



CHALMERS



Riskbedömning av grundvattentäkten i Gräfsnäs-Sollebrunn

Kandidatarbete inom samhällsbyggnadsteknik

Alice Andreasson

Frida Cederqvist

Evelina Hall

Måns Paulsson

Marcus Trapp

INSTITUTIONEN FÖR ARKITEKTUR OCH SAMHÄLLSBYGGNADSTEKNIK

AVDELNING FÖR GEOLOGI OCH GEOTEKNIK

CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Göteborg, Sverige 2022
www.chalmers.se

KANDIDATARBETE ACEX10-22-38

Riskbedömning av grundvattentäkten i Gräfsnäs-Sollebrunn

Alice Andreasson

Frida Cederqvist

Evelina Hall

Måns Paulsson

Marcus Trapp

Institutionen för Arkitektur och Samhällsbyggnadsteknik
Avdelning för Geologi och Geoteknik
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Göteborg, Sverige 2022

Riskbedömning av grundvattentäkten i Gräfsnäs-Sollebrunn

© Alice Andreasson, 2022

© Frida Cederqvist, 2022

© Evelina Hall, 2022

© Måns Paulsson, 2022

© Marcus Trapp, 2022

Handledare: Andreas Lindhe och Nadine Gärtner

Examinator: Lars Rosén

Kandidatarbete ACEx10-22-38

Institutionen för Arkitektur och Samhällsbyggnadsteknik

Avdelningen för Geologi och Geoteknik

Chalmers tekniska högskola

412 96 Göteborg

+46 31 772 1000

Omslagsbild: Vy över åkermark i Gräfsnäs-Sollebrunn. Författarnas egen bild.
Göteborg, Sverige 2022

Sammanfattning

Grundvatten är bland det viktigaste livsmedlet som finns i dagens samhälle. I och med eskalerande klimatförändringar och ständigt ökande befolkning är det nödvändigt att skydda och bevara det grundvatten som finns. Genom att upprätta ett vattenskyddsområde finns det möjlighet att förebygga att en skada på grundvattnet sker. Tidigare har ett vattenskyddsområde utformats främst med hänsyn till grundvattnets strömningstid i marken. Idag utformas nya metoder som i större utsträckning ska ta hänsyn till risken att en förorening når akviferen.

Syftet med detta arbete är att genomföra en riskbedömning för grundvattentäkten Gräfsnäs-Sollebrunn (Alingsås kommun, Sverige) för att utvärdera vilka risker och hot som finns för både nu- och framtida dricksvattenförsörjning. Vidare syftar arbetet att ta fram förslag på skyddsåtgärder och utformning av vattenskyddsområden som ska säkerställa tillgången på dricksvatten av god kvalitet. För att få en nyanserad bild av grundvattentäktens betydelse för samhälle, natur och miljö, utvärderas dessutom de tjänster utöver dricksvatten, som grundvattnet tillhandahåller.

Riskbedömningen baseras på parametrarna: markens sårbarhet, sannolikheten att föroreningen når permeabel mark samt föroreningens toxicitet och tillrinningstid. Markens sårbarhet har utvärderats med DRASTIC-metoden och baseras på områdets geologiska och hydrologiska egenskaper. Föroreningskällorna identifierades genom en fältstudie och genom Länsstyrelsens EBH-karta, som visar redan identifierade föroreningskällor. Därefter har samtliga föroreningskällor utvärderats separat med avseende på sannolikheten att en förorening når akviferen samt vilken påverkan som föroreningen skulle få på dricksvattnet. Dessa parametrar har sedan kombinerats i ett matrissystem för att resultera i en slutgiltig riskpoäng. Riskpoängen ligger sedan tillsammans med markens sårbarhet till grund för bedömningen av hur vattenskyddsområdena bör avgränsas samt vilka andra åtgärder som kan behöva tillsättas.

Resultatet visar att majoriteten av föroreningskällorna redan befinner sig inom de existerande vattenskyddsområdena. För att inkludera de allvarligaste föroreningskällorna är det nödvändigt att utöka vattenskyddsområdet. Det ges förslag på att vattenskyddsområdet vid Sollebrunn kan expanderas mer norrut längs riksväg 190 mot Grunntorp och även österut längs Ljungvägen. Förslaget innefattar också en ökning västerut för att inkludera bensinstationen. Ett parti av åkermark söder om Sollebrunn bör också ingå i vattenskyddsområdet på grund av en hög sårbarhet för marken. Det samma gäller för åkermarken kring Smörkullen. Till sist ges det förslag på att området kring Gräfsnäs kan utökas söderut för att inkludera reningsverket. Området kring Gräfsnäs bedöms även kunna minskas i den norra delen då det anses avgränsa en yta som är mer än tillräcklig för att ge skydd.

Abstract

Groundwater is amongst the most important livelihood to this day. With an escalating climate change and constant increasing population, it is necessary to protect and preserve the groundwater resources that exists. To protect the groundwater and prevent contamination, a water protection area can be constituted. In the past, a water protection area has been evaluated regarding to the groundwaters flowtime underground. New methods are currently being designed, that will to a greater extent take the risk that a contaminant reaches the aquifer into consideration.

The aim of this report is to provide a risk assessment for the groundwater reservoir in Gräfsnäs-Sollebrunn (Alingsås municipality, Sweden) to evaluate both current and future risks and threats to the supply of drinking water. To secure good quality of the drinking water, suggestions of protective measurements and how the water protection areas should be defined, are presented. To get a nuanced picture the importance of the groundwater aquifer for the local community, nature and environment, the services that the groundwater aquifer provides, beyond drinking water, are evaluated.

The risk assessment includes: the vulnerability of the ground, the probability that a contaminant reaches permeable ground along with the toxicity and the catchment time of the contaminant. The vulnerability assessment has been evaluated through the DRASTIC method that takes regards to the local geological and hydrological properties. The pollutants of the area have been identified through a field study and through the EBH-map by Länsstyrelsen, that shows identified contamination sources. These pollutants were thereafter evaluated with regards to the probability that a contamination of the groundwater will occur and the impact the pollutant will have on the drinking water. These parameters have then been combined in a series of matrix models that results in a final risk grade. The risk grade is then used as the foundation for the assessment of how the water protection area should be defined and what measures that can be imposed.

The result shows that most of the pollutants are already included in the existing water protection area. To make sure that the most serious pollutants are included, the area will have to be extended. It is suggested that the water protection area around Sollebrunn can be extended more northwards along highway 190 towards Grunntorp and eastwards along Ljungvägen. The suggestion also includes an expansion to include the gas station that is located in the west part of Sollebrunn. A part of the field to the south of Sollebrunn should likewise be included since that part of the field has a high value of vulnerability. The same goes for the fields around Smörkullen. It is also suggested that the area around Gräfsnäs should be extended southwards to include the wastewater treatment facility. At last, a reduction of the northern part of the water protection area around Gräfsnäs is suggested.

Innehållsförteckning

1.	Inledning.....	1
1.1	Bakgrund	2
1.2	Syfte och frågeställning.....	3
1.3	Avgränsningar.....	4
2	Teoretisk bakgrund till grundvattentjänster	6
2.1	Stödjande tjänster.....	6
2.2	Producerande tjänster	6
2.3	Reglerande tjänster.....	6
2.4	Kulturella tjänster.....	7
2.5	Ekonomiskt värde.....	7
3	Geologisk och hydrogeologisk beskrivning	8
3.1	Områdets bergarter	8
3.2	Områdets jordarter	10
3.3	Hydrologi och hydrogeologi	11
3.4	Faktorer som kan påverka grundvattenbildning.....	13
4	Metod.....	14
4.1	Riskbedömning.....	14
4.1.1	Identifiering av föroreningskällor.....	15
4.1.2	Grundvattnets sårbarhet.....	16
4.1.2.1	Djup till grundvattenytan (D)	17
4.1.2.2	Grundvattenbildning (R).....	17
4.1.2.3	Akviferens material (A).....	18
4.1.2.4	Jordmånens material (S).....	18
4.1.2.5	Topografi (T).....	19
4.1.2.6	Omättade zonens material under jordmånen (I)	19
4.1.2.7	Akviferens hydrauliska konduktivitet (C)	20
4.1.2.8	Viktning av parametrarna	20
4.1.3	Sannolikhet.....	21
4.1.4	Konsekvens.....	23
4.1.5	Riskpoäng	25
4.2	Vattenskyddsområden och andra skyddsåtgärder	25
4.3	Identifiering av grundvattentjänster	25
5	Resultat	26
5.1	Identifierade föroreningskällor	26
5.1.1	Avloppsreningsverk.....	27

5.1.2	Bensinstationer	28
5.1.3	Bilvårdsanläggning	29
5.1.4	Brandövningsplats	31
5.1.5	Däckhantering	32
5.1.6	Förbränningsanläggning	33
5.1.7	Jordbruk	34
5.1.8	Kyrkogård	35
5.1.9	Skjutbana	36
5.1.10	Sågverk	36
5.1.11	Verkstadsindustri med halogenerade lösningsmedel	37
5.1.12	Vägar	37
5.1.13	Ytbehandling av metaller	39
5.1.14	Ytbehandling av trä	40
5.1.15	Återvinningscentral	40
5.2	Slutliga sårbarhetskartor	41
5.3	Resultat av riskbedömning	45
5.4	Skyddsåtgärder för grundvattentäkten Gräfsnäs-Sollebrunn	47
5.4.1	Vattenskyddsområde	47
5.4.2	Nuvarande skyddsföreskrifter	49
5.4.3	Skyddsåtgärder för de mest allvarliga riskerna	50
5.5	Aktuella grundvattentjänster i Gräfsnäs-Sollebrunn	52
6	Diskussion	53
6.1	Begränsningar kring DRASTIC	53
6.2	Reflektion kring riskbedömningen	53
6.3	Långväga föroreningar	54
6.4	Framtidsaspekter	54
6.4.1	Förändrad grundvattennivå	55
6.4.2	Förändrade förutsättningar vid nya dricksvattenbrunnar	55
6.5	Vattenskyddsområdena och grundvattentäktens tjänster	55
6.6	Krig, kris och sabotage	56
7	Slutsats	57
	Källförteckning	58
	Bilagor	A
	Bilaga 1	A
	Bilaga 2	B
	Bilaga 3	C

Begreppsförklaring

Nedan listas ett fåtal betydande begrepp som används frekvent genom rapporten. Några är anpassade efter begreppets betydelse i just denna rapport.

