGJORD VÅTMARK

För att förbättra kvävereningen ur det vatten som pumpas upp ur tåkten och släpps till Sagsjön planeras konstruktionen av våtmarker. Dess utformning och funktion beskrivs i en TB Våtmark, bilaga A2.

10 FÖRESLAGNA SKYDDSAÅTGÄRDER

För att motverka skadliga grundvattensänkningar kommer, som nämnts i kapitel 6.3.4, vatten att vid behov infiltreras till det undre magasinet. bolaget har rådighet för platserna enligt figur 37 och infiltrationsbrunnar har installerats under maj och juni 2016. Brunnarna är testade för att säkerställa att infiltration av tillräcklig vattenmängd är möjlig.

Som redovisats i kapitel 6.3.4 så förutses det att ta flera år innan behov av infiltration uppstår. Det beräknas att infiltrationen som tidigast kommer att behöva startas om ca fem år för infiltrationsbrunnarna i väst och som tidigast om ca tio år för infiltrationsbrunnarna norr om tåkten.

Således finns det gott om tid att följa upp trycknivåförändringar kring tåkten samt att tillse att infiltration kan starta så fort kontrollmätningar visar att behov finns.

Uppdragsnr: 10214591	Rapport hydrologi och hydrogeologi -	
Daterad: 2017-02-02	Kållerød bergtäkt	
Reviderad:	Bilaga B.6	
Handläggare: Alexander Hansen	Status: Slutversion	

11 BRYTNING TILL NIVÅN -40 M

Som ett andrahandsyrkande ämnar bolaget ansöka om en kortare bryttid. Detta medför att brytning ner till nivån -99 m inte hinns med utan att nivån -40 m i detta fall skulle bli lägsta brytnivå. I detta kapitel redovisas de beräkningar som utförts för att undersöka påverkan på de hydrogeologiska förhållandena för brytning till -40 m. Jämförelser görs mot brytning till -99 m.

11.1 Avsänkning av grundvattenytan

Påverkansområdet för det yliga grundvattnet kommer båda fallen ha ett förhållandevis liten i utbredning. Det yliga grundvattnet påverkas huvudsakligen av täktens utbredning i plan och förändras i liten grad med avseende på djupet. Påverkansområdet för ytligt grundvatten kommer därför inte att förändras mer än försumbart i det fall brytning sker till nivån -40 m istället för -99 m.

11.2 Trycksänkning i berg och i undre magasin

Trycksänkningen i berget och i undre magasin sprider sig som tidigare nämnts längre än i de ytliga jordlagren. I det fall brytning skulle ske till -40 m istället för -99 m skulle skillnaderna dock bli små, som mest ca 50 m skillnad i planutbredning mellan de två olika brytdjupen. Sett till areal inom influensområde för trycksänkning i berg kan skillnaden uttryckas som en minskning med 6 %.

11.3 Infiltration

Eftersom utbredningen av trycksänkningen förväntas bli i stort sett detsamma för de två olika brytdjupen kommer infiltrationsanläggningarna vara identiska för de två alternativen. Karta över infiltrationsbrunnarnas lokalisering och områden med risk för trycksänkning i undre magasin med infiltration redovisas i kapitel 6.3.5.