Akvifer	En geologisk bildning där grundvatten kan förvaras och utvinnas.
Förorening	Ett ämne eller en orenhet som är skadlig eller irriterande för djur, människor och växter. Föroreningen kan befinna sig i luften, marken eller vattnet.
Grundvatten	Det vatten som utgör den underjordiska delen av vattnets kretslopp.
Grundvattentäkt	En vattenförande geologisk bildning med så stor utsträckning att den kan definieras som en hydraulisk enhet som grundvatten kan utvinnas från.
Hydrogeologi	Den del av geologin som avser grundvattnets förekomst, egenskaper och rörelse.
Hydrologi	Läran om vattnets cirkulation mellan hav, atmosfär och landområden. Detta innefattar förekomst, fördelning samt egenskaper.
Perkolation	En process där vatten från nederbörd transporteras genom marken mot grundvattnet.
Permeabel	Genomsläpplig
Riskbedömning	En bedömning av vilket hot som olika föroreningar utgör mot grundvattnet.
Råvatten	Det vatten som är avsett för att användas som dricksvatten.
Sårbarhet	Markens oförmåga att motstå föroreningar.
Tillrinningstid	Den tid det tar för en förorening att inom akviferen transporteras till en uttagsbrunn för dricksvatten.
Toxicitet	Ett ämnes förmåga att skada djur, människor eller växter.
Utsläpp	En substans som lämnar en sluten verksamhet och når omgivningen.
Vattenskyddsområde	Ett geografiskt avgränsat område med syfte att skydda en vattentäkt.

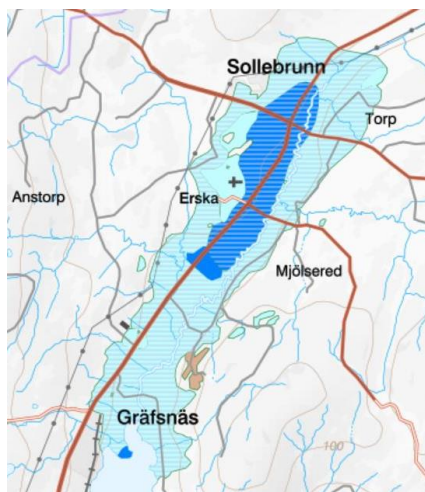
1. Inledning

Grundvatten är det viktigaste livsmedlet som finns i dagens samhälle och utgör även en betydelsefull naturtillgång (Sveriges geologiska undersökning, u.d.-b). Grundvatten förser 50% av världens befolkning med dricksvatten och cirka 2,5 miljarder människor använder grundvatten för att tillfredsställa deras dagliga vattenbehov (The Groundwater Project, u.d.). Till år 2100 förväntas även jordens befolkning öka till 11 miljarder och därmed ökar också efterfrågan på grundvatten av god kvalitet. Vid mätningar av större akviferer visar data på att de redan håller på att utarmas (The Groundwater Project, u.d.). Denna utarmning av grundvattnet kan leda till förlorad växtlighet, sättningar för konstruktioner och förlorade våtmarker. Det är därför nödvändigt att ta tillvara på dagens vattenresurser och att skydda dessa på bästa möjliga sätt.

Sverige befinner sig idag i ett klimat med stora tillgångar till vatten då det i genomsnitt faller mer nederbörd än vad som avdunstar (Stensen et al., 2019). Klimatförändringarna leder i Sverige till att temperaturen ökar och den varma perioden förlängs, vilket i sin tur ökar mängden växtlighet. Dessa tre faktorer medför att tillgången på vatten försämras, då mängden vatten som perkolerar till grundvattenmagasinen minskar. Ett av Sveriges miljömål (2021), *Grundvatten av god kvalitet*, syftar till att "Grundvattnet ska ge en säker och hållbar dricksvattenförsörjning samt bidra till en god livsmiljö för växter och djur i sjöar och vattendrag". Jämfört med andra delar av Europa är kvalitén på Sveriges grundvatten god vilket leder till att miljömålet har goda förutsättningar att uppnås (Sveriges riksdag, 1999).

Med hjälp av miljöbalken kan ett områdesskydd, i form av ett vattenskyddsområde, upprättas (Havs- och vattenmyndigheten, 2021). Inom vattenskyddsområdet gäller det särskilda föreskrifter som på olika sätt ska verka för att skydda råvattnet. Syftet med ett vattenskyddsområde är att med hjälp av föreskrifter och regleringar förhindra eller hantera olika risker som kan påverka dricksvattnet (Havs- och vattenmyndigheten, 2021). Dessa föreskrifter kan därmed påverka "förutsättningarna för planering av tillkommande verksamheter, bebyggelse eller infrastruktur" (Havs- och vattenmyndigheten, 2021).

Grundvattentäkten som kommer beröras i denna rapport är Gräfsnäs-Sollebrunn som sträcker sig från Gräfsnäs i söder till cirka en kilometer norr om Sollebrunn, se Figur 1. Från norra Sollebrunn till Gräfsnäs är det 6,5 kilometer och under denna sträcka råder det skilda hydrologiska och geologiska förhållanden (Lång & Persson, 2011).



Figur 1: Grundvattentäkten Gräfsnäs-Sollebrunn. © Sveriges geologiska undersökning.

1.1 Bakgrund

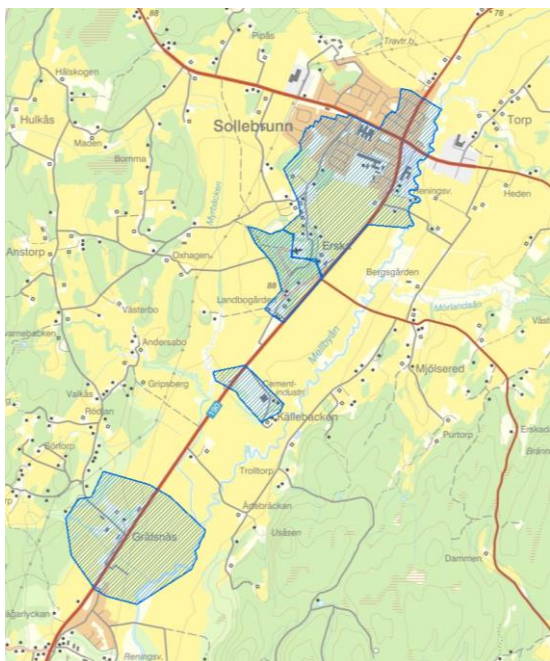
I Sverige omfattas cirka två tredjedelar av alla grundvattentäkter av ett vattenskyddsområde (Sveriges geologiska undersökning, 2020d). Denna siffra inkluderar även de större kommunala grundvattentäkterna. Ett vattenskyddsområde definieras av en geografisk avgränsning som kan delas in i olika skyddszoner (Havs- och vattenmyndigheten, 2011). Dessa zoner benämns som primär, sekundär och tertiär. Den primära zonen är den geografiska avgränsning som löper störst risk att förorenas medan den tertiära löper den minsta risken (Havs- och vattenmyndigheten, 2011). I den primära zonen är sårbarheten störst, vilket leder till att möjligheten att åtgärda ett utsläpp kompliceras. Risker i den primära zonen ska därför förebyggas på ett sådant sätt att de inte kommer att ske. Inom ett vattenskyddsområde finns det också skyddsföreskrifter som reglerar vilka verksamheter som får finnas inom området samt hur marken får användas (Havs- och vattenmyndigheten, 2011).

Många av dagens vattenskyddsområden utformades efter en äldre lagstiftning eller utefter ofullständig information kring de hydrogeologiska egenskaperna för området (Sveriges geologiska undersökning, 2020d). Ett flertal vattenskyddsområden behöver därför utvärderas på nytt för att säkerställa att den geografiska avgränsningen tar hänsyn till nuvarande lagar och föreskrifter samt att informationen om de hydrogeologiska egenskaperna är korrekta. De nuvarande vattenskyddsområdena för Gräfsnäs-Sollebrunn innefattar två områden vid Sollebrunn, ett vid Smörkullen samt ett vid Gräfsnäs och visas i Figur 2.

Tidigare har ett vattenskyddsområde utformats med hänsyn till grundvattentäktens strömningstid. I dagsläget pågår det ett arbete att ta fram nya riktlinjer för hur utformningen av ett vattenskyddsområde ska se ut. Dessa nya riktlinjer ska i större utsträckning ta hänsyn till risken att grundvattentäkten kontamineras av föroreningskällor som finns inom området.

En akvifer kan innehålla ett eller flera grundvattenmagasin beroende på dess storlek (Sveriges Meteorologiska och Hydrologiska Institut, 2021a). Det finns två olika huvudtyper av akviferer, öppna och slutna (United States Geological Survey, u.d.). En öppen akvifer har ett ovanliggande permeabelt material och ligger närmare markytan än en stängd akvifer. En stängd akvifer har istället ett omslutande icke-permeabelt jordmaterial. Då den öppna akviferen ligger närmare markytan kommer denna vid ett tidigare skede bli påverkad av torrperioder än en stängd akvifer (United States Geological Survey, u.d.). Akviferen i Gräfsnäs-

Sollebrunn täcks till största del av lera men även av partier med isälvssediment och är därför en kombination av en öppen och sluten akvifer.



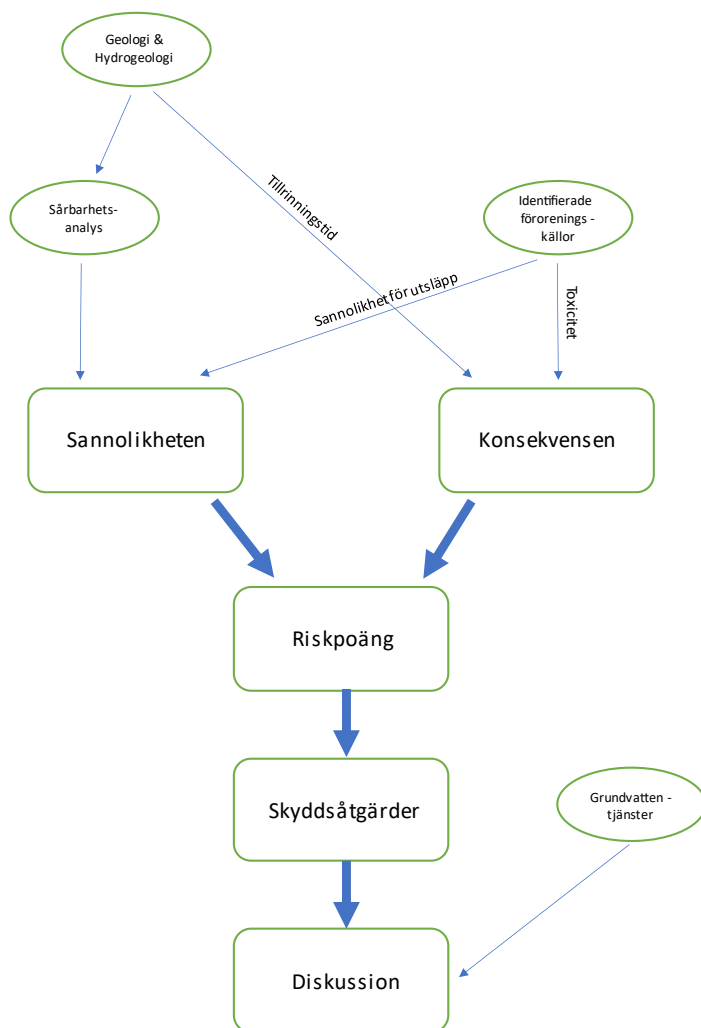
Figur 2: Karta över vattenskyddsområdena för Gräfsnäs-Sollebrunn. Från Skyddad natur, Naturvårdsverket (<https://skyddadnatur.naturvardsverket.se/>)

1.2 Syfte och frågeställning

Syftet med arbetet är att genomföra en riskbedömning för grundvattentäkten Gräfsnäs-Sollebrunn för att utvärdera vilka risker och hot som finns mot grundvattentäkten samt vilka skyddsåtgärder som bör vidtas. Även en utvärdering om vilka tjänster som grundvattnet tillhandahåller ska genomföras för att få en nyanserad bild av grundvattnets betydelse för samhälle, natur och miljö. Syftet uppfylls genom att besvara nedanstående frågeställningar.

- Hur sårbar är grundvattentäkten?
- Vilka föroreningskällor finns i området?
- Vilken risk utgör dessa föroreningskällor?
- Hur kan ett vattenskyddsområde avgränsas med hänsyn till riskbedömningen och vilka andra åtgärder kan vidtas för att skydda grundvattentäkten?
- Vilka tjänster tillhandahåller grundvattnet?

Frågeställningarna besvaras genom att följa strukturen enligt Figur 3. I metoden förklaras mer ingående tillvägagångssätt för de olika delarna.



Figur 3: Struktur för projektet.

1.3 Avgränsningar

För att kunna utföra arbetet har ett antal avgränsningar gjorts. Riskbedömningen utförs enbart med hänsyn till de lokala hoten som finns inom området. De hot som eventuellt transporteras en längre sträcka via exempelvis vattendrag eller via luften kommer inte att beaktas. Området som avses hittas i Figur 1. Inga egna geotekniska eller hydrogeologiska undersökningar kommer att genomföras för området. Data som analyseras kommer från tidigare undersökningar. Ett besök till området har gjorts för att kunna bedöma potentiella riskkällor.

Denna rapport syftar även endast till påverkan från riskkällor som avser råvattnet. Risker som berör framställande och transport av dricksvatten behandlas ej. Området kommer dessutom att analyseras baserat på en riskbedömning med hänsyn till sårbarheten, sannolikhet och konsekvens som olika föroreningskällor har. Tjänster som grundvattentäkten tillhandahåller har utvärderats men inte inkluderats i bedömningen av vattenskyddsområdena. Även framtida risker inom området kommer att analyseras och diskuteras men inte ingå i bedömningen då det är omöjligt att på ett säkert sätt förutse vad som kommer ske i framtiden.

I planprogrammet för Sollebrunn från Alingsås Kommun (2021b) framgår det att tidigare verksamheter såsom verkstäder, industrier och jordbruk har gett upphov till områden med förorenad mark. Då de redan konstaterat förorenade tomterna är under kontroll från kommunens sida, samt att arbetet syftar till att undersöka potentiella föroreningskällor, kommer de inte tas i beaktning i den kommande studien.

2 Teoretisk bakgrund till grundvattentjänster

Grundvattentjänster är ”grundvattnets direkta och indirekta bidrag till människans välbefinnande” enligt rapporten ”Grundvattnets ekosystemtjänster och deras ekonomiska värden – en inledande kartläggning” (Kinell et al., 2014). Utöver dricksvatten tillhandahåller grundvattnet tjänster som är stödjande, producerande, reglerande och kulturella. Dessa tjänster bidrar till att grundvattnets värde blir större och motivationen till att skydda grundvattnet ökar.

Dessa fyra typer av tjänster är även ekosystemtjänster (Kinell et al., 2014). Till skillnad från ekosystemtjänster behöver inte grundvattentjänster innehålla någon biologisk komponent, vilket leder till att grundvattentjänster och grundvattnets ekosystemtjänster kan skilja sig åt. Det finns ekosystem som är beroende av grundvatten, så kallade grundvattenberoende ekosystem. Själva grundvattnet är även beroende av ekosystem för att vattenvolymen ska vara stabil.

Grundvattentjänster kan även kategoriseras som in situ- och ex situ-tjänster. In situ-tjänster är tjänster som tillhandahålls när grundvattnet är kvar i akviferen (Kinell et al., 2014). Det kan till exempel vara skydd mot sättningar, vilket även är en reglerande grundvattentjänst. Ex situ-tjänster nyttjas däremot när vattnet pumpas upp och utvinns. Det kan till exempel vara utvinning av vatten för jordbruk som dessutom är en producerande grundvattentjänst.

2.1 Stödjande tjänster

Stödjande tjänster gör det möjligt för andra ekosystemtjänster att fungera (Boverket, 2022). Grundvattnet kan vara en stödjande tjänst som ingår i den hydrologiska cykeln, då det spelar stor roll för avdunstning, nederbörd och markfuktighet (Kinell et al., 2014). En annan stödjande tjänst är till exempel inflöde av grundvatten i sjöar, våtmarker och vattendrag. Det ger bra levandmiljö för levande organismer och i vissa fall helt nödvändigt då stora mängder vatten inte kommer dit på annat sätt. Det bidrar dessutom till biologisk mångfald och kan leda till förbättrad vattenkvalitet. Vid överutnyttjande av grundvatten störs den hydrologiska cykeln som i sin tur kan påverka andra processer.

2.2 Producerande tjänster

Producerande tjänster eller försörjande tjänster förser människan med sådant som gör det möjligt att leva (Boverket, 2022). Till exempel bidrar grundvattnet med färskvatten som är livsnödvändigt (Kinell et al., 2014). Grundvattnet lagrar även vatten för hushåll, industri, jordbruk samtidigt som det möjliggör för matproduktion och djurhållning. Vattnet bidrar också till geotermisk uppvärmning samt både varm- och kallvatten för olika typer av energiutvinning. Vid låga ytvattenflöden kan grundvattnet även användas som reserv för att bidra till högre vattenflöden, som möjliggör energiutvinning via vattenkraft.

2.3 Reglerande tjänster

Reglerande tjänster innebär särskilda tjänster som grundvattensystemet tillhandahåller och som skapas tack vare naturens egen reglering av kritiska processer (Boverket, 2021). De främsta reglerande grundvattentjänsterna är skydd mot sättningar, översvämningskontroll, skydd mot saltvatteninträning samt rening av vatten och avfall (Kinell et al., 2014).

Grundvattnet kan bibehålla ett skydd mot sättningar om grundvattennivån hålls jämn. Om grundvattennivån sjunker kommer även portrycket i marken att sjunka, vilket ger upphov till

stora spänningar (Michalak & Pathan, 2013). Detta leder till att markens hållfasthet försämras och risken för skador på infrastruktur ökar.

Om grundvattennivån sjunker kan även problem med saltvatteninträngning uppstå då det sker flödesförändringar (Sveriges geologiska undersökning, 2018b). Omgivande vatten, till exempel havsvatten, kan då tränga in i akviferen och påverka dricksvattenkvalitén. Vanligast att detta sker är längs med kusterna.

Grundvattnet reglerar även risken för översvämning. Från grundvattenytan och nedåt är marken vattenmättad vilket innebär att inget vatten kan infiltreras (Myndigheten för samhällsskydd och beredskap, 2017). Ur den aspekten kan det därför vara fördelaktigt med en låg grundvattennivå för att vid händelse av kraftigt regn kunna infiltrera så mycket av vattenmassorna som möjligt.

2.4 Kulturella tjänster

Kulturella tjänster kan till exempel vara religiösa eller spirituella, biologisk forskning och turism (Kinell et al., 2014). De religiösa och spirituella tjänsterna är ofta kopplade till naturliga vattenkällor. Grundvattnet kan också bidra till biologisk forskning, antingen forskning på växt- och djurliv som gynnas av grundvattnet eller djurlivet i grundvatten (stygofaunan). Stygofaunan är känslig för förändringar i miljön och kan på så sätt fungera som indikatorer, detta typ av djurliv är dock mer relevant för grundvatten som befinner sig i grottor som grundvattnet har format. Det finns även en del turism kopplat till grottor som också har ett kulturellt värde.

2.5 Ekonomiskt värde

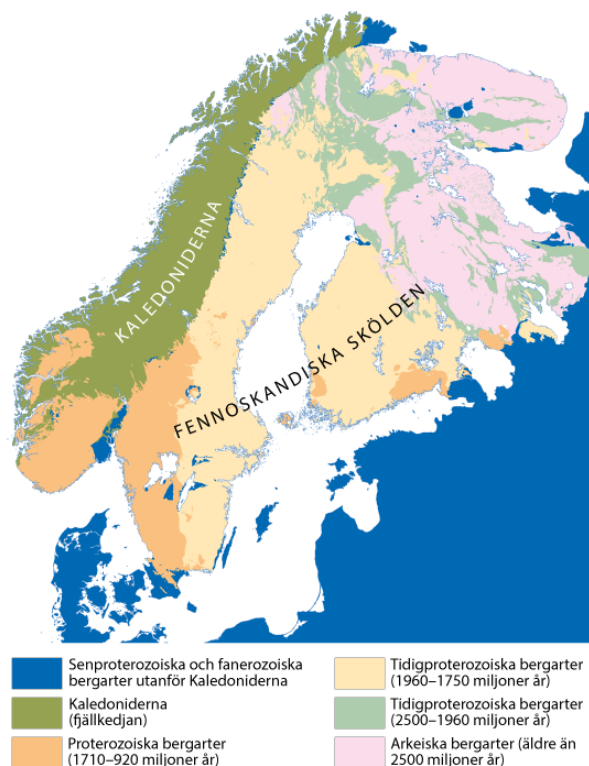
Tjänster som grundvattnet tillhandahåller, som dricksvatten, kan värderas i ekonomiska termer (Kinell et al., 2014). På samma sätt är det även möjligt att värdera skade- och åtgärds kostnader som kan uppstå. Om grundvattnet och dess tjänster skulle försvinna skulle en rad olika konsekvenser och medförande kostnader uppstå. Om det till exempel uppstår sättningar på grund av att den reglerande tjänsten försämras, så kan det krävas stora och kostsamma åtgärder för en väg eller byggnad som tagit skada.

3 Geologisk och hydrogeologisk beskrivning

Kärnan i sårbarhetsanalysen är geologin och hydrologin för platsen. Därför krävs det kännedom om vilka jordarter och bergarter som finns inom området för att kunna avgöra hur snabbt en förorening kan påverka grundvattnet. I detta avsnitt kommer bergarter, jordarter, hydrologi och hydrogeologi för området redovisas. Data som användes för att ta fram samtliga kartor i GIS är hämtad från Sveriges lantbruksuniversitetets geodatabas (<https://zeus.slu.se>).