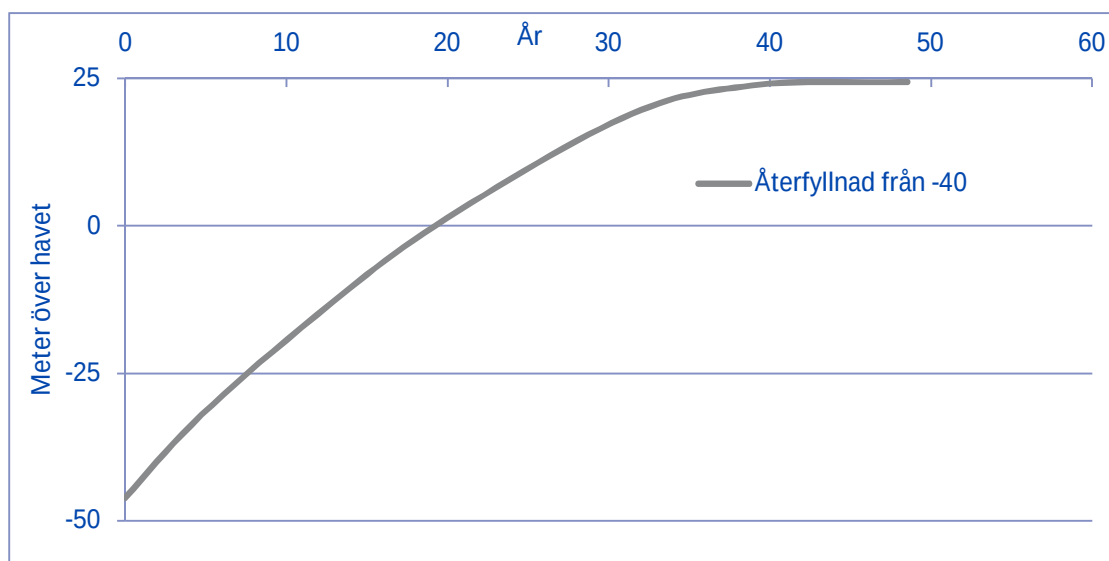
11.4 Vattenbalans – Täktområde vid nivån -40 m

Vattenbalansen mellan tillrinning, direkt nederbörd och grundvatteninläckage för täktområdet kommer inte att vara alternativskiljande för -40 jämfört med -99 m. Detta då täkten till ytan är den samma varvid tillrinningen eller den direkta nederbörden inte förändras. Inläckage av grundvatten förutses kunna bli något mindre för brytdjup -40 m jämfört med -99 m (ca 2 % mindre), d v s i stort sett detsamma.

11.5 Uppfyllnad täktsjö -40 m

Efter avslutad verksamhet kommer som nämnts en täktsjö att bildas om pumparna slås av. Beräkningen av tid för uppfyllnad har utförts på samma sätt som beskrivs i kapitel 7. Som kan ses i figur 40 uppnås enligt beräkningarna stationära förhållanden efter ca 40 år. Detta kan jämföras med de ca 47 år det beräknats ta att fylla upp täkten från -99 m. Tid för uppfyllnad till nivån +0 m beräknas ta ca 20 år för brytdjup -40 m att jämföra med ca 28 år för brytdjup -99 m.

Uppdragsnr: 10214591	Rapport hydrologi och hydrogeologi -	
Daterad: 2017-02-02	Kålleröd bergtäkt	
Reviderad:	Bilaga B.6	
Handläggare: Alexander Hansen	Status: Slutversion	