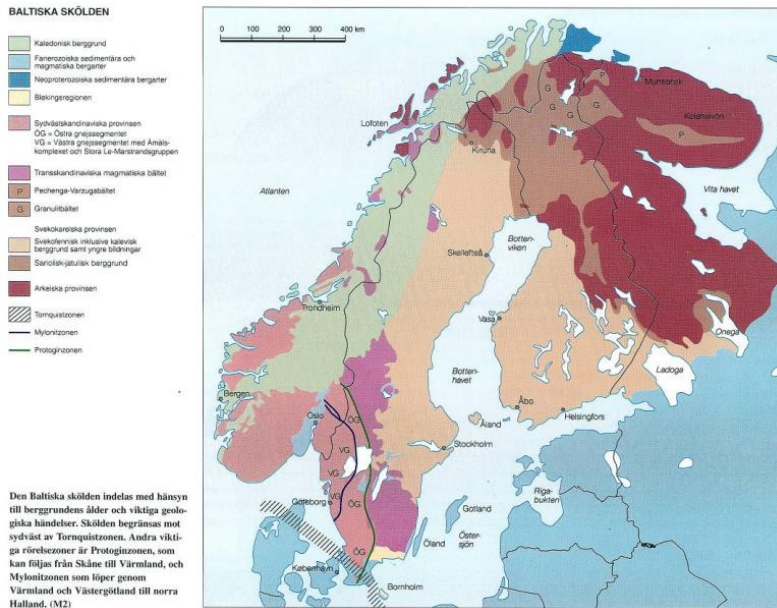
3.1 Områdets bergarter

Den Fennoskandiska urbergsskölden, som det svenska urberget är en del av, bildades mellan 4 600 miljoner och 545 miljoner år sedan under den prekambrika tiden (Sveriges geologiska undersökning, u.d.-f). Figur 4 illustrerar denna urbergssköld. De äldsta bergarterna som har upptäckts i Sverige bildades för mer än 2 500 miljoner år sedan och finns enbart i de nordligare delarna av landet. Ett heltäckande bergstäckande, som är belägen ovanpå urberget, bestående av fanerozoiska sedimentära bergarter har påträffats och är till största delen yngre är cirka 541 miljoner år (Avdelningen för geologi och geoteknik, u.d.). Sedermera finns även de fanerozoiska bergarterna täcker bland annat Västgötabergen och Östgötaslätten.



Figur 4: Urbergssköldar i Skandinavien. © Sveriges geologiska undersökning.

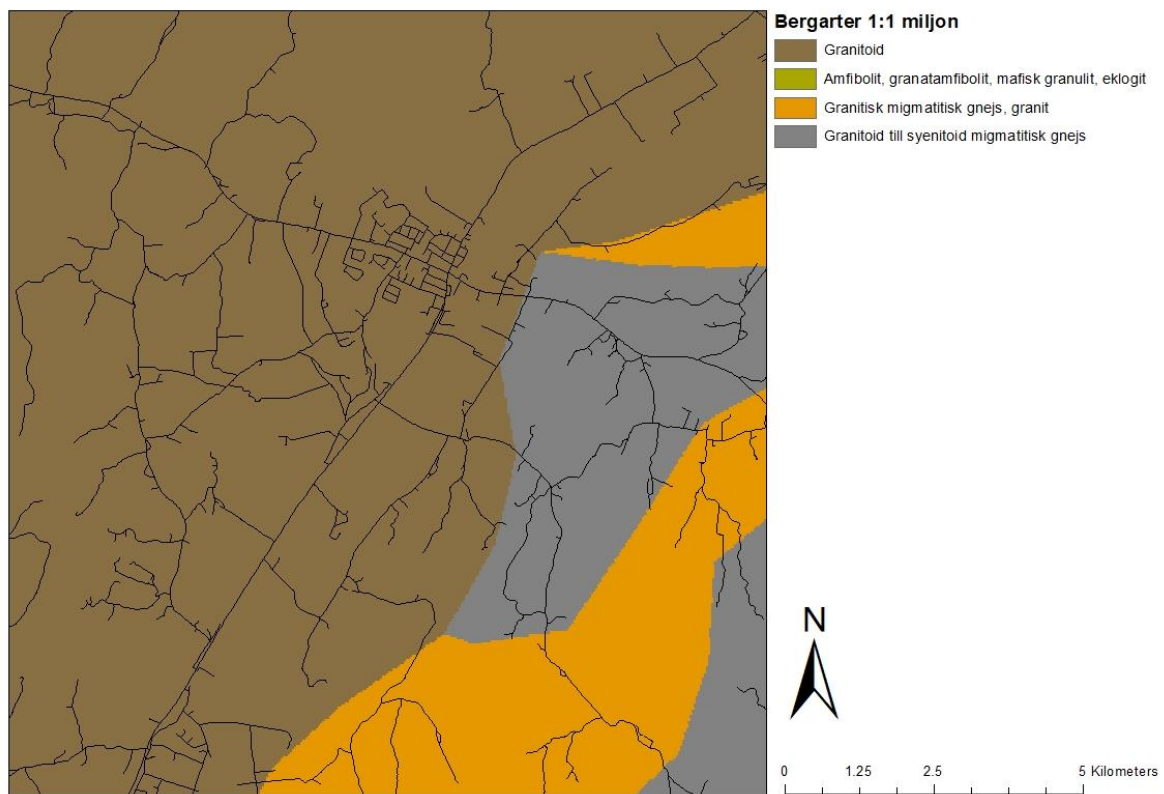
Sydvästskandinaviska provinsen, som visas i Figur 5 är en berggrund som bildades för cirka 1800 – 1900 miljoner år sedan och domineras av folierade granitoida gnejser som har magmatiskt ursprung. Dessa bergarter omvandlades sedan kraftigt under den svekonorvegiska bergskedjebildningen (Avdelningen för geologi och geoteknik, u.d.). Huvuddelen av bergarterna är dock mycket äldre och bildades redan under den gotiska bergskedjebildningen som ägde rum för 1700 – 1550 miljoner år sedan.



Figur 5: Sydvästkandinaviska provinsen (Fredén & Wastenson, 2002).

Den största delen av Sveriges berggrund består av metamorfa bergarter (Avdelningen för geologi och geoteknik, u.d.). Metamorfa bergarter bildas under högt tryck och höga temperaturer vid något eller några tillfällen. Beroende på temperatur i kombination med tryck kan det bildas olika metamorfa bergarter.

Gräfsnäs-Sollebrunn är beläget i sydvästra Sverige där berggrunden består av gnejs och granit (Johansson, 2020). Gnejs och granit är båda av typen metamorfa bergarter. Figur 6 visar berggrunden för området Gräfsnäs-Sollebrunn. Beroende på vilken typ av bergart som finns inom området för akviferen kan det påverka hur grundvattenbildningen ser ut.



Figur 6: Karta över bergarter för området Gräfsnäs-Sollebrunn.

3.2 Områdets jordarter

De flesta jordarterna som finns i Sverige idag bildades under eller efter den senaste istiden (Sveriges geologiska undersökning, 2020a). Den senaste istiden varade mellan cirka 115 000 år till 10 000 år sedan och den tunga vikten från inlandsisen resulterade i att markytan var nedtryckt under en lång tid. När inlandsisen sedan smälte minskade trycket på jordskorpan och markytan började sakta höjas igen (Sveriges geologiska undersökning, 2020b). Den högsta nivå som smältvattnet nådde brukar benämnas som Högsta kustlinjen och då isen inte var jämntjock varierar nivån för högsta kustlinjen i landet (Sveriges geologiska undersökning, 2020b). Under den tiden som markytan låg under havsnivån bildades stora mängder med lera och silt i de djupaste delarna (Sveriges geologiska undersökning, 2020b). När dessa ytor sedan torrlades genom att markytan höjdes igen, bildades lerslätter.

När inlandsisen rörde sig långsamt över markytan följde bitar av berggrunden samt annat löst material med (Sveriges geologiska undersökning, 2020c). Detta material är det som sedan bildade jordarten morän. Morän täcker cirka 75% av Sveriges yta och är därmed den vanligaste jordarten. Moränens kornstorlek varierar mellan allt från mindre lerpartiklar till större block.

Vid bedömning av grundvattnets sårbarhet behöver hänsyn tas till vilket jordmaterial som ligger ovanpå vattentäkten (Sveriges geologiska undersökning, 2018a). För jordarter med stora och många porer, till exempel grus och sand, kan en förorening snabbt nå grundvattnet eftersom partiklarna transporteras med vattnet som snabbt rinner genom jordlagren (Sveriges geologiska undersökning, 2018a). För en jordart som har små och få porer, exempelvis lera och silt, når föroreningen inte grundvattnet lika snabbt och det tar en längre tid för grundvattnet att kontamineras. Tabell 1 visar hur olika jordarter kan delas in i tre olika sårbarhetsklasser.

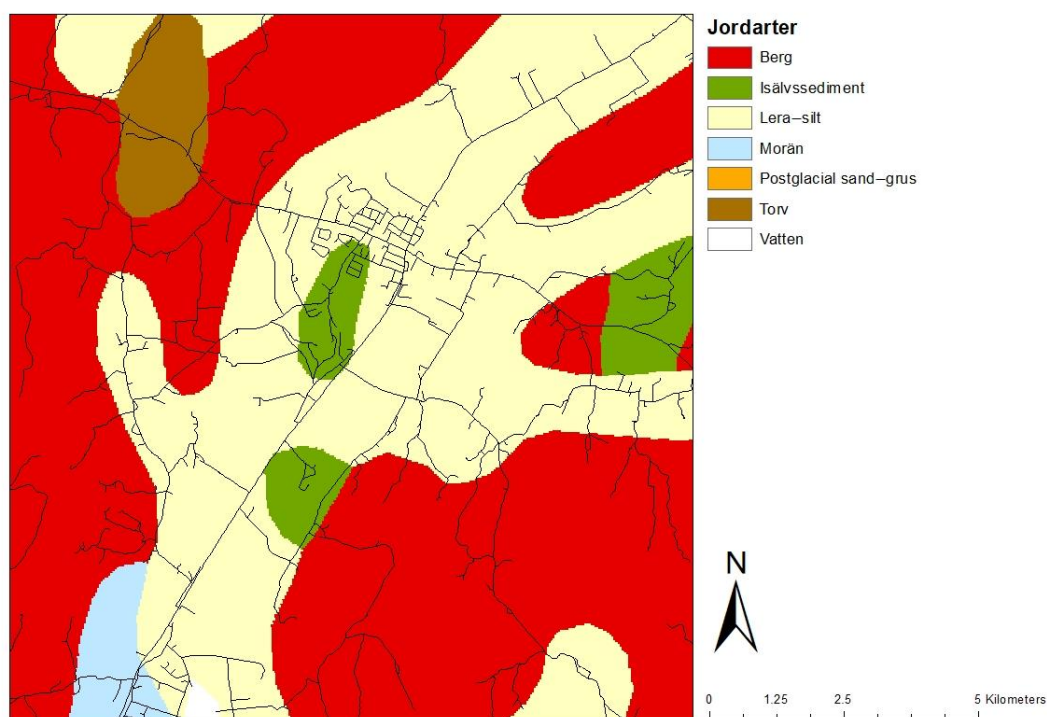
Tabell 1: Sårbarhetsklasser för olika typer av jordarter. Återgiven med tillåtelse av Sveriges geologiska undersökning (2018a).

Sårbarhet	Jordart	Kommentar
Hög sårbarhet och hög genomsläpplighet	Flygsand, grus, isälvssand, isälvssediment, klapper, sand, talus* och sandiga älvsediment	
Medelhög sårbarhet eller varierande sårbarhet	Berg i dagen**, morän och finsandiga älvsediment	Sårbarheten i dessa områden varierar mycket beroende på moränens sammansättning och frekvensen av sprickor i bergmassan
Låg sårbarhet och låg genomsläpplighet	Ler, silt och torv	Områden med torrskorpeleror kan vara mycket genomsläppliga i de ytligare lagren

*Talus består av grova kantiga bergfragment som ansamlats vid basen av en brant bergvägg.

**Berghällar som inte är täckta med jord.

Figur 7 visar de jordarter som finns inom området för grundvattentäkten Gräfsnäs-Sollebrunn. Området består till störst del av lera och silt, även isälvssediment förekommer. Vid utkanten av den undersökta grundvattentäkten går berggrunden upp till markytan där det översta jordlagret består av berg. Då lera och silt har en låg genomsläpplighet samt låg sårbarhet kommer det vara svårt för föroreningar att ta sig igenom dessa jordlager. För området som består av isälvssediment klassas sårbarheten som hög vilket gör att föroreningar har lättare att transporteras genom denna jordlagertyp.



Figur 7: Karta över jordarter i området Gräfsnäs-Sollebrunn.

3.3 Hydrologi och hydrogeologi

Hydrogeologi, ibland även kallat grundvattnets hydrologi, behandlar den del av vattnets kretslopp som sker under markytan (International Association of Hydrogeologists, u.d.). Detta

innefattar hur vatten rinner genom marken, flödar genom akviferen samt hur det interagerar med den omgivande geologin. För att kunna bedöma hur en akvifer kan skyddas på bästa sätt är det därför väsentligt att ha kunskaper om hydrologin och hydrogeologin.

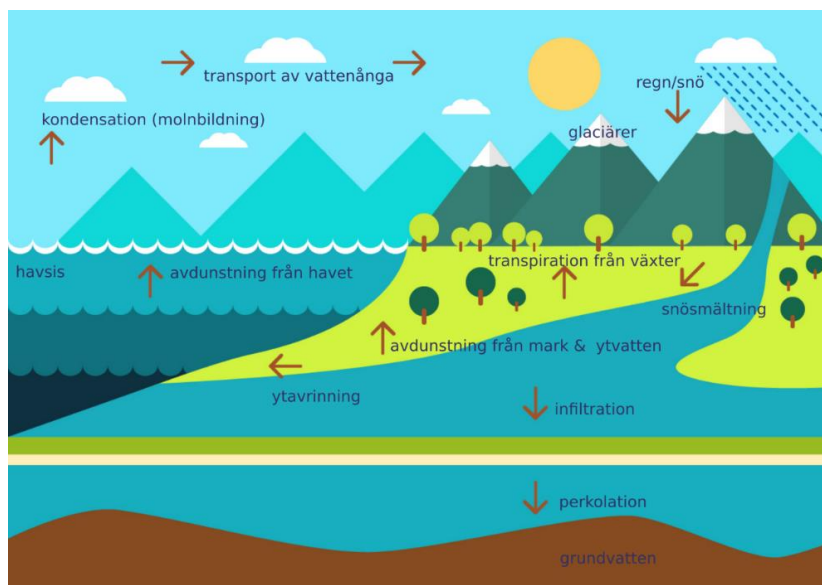
Drivkraften för de hydrologiska processerna är solen (Sveriges Meteorologiska och Hydrologiska Institut, 2021b). Solens energi värmer upp vattnet som sedan bildar vattenånga som avdunstar. Evaporation kallas den process när vatten avdunstar från öppna ytor och transpiration när vatten avdunstar via växters klyvöppningar (Sveriges Meteorologiska och Hydrologiska Institut, 2021b). Evapotranspiration är en sammanslagning då båda processer sker samtidigt. Vid sommarens varma lufttemperatur sker avdunstning oftare än under de kallare vintermånaderna.

När vattenången sedan stiger uppåt kyls den av och kondenserar till vattendroppar (Sveriges Meteorologiska och Hydrologiska Institut, 2021b). När dessa droppar sedan har blivit för tunga för att hålla sig kvar uppe i atmosfären faller de ner som nederbörd i form av antingen regn eller snö beroende på temperatur.

Vid perkolation finns det två olika zoner (Sveriges Meteorologiska och Hydrologiska Institut, 2021b). Den omättade zonen är den översta delen av marken där håligheter till viss del är fyllda med vatten. Detta vatten kallas även för markvatten. Zonen som ligger under grundvattenytan kallas för den mättade zonen (Sveriges Meteorologiska och Hydrologiska Institut, 2021b). Här är alla hålrum fyllda med vatten.

Vattnet letar sig sedan vidare till öppna vattendrag som exempelvis sjöar och åar. Det vatten som inte avdunstar här når till slut havet och avdunstar där. Därefter börjar processen om igen och den hydrologiska cirkeln för vattnets kretslopp är sluten. Hela vattnets kretslopp illustreras i Figur 8.

Tillförsel av vatten till grundvattnet sker genom att ytvatten i form av nederbörd eller olika vattendrag perkolerar genom markytan (Geoscience Australia, u.d.). En ökning av grundvattnet kan också ske genom ett tillskott från markvattnet. Det vatten som bildar grundvatten är alltså det vatten som inte tagits upp av växter eller som avdunstat och som infiltrerat marken genom perkolation.



Figur 8: Vattnets kretslopp. Från Gronamoment.se, av Julia Kukulies (2021), <https://gronamoment.se/2021/07/08/klimat effekter-pa-vattnets-kretslopp/>. CC BY-NC-ND 2.5 SE

3.4 Faktorer som kan påverka grundvattenbildning

Dränering är vanligt förekommande och kan påverka både grundvattenbildningen men även grundvattenflödet (Eveborn et al., 2017). Dräning kan leda till att storleken på grundvattenmagasinet och grundvattenflödet minskar, vilket i sin tur kan ge negativa effekter för den delen av grundvattnet som kan utvinnas för dricksvatten. Urbana områden med hårdgjorda ytor samt dag- och dränvattensystem kan leda till att grundvattenbildningen nästintill upphör.

I kristallint berg, som gnejs och granit tillhör, förekommer grundvattnet i den sekundära porositeten (Avdelningen för geologi och geoteknik, u.d.). Den sekundära porositeten innebär att grundvattnet förekommer i sprickor och deformationszoner istället för i den primära bergmassan, som är den primära porositeten (Avdelningen för geologi och geoteknik, u.d.). I utkanten av området kring vattentäkten Gräfsnäs-Sollebrunn ligger en deformationszon, se Bilaga 1. Denna deformationszon är spröd till plastisk i egenskaperna och har en revers och normal rörelse (Sveriges geologiska undersökning, u.d.-c). Detta bidrar till att grundvattenbildningen kan påverkas genom att vatten potentiellt kan rinna genom deformationszonen till grundvattentäkten.

4 Metod

Detta arbete avser att skydda grundvattentäkten Gräfsnäs-Sollebrunn och inkluderar följande steg: riskbedömning, ge förslag på skyddsåtgärder och identifiering av grundvattentjänster. Arbetet inleddes med att definiera begreppet risk och upprätta en metod för riskbedömningen. Metoden bygger på ett matrissystem där sannolikheten för att en förorening når grundvattnet och konsekvensen som kan uppstå om en förorening når grundvattnet bedöms och kombineras till en slutgiltig riskpoäng. Sannolikheten utvärderades efter hur ofta ett utsläpp av föroreningarna förväntas ske samt markens sårbarhet. För konsekvensen utvärderades toxiciteten och tillrinningstiden. Figur 9 visar en schematisk bild över metoden för riskbedömningen.

För att kunna genomföra riskbedömningen behövde först föroreningskällorna i området Gräfsnäs-Sollebrunn identifieras, för att sedan utvärderas och bedömas efter de framtagna sannolikhets- och konsekvenskriterierna. Bedömningarna resulterade slutligen i en riskpoäng för varje föroreningskälla. Baserat på riskpoängen skapades förslag på hur vattenskyddsområden kan upprättas, samt andra skyddsåtgärder.

Grundvattentjänster som grundvattentäkten tillhandahåller identifierades för att visa på grundvattnets olika användningsområden och bidrag till samhälle och natur. Detta är något som kan inkluderas vid framtagande av åtgärder och upprättande av framtida vattenskyddsområden.



Figur 9: Schematisk bild över metoden för riskbedömningen.

4.1 Riskbedömning

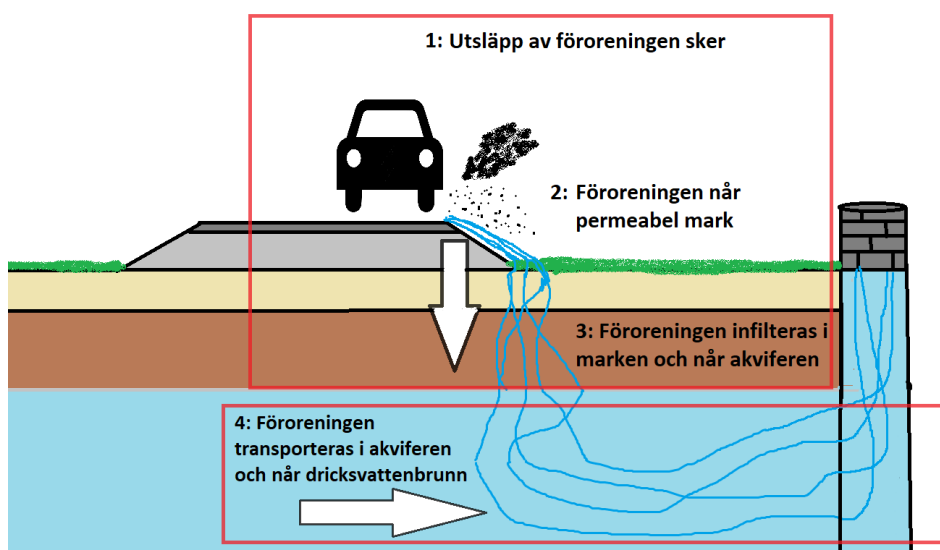
I vardagen utsätter människan sig för många risker. Vid transport i trafikerade miljöer finns alltid risken för att vara med om en olycka, likaså finns risken för att halka i duschen eller bli allvarligt sjuk. För de allra flesta innebär ordet risk att det finns en överhängande fara och då skapar de sig en bild över vad som kan hända, vad konsekvensen skulle bli om olyckan var

framme (Riskkollegiet, 1991). För många är det självklart att en fridykare löper mycket större risk för att drunkna än en person som aldrig befinner sig i närheten av ett vattendrag. Detta är ett exempel på hur *sannolikhet* är en komponent i begreppet risk.

Traditionellt i riskbedömningar beskrivs begreppet risk som en kombination av *sannolikhet* och *konsekvens* (G. Davidsson, 2003). I detta arbete definierades risk som hot för påverkan på grundvattnet och kvantifierades enligt termer av sannolikhet och konsekvens.