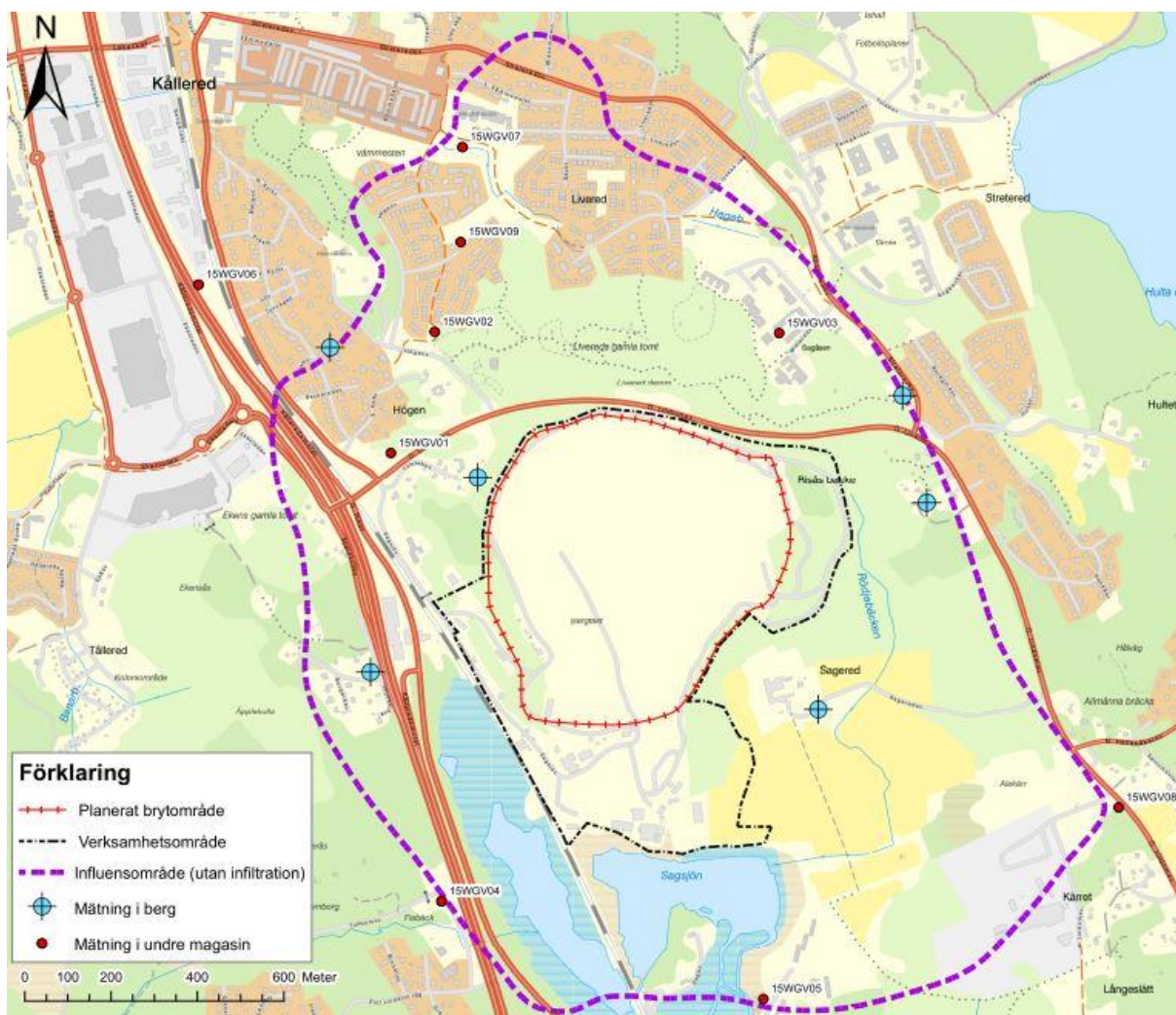
Figur 40 Graf beskrivande hur vattenytan i täktsjön för brytnivå -40 m ökar med tiden tills att denna når full uppfyllnad efter ca 40 år.

12 KONTROLLPROGRAM

Ett kontrollprogram kommer att tas fram i samråd med länsstyrelsen.

Mätningar av grundvattennivåerna kommer att fortlöpa för punkterna enligt figur 41 nedan. Initialt mäts grundvattennivåmätningarna tätt (1 g/mån) för att ge en god bild på hur årstidsvariationen hos nivåerna ser ut. Därefter kommer mätningar utföras mer sällan utefter vad som bestäms i kontrollprogrammet. Detta för att bygga upp en långtidsserie av mätningar för att på så sätt kunna avgöra om täktverksamheten, när den går ner ytterligare på djupet, har någon skadlig påverkan på grundvattennivåerna i undre magasin.

Uppdragsnr: 10214591	Rapport hydrologi och hydrogeologi -	
Daterad: 2017-02-02	Kålleröd bergtäkt	
Reviderad:	Bilaga B.6	
Handläggare: Alexander Hansen	Status: Slutversion	



Figur 41 Mätpunkter som ingår i kontrollprogrammet för grundvattennivåmätningar i undre magasin och berg. Influensområdet är det sammanslagna influensområdet för undre magasin och berg utan infiltration.

Provtagning av vatten från täktverksamheten och i Sagsjön föreslås fortsätta.

Uppdragsnr: 10214591	Rapport hydrologi och hydrogeologi -	
Daterad: 2017-02-02	Kålleröd bergtäkt	
Reviderad:	Bilaga B.6	
Handläggare: Alexander Hansen	Status: Slutversion	

13 REFERENSER

Svenskt Vatten. (2004). *P90. Dimensionering av allmänna avloppsledningar*. Ljungföretagen.

Svenskt Vatten. (2016). *P110. Avledning av dag-, drän- och spillvatten*. Svenskt Vatten AB

Sjölund, G. (1997) Kväveläckage från sprängstensmassor. Examensarbete vid Luleå tekniska universitet 1997:332.

Butler, J J. (1996). *The design, performance and analysis of slug tests*, CRC Press LLC. ISBN: 1.56670-230-5.