För att en förorening ska kunna leda till en negativ påverkan på dricksvattnet behöver föroreningen transporteras till en dricksvattenbrunn. Denna transport illustreras i Figur 10 och inkluderar fyra steg. Först behöver ett utsläpp av föroreningen ske, för att sedan nå permeabel mark där den kan infiltreras och nå akviferen. Slutligen behöver föroreningen transporteras i akviferen och nå en dricksvattenbrunn.

Denna transportväg delades in i två delar, den vertikala- och den horisontella transporten. Den vertikala transporten är från utsläpp till att föroreningen når akviferen. Denna del ses som sannolikheten för att akviferen förorenas och tar hänsyn till sannolikheten för utsläpp och markens sårbarhet. Den horisontella transporten är transporten inom akviferen till dricksvattenbrunn. Denna del anses bestämma hur stor konsekvensen blir och tar hänsyn till föroreningens toxicitet och tillrinningstid.



Figur 10: Föroreningens väg till uttagsbrunnen.

4.1.1 Identifiering av föroreningskällor

De föroreningskällor som befinner sig inom akviferens område kunde identifieras med hjälp av EBH-kartan från Länsstyrelsen (<https://www.lanstyrelsen.se>). Kartan visar misstänkta eller redan konstaterade förorenade områden. Vid ett platsbesök kunde ytterligare misstänkta förorenade områden lokaliseras som inte fanns med på EBH-kartan.

Dessa platser har sedan undersökts separat för att identifiera vilka föroreningar som platsen bidrar med. De föroreningar som tas upp är endast sådana som kan påverka människor via dricksvattnet. Andra faktorer så som luftföroreningar eller förorening av vattendrag, till exempel sjöar och åar, beaktas ej.

4.1.2 Grundvattnets sårbarhet

DRASTIC är ett standardiserat system för kartläggning av grundvattnets sårbarhet för föroreningar som baseras på geologiska och hydrogeologiska faktorer (Rosén, 1994). Metoden publicerades 1985 i USA och framtogs utifrån amerikanska hydrogeologiska förhållanden som skiljer sig något från de svenska (Aller et al., 1985).

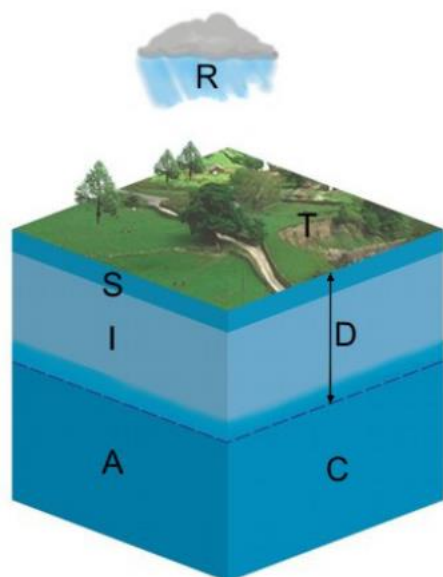
DRASTIC-metoden bygger på fyra antagande för att göra en översiktlig analys som inte tar hänsyn till specifika händelser (Rosén, 1994). De fyra antagandena är (1) föroreningen införs vid markytan, (2) nederbörd infiltrerar föroreningen genom markytan ner till grundvattnet, (3) föroreningen har samma rörlighet som vattnet och (4) ytan som analyseras med DRASTIC-metoden är minst 40 ha (100 acres). På så sätt är metoden enkel och fördelaktig att använda i ett tidigt stadie av en utredning. Det krävs ingen avancerad data och metoden kompletteras med ingenjörsmässiga antaganden om data för området saknas.

Metoden går att tillämpa på två olika sätt (Rosén, 1991). Ett tillvägagångssätt går ut på att genomföra en generell applicering av poängsystemet som DRASTIC bygger på, där samtliga parametrar och egenskaper analyseras översiktligt. Det andra sättet går ut på en pesticid tillämpning som är anpassad efter utsläpp av framför allt bekämpningsmedel och andra toxiska ämnen. Dock ger inte DRASTIC ensamt en fullständig analys av situationen i området då den inte tar hänsyn till föroreningens egenskaper. Därför kombineras sårbarheten med sannolikheten att föroreningen når permeabel mark och blir på så sätt sannolikheten att föroreningen når akviferen. Sannolikheten viktas därefter med konsekvensen som ger ett totalt riskvärde.

När sårbarhetsanalysen genomfördes användes rapporten "Sårbarhetsklassificering av grundvatten" som guide (Rosén, 1991). I metoden analyserades parametrarna i Tabell 2 i *ArcMap*, där varje bokstav beskriver ett lager som sedan sammanställdes och gav slutliga värden för sårbarheten i området. En illustration över var parametrarna verkar visas i Figur 11. Poängsystemet består av poäng mellan 1 och 10 som fördelas på de olika parametrarna. Parametrarna D, R, T och C klassificerades utifrån intervall medan parametrarna A, S och I klassificerades utifrån material. En låg siffra betyder att sårbarheten är låg och att föroreningen troligen inte kommer att nå grundvattnet.

Tabell 2: Beskrivning av de olika parametrarna i DRASTIC.

D	Depth to groundwater	Djup till grundvattenytan
R	Recharge	Grundvattenbildning
A	Aquifer Media	Akviferens material
S	Soil Media	Jordmånens material
T	Topography	Topografi
I	Impact of the Vadose Zone Media	Omättade zonens material under jordmånen
C	Conductivity of the Aquifer	Akviferens hydrauliska konduktivitet



Figur 11: Modell för hur parametrarna verkar i DRASTIC-metoden (Burman & Moberg, 2004).

4.1.2.1 Djup till grundvattenytan (D)

I detta lager användes brunnnsdata från SGU:s Brunnarkiv (<https://apps.sgu.se/kartvisare/>) där endast djup till grundvattenytan togs i beaktning. Vattenytan i brunnarna antogs vara samma som grundvattenytan på grund av vattenbalansen med den omslutande marken. Data delades in i intervallen enligt Tabell 3 och poäng sattes därefter i *ArcMap*.

Tabell 3: Intervall för poängsättning och djup till grundvattenytan.

Djup till grundvattenytan (m)	Poäng
0 – 1.5	10
1.5 – 4.5	9
4.5 – 9	7
9 – 15	5
15 – 23	3
23 – 30	2
>30	1

4.1.2.2 Grundvattenbildning (R)

Denna parameter är till störst del beroende av vilken typ av jordart som marken består av. Jordarter som har en större kornstorlek har en större infiltrationskapacitet och har därmed lättare att bilda grundvatten. Även här delades data in i intervallen som syns i Tabell 4 för att sedan betygssättas. Årsmedelnederbörden är den huvudsakliga parametern som lagret baserades på. Lera och berg har grundvattenbildningen 0 mm/år medan sand, grus, morän och isälvsediment har 450 mm/år.

Tabell 4: Intervall för poängsättning av grundvattenbildning.

Grundvattenbildning (mm/år)	Poäng
0-50	1
50-100	3
100-175	6
175-250	8
>250	9

4.1.2.3 Akviferens material (A)

Den här parametern har att göra med vilket material som akviferen består av. Vilket poäng materialet får beror på hur permeabelt det är. Desto mer permeabelt ett material är desto större risk att en förorening sprider sig genom akviferen och parametern ges ett högre poäng enligt Tabell 5. Klassificering gjordes med information om kornstorleken på materialet i akviferen och utvärderingen gjordes i ArcMap i kombination med borrhål från SGU:s tjänst Kartvisaren (<https://apps.sgu.se/kartvisare/>). Även genom information från "Beskrivning till kartan Grundvattenförekomster i Alingsås kommun" har samma antagande gjorts (Lång & Persson, 2011).

Tabell 5: Bedömning av akviferens material.

Materialtyp	Poäng
Massiv skiffer	2
Kristallint berg	3
Vittrat kristallint berg	4
Morän	5
Sandsten/kalksten/lersten	6
Massiv sandsten	6
Massiv kalksten	6
Sand och grus	8
Basalt	9
Karst	10

4.1.2.4 Jordmånens material (S)

Jordmånen utgörs av det översta skiktet av marken och består av organiska material. Jordmånen kännetecknas av horisonter som oftast ligger parallellt med markytan. Dessa jordmåner sträcker sig oftast 1–2 meter djupt. För att bedöma materialen i det översta skiktet av markytan har jordartskartan från SGU använts som underlag. Tabell 6 nedan användes vid bedömning av de jordarter som är relevanta i området Gräfsnäs-Sollebrunn.

Tabell 6: Bedömning av jordmånens material.

Jordmånens material	Poäng
Berg	1
Lera -Silt	1
Torv	8
Isälvs sediment	9
Morän	10
Postglacial sand - grus	10

4.1.2.5 Topografi (T)

Topografin handlar om hur markens lutning varierar, där en högre lutning ger ett lägre poäng. Detta eftersom vattnet innehållande föroreningar på en plan yta kan infiltreras ner i marken medan på en sluttning rinner vattnet bort och infiltreras inte ner i marken och vidare till grundvattnet. Parametern delades in i intervall enligt Tabell 7 och poängsattes därefter. Höjddatan som användes är hämtad från SLU (Sveriges lantbruksuniversitet, 2021).

Tabell 7: Intervall för bedömning av lutning.

Lutning (%)	Poäng
0-2	10
2-6	9
6-12	5
2-18	3
>18	1

4.1.2.6 Omättade zonen material under jordmånen (I)

I den omättade zonen material under jordmånen innebär en större kornstorlek samt sprickbildningar en högre sårbarhet för grundvattnet. Materialet i denna parameter har främst betydelse för fördröjning men även nedbrytning av det potentiella utsläppet.

Materialet under jordmånen antas vara liknande som jordmånen. Data från de få borrhål som finns i området har gett viss information om hur material kan se ut under jordmånen (Sveriges geologiska undersökning, u.d.-e). Där det inte har funnits tillgängliga data från borrhål har antaganden gjorts för vilket material som ligger under jordmånen, baserat på jordmånens material. Där det är lera överst antogs det att det är sand och grus med betydande del silt och lera. När det är isälvs sediment antogs det vara sand och grus under. På de ställen det är berg vid markytan antogs det vara kristallint berg eftersom det är gnejs och grandiorit. Grandiorit är en magmatisk och gnejs är en metamorf bergart, tillsammans bildar de kristallint berg (Geoteknik, 2020). Där jordmånen består av morän antogs morän hela vägen ner, sand och grus valdes därför hela vägen. Under torven antogs lera. Parametrarna bedömdes enligt Tabell 8.

Tabell 8: Bedömning för de olika materialtyperna.

Material jordmån	Material under jordmån	Poäng
Berg	Kristallint berg	4
Lera	Sand och grus med betydande del silt och lera	6
Torv	Sand och grus med betydande del silt och lera	6
Isälvs sediment	Sand och grus	8
Morän	Sand och grus	8

4.1.2.7 Akviferens hydrauliska konduktivitet (C)

Den sista parametern har att göra med materialet i akviferen och dess hydrauliska konduktivitet eller genomsläpplighet (Rosén, 1991). Ju större hydraulisk konduktivitet materialet besitter desto större risk är det att en förorening hinner sprida sig långt och påverka vattenkvaliteten mycket. Den hydrauliska konduktiviteten kan bero på bland annat materialets korstorlek, porositet och kornens form.

Akviferen består mestadels av sand men skiftar i mitten av akviferen mellan mellansand/finsand och grusig/stenig sand, enligt borrhål från SGU. Konduktiviteten bedömdes därav att vara mellan 10^{-5} m/s och 10^{-2} m/s för grovsand och mellansand (Geoteknik, 2020). Akviferen består av områden med olika uttagsmöjligheter som går att koppla till konduktiviteten. Hög uttagsmöjlighet innebär att konduktiviteten är låg. Konduktiviteten värderades enligt Tabell 9.

Tabell 9: Bedömning av konduktiviteten samt poäng.

Intervall (m/s)	Poäng
$<5 \cdot 10^{-5}$	1
$5 \cdot 10^{-5} - 1,5 \cdot 10^{-4}$	2
$1,5 \cdot 10^{-4} - 3 \cdot 10^{-4}$	4
$3 \cdot 10^{-4} - 5 \cdot 10^{-4}$	6
$5 \cdot 10^{-4} - 10^{-3}$	8
$>10^{-4}$	10

4.1.2.8 Viktning av parametrarna

De olika parametrarna lades sedan ihop enligt Ekvation 1 och de viktades då efter vad som har störst betydelse för sårbarheten.

$$DRASTIC - index = D_V D_P + R_V R_P + A_V A_P + S_V S_P + T_V T_P + I_V I_P + C_V C_P \quad (1)$$

I tabellen nedan visas det att D och I är de parametrar som påverkar sårbarheten mest då de har tilldelats faktorn 5. Topografin anses vara minst betydande för sårbarheten då den har tilldelats faktorn 1. Sammanslagningen av parametrarna gjordes i ArcMap och viktningen enligt Tabell 10 användes. Det resulterade i en karta över området som visar vart sårbarheten är som störst respektive minst. Den slutgiltiga kartan i ArcMap består av ett DRASTIC-index som delades in i en skala från 1 till 5. Detta gav en slutlig karta i ArcMap med olika poäng ut över området. Poängen för sårbarheten i ett visst område användes slutligen i beräkningen av risken för en viss förorening som finns i området.

Tabell 10: Viktning av de olika parametrarna.

	Parameter	Viktning
D	Djup till grundvattenytan	5
R	Grundvattenbildning	4
A	Akviferens material	3
S	Jordmånens material	2
T	Topografi	1
I	Omättade zonen material under jordmånen	5
C	Akviferens hydrauliska konduktivitet	3

4.1.3 Sannolikhet

I detta arbete definieras *sannolikhet* som hur ofta ett utsläpp förväntas ske där föroreningen når akviferen. I Figur 10 visas en schematisk bild för hur föroreningens transport från utsläpp till dricksvattenbrunn sker, vilket ligger till grund för hur de olika parametrarna bedöms. För att en förorening ska kunna nå dricksvattnet krävs det att föroreningen först når akviferen. Om en förorening ska nå akviferen behöver först ett utsläpp av en förorening ske, denna förorening måste sedan nå permeabel mark där den kan infiltreras genom marken och ned till akviferen. Detta händelseförlopp utgör tillsammans vad som i arbetet benämns som *sannolikheten att en förorening når akviferen* och bedöms baserat på två parametrar: *sannolikheten att en förorening når permeabel mark* och *markens sårbarhet*.

Sannolikheten att en förorening når permeabel mark bedömdes i arbetet utifrån utsläppsfrekvens, hur ofta ett utsläpp från föroreningsskällan kan väntas ske där föroreningen når permeabel mark. Kriterierna för olika sannolikhetsnivåer har baserats på Livsmedelsverkets *Handbok för risk- och sårbarhetsanalys för dricksvattenförsörjning* (2007) och redovisas i Tabell 11. Livsmedelsverkets kriterier innefattar en säkerhetsanalys, vilken bortsågs från i detta arbete, då resurser för att genomföra en sådan analys saknades.

Tabell 11: Bedömningskriterier för sannolikhet att föroreningen når permeabel mark.

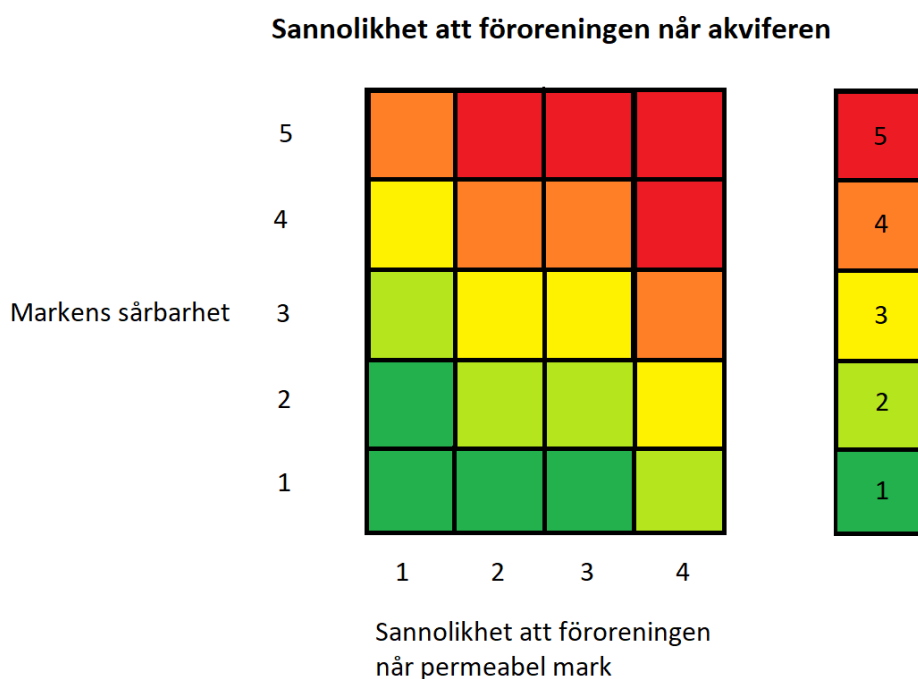
Sannolikhetsnivåer	Kriterier
1	Enligt en fackmässig bedömning kan händelsen inte uteslutas.
2	En fackmässig bedömning visar att händelsen kan inträffa vart 10:e–50:e år
3	En fackmässig bedömning visar att händelsen kan inträffa vartannat till vart 10:e år
4	Händelsen förekommer nu och då i den egna verksamheten

Till grund för bedömningarna av *sannolikhet att ett utsläpp når permeabel mark* användes MSB:s statistikdatabas IDA (<https://www.ida.msb.se/>). I IDA redovisas olycksstatistik för olika branscher och genom att granska detaljerad statistik för åren 2018–2020 kunde antalet räddningsinsatser där ett utsläpp har skett, alternativt där det funnits en överhängande fara för utsläpp erhållas. I de branscher eller fall där olycksstatistik inte finns tillgängligt har information sökts varefter bedömningar har genomförts.

För vissa branscher är inte olyckor den primära orsaken till utsläpp av föroreningar, utan något som sker kontinuerligt, exempelvis vägsaltning och utsläpp av växtskyddsmedel vid jordbruk. Dessa branscher har samtliga tilldelats sannolikhetsnivån 4. Bedömningarna har även gjorts med avseende på vilken miljö eventuella utsläpp sker i. Ett utsläpp inomhus i en fabrikslokal belägen på hårdgjorda ytor anses mindre sannolikt att nå permeabel mark än ett liknande utsläpp utomhus etcetera.

Sårbarheten beräknades enligt DRASTIC-metoden och beskriver hur enkelt en förorening infiltrerar marken och når akviferen. En hög poäng innebär att marken är mycket sårbar och att en förorening enkelt kan infiltreras. En låg poäng innebär att marken inte är sårbar och att en förorening inte kan alternativt tar lång tid att infiltreras. En djupare redogörelse för DRASTIC-metoden återfinns tidigare i kapitel 4. Området som undersökts har tilldelats olika sårbarheter enligt sårbarhetskartan som togs fram med hjälp av DRASTIC och beroende på vilken geografisk plats föroreningskällan återfinns har relevant sårbarhetspoäng tilldelats. För föroreningskällor som är utspridda över flera sårbarhetszoner har riskpoängen beräknats för samtliga scenarion med syftet att erhålla en mer nyanserad riskbedömning.

Poängen för *sannolikhet att föroreningen når akviferen* erhålls genom bedömningsmatrisen i Figur 12 nedan. Matris är skapad genom bedömning av hur stor *sannolikhet att föroreningen når akviferen* som de olika kombinationerna av de ingående parametrarnas poäng motsvarar. Markens sårbarhet har bedömts vara av större vikt, vilket resulterar i en icke symmetrisk matris. Om en föroreningskälla ligger på ett område med poängnivå 3 för *markens sårbarhet* och poängnivå 4 för *sannolikhet att föroreningen når permeabel mark*, erhålls en poängnivå 4 för *sannolikhet att föroreningen når akviferen*.



Figur 12: Bedömningsmatris för sannolikhet att föroreningen når akviferen.

4.1.4 Konsekvens

Konsekvenserna av att en förorening når akviferen bedömdes också baserat på två parametrar: *föroreningens toxicitet* och *tillrinningstid*, där tillrinningstiden bland annat beskriver möjligheten att vidta åtgärder.

Toxiciteten är ett mått på vilken påverkan föroreningen får på dricksvattnet och bedöms enligt kriterierna i Tabell 12. I de fall där det finns flertalet möjliga scenarion och utsläpp, kan ett eller flera scenarion bedömas beroende på vilka konsekvenser som kan uppstå.

Tabell 12: Toxicitetsnivåer med beskrivning.

Toxicitetsnivå	Kriterier
1	Obetydlig påverkan på vattenkvalitén
2	Liten påverkan (lukt, färg, smak)
3	Otjänligt vatten, fara för liv och hälsa vid långvarig exponering
4	Otjänligt vatten, omedelbar fara för liv och hälsa

Tillrinningstiden beskriver hur lång tid det tar från att en förorening når akviferen tills att den når en dricksvattenbrunn, vilket behöver beaktas av flertalet anledningar. Den primära skyddszonen för grundvattentäcker bör motsvara 100 dagars tillrinningstid, för att ta höjd för både kemiska och mikrobiologiska föroreningar (Bergvall et al., 2016). En studie i Tyskland har visat att magsjukebakterien *Escherichia coli* (E. coli) aktivitet minskar drastiskt efter 50 dygn (Filip et al., 1988). Infiltrering av ytvattnet med en uppehållstid på minst 14 dygn ses även som en mikrobiologisk barriär av Livsmedelsverket (2022d). En kort tillrinningstid innebär dessutom att det blir svårt, om inte omöjligt att införa åtgärder, som exempelvis sanering av marken innan föroreningen har nått grundvattnet. Detta ligger till grund för att tillrinningstidszonerna har ansatts till 100 dagar, 1 år och 5 år.

I stället för att beräkna tillrinningstid för samtliga föroreningskällorna beräknades avståndet från dricksvattenbrunnen som är ekvivalent med eftersökt tillrinningstid.

Tillrinningstidspoängen tilldelades från 1 till 4 enligt Tabell 13. Baserat på dessa avstånd ritades zoner in i *ArcMap* tillsammans med föroreningskällorna från vilket tillrinningspoängen kunde avläsas.

Tabell 13: Indelning för tillrinningstid med poängsättning.

Tillrinningstid	Poäng
>5 år	1
1 år-5 år	2
100 dagar-1 år	3
<100 dagar	4

Zonerna beräknades enligt "calculated fixed radius method" (CFR) i Ekvation 2 (U.S. Environmental Protection Agency, 1987). CFR är en simpel metod som även går under namnet "cylindermetoden", då akviferen antas vara cylinderformad. Metoden bygger på grundläggande hydrologiska principer och är lämplig att använda när all önskvärda data inte finns tillgänglig. De ingående parametrarna för beräkningarna redovisas i Tabell 14 nedan.

$$r = \sqrt{\frac{Q \cdot t}{\pi \cdot n \cdot H}} \quad (2)$$

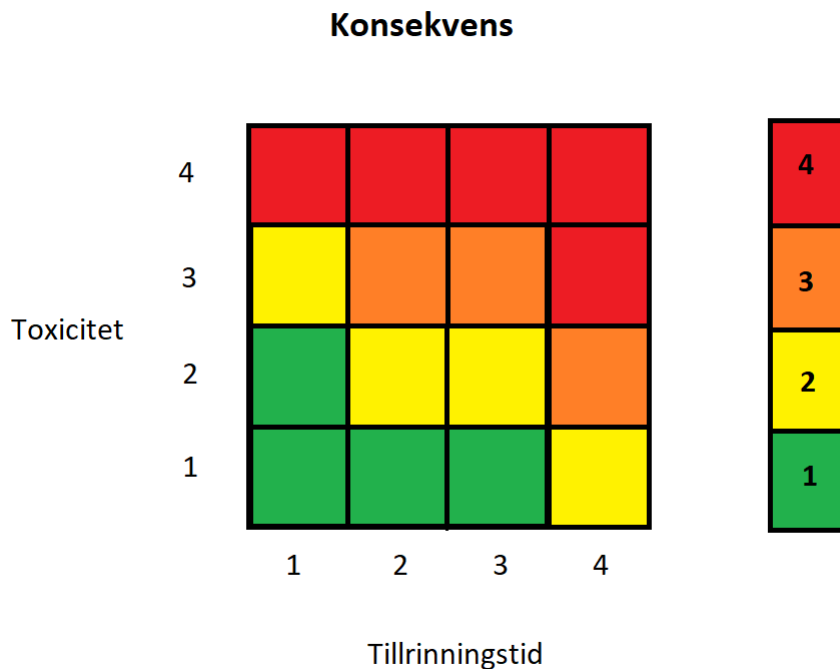
Där:

- Q = uttagsmöjlighet [m³/s]
- n = akviferens porositet
- H = akviferens djup [m]
- t = tillrinningstid [s]

Tabell 14: Ingående parametrar för beräkning av tillrinningstidszonerna.

Dricksvattenbrunn	Q [m ³ /s]	n	H [m]
1	0,006	0,17	17
2	0,0125	0,17	8
3	0,005	0,17	23
4	0,0125	0,17	13

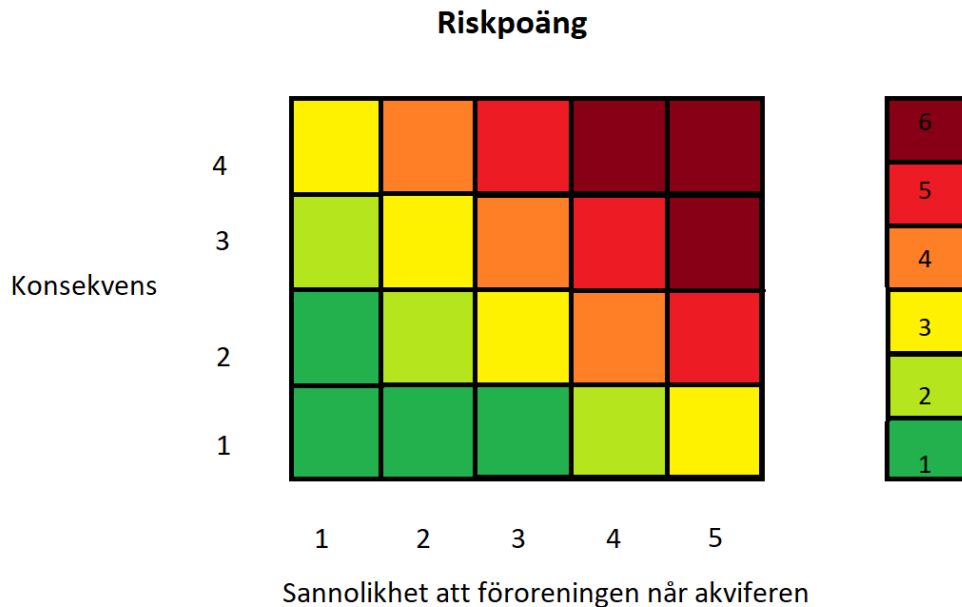
Konsekvenspoängen erhålls via bedömningsmatrisen nedan i Figur 13. Matrisen är viktad så att poängen för toxicitet är mer utslagsgivande. Denna viktning är gjord utifrån en försiktighetsprincip, där målsättningen är att katastrofala scenarion ska undvikas. Även om det finns lång tid att vidta åtgärder såsom att använda en reservvattentäkt så riskerar den aktuella vattentäkten att bli förorenad och obrukbar över en lång tid om det förorenande ämnet är svårnedbrytbart. Föroreningar som tilldelats toxicitetspoäng 4 innebär enligt definition akut risk för liv och hälsa, för vilken konsekvenspoäng 4 tilldelas oavsett poängsättning för tillrinningstiden.



Figur 13: Bedömningsmatris för konsekvenspoängen.

4.1.5 Riskpoäng

Den slutgiltiga riskpoängen för varje föroreningskälla erhålls genom att de respektive poängen för *sannolikhet att föroreningen når akviferen* och *konsekvens* kombineras i bedömningsmatrisen, Figur 14. Matrisen tar höjd för både höga sannolikhets- och konsekvensnivåer. Höga sannolikhetspoäng innebär att det är stor sannolikhet att grundvattnet kontamineras av en förorening och oavsett hur stor konsekvensen av den föroreningen bedöms vara så är det inte önskvärt. Om ett utsläpp av en annan förorening med högre konsekvenspoäng skulle inträffa, kan det leda till stor påverkan på grundvattentäkten.



Figur 14: Bedömningsmatris för slutgiltig riskpoäng.

4.2 Vattenskyddsområden och andra skyddsåtgärder

Avgränsningen för vattenskyddsområdena fastställdes utifrån slutsatser kring riskbedömningen. För de riskkällor som bedömts utgöra en allvarigare fara för grundvattnet har förslag på specifika åtgärder utöver de befintliga föreskrifterna tagits fram. De föreslagna vattenskyddsområdena jämfördes sedan med de befintliga i syfte att analysera skillnader.

4.3 Identifiering av grundvattentjänster

Grundvattentjänsterna har identifierats genom att analysera området, både visuellt och med hjälp av de framtagna kartorna från *ArcMap*. Tjänsterna delas upp i de fyra olika kategorierna som presenteras i kapitel 2 och baseras framför allt på markanvändning, omgivande vattendrag och hydrogeologin. Tjänsterna har därefter kategoriserats med hjälp av definitioner i rapporten från Kinell et al. (2014).

5 Resultat

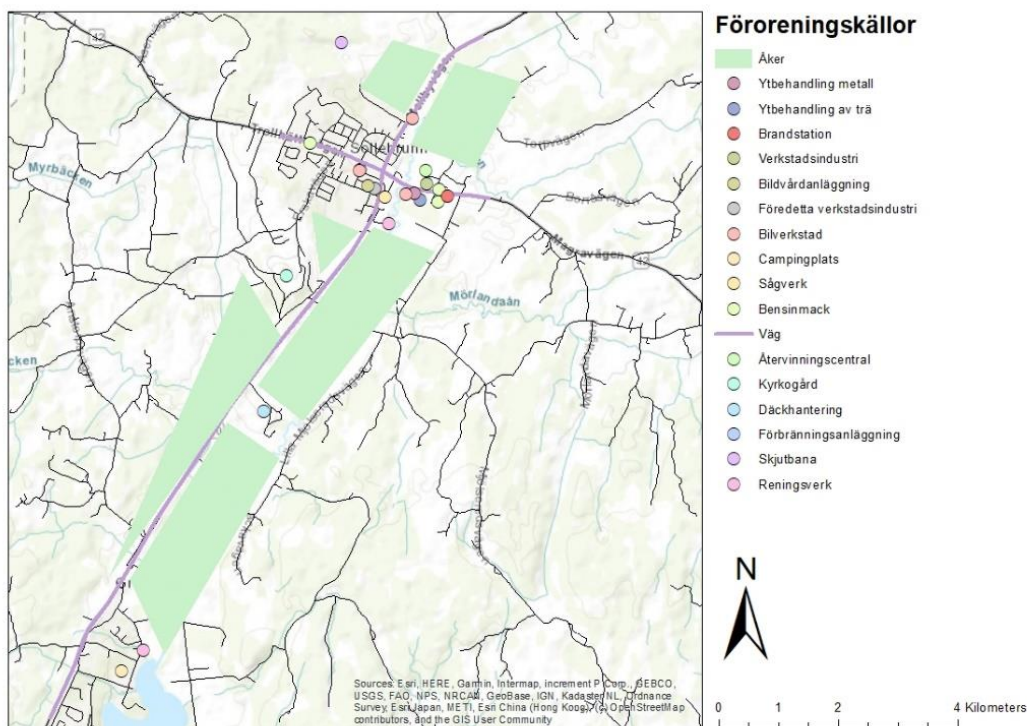
I kapitlet som följer nedan presenteras rapportens resultat kring de identifierade föroreningskällorna. Vidare redogörs resultaten kring områdets sårbarhet som erhöles genom DRASTIC-metoden. Slutligen presenteras resultaten för riskbedömningen där *konsekvensen* och *sannolikheten för att en förorening når akviferen* bedöms och samtliga föroreningskällor tilldelas en slutgiltig riskpoäng i enlighet med kapitel 4.

5.1 Identifierade föroreningskällor

I detta kapitel presenteras de föroreningskällorna som har identifierats i området Gräfsnäs-Sollebrunn och vilka aktiviteter samt händelser som potentiellt utgör en risk för grundvattentäkten. Efter platsbesök och studier av området har 15 olika typer av föroreningskällor identifierats och utvärderats. Deras geografiska placering visas i Figur 15.

Följande föroreningskällor har utvärderats:

- Avloppsreningsverk
- Bensinstationer
- Bilvårdsanläggning norr, väst och öst
- Brandövningsplats
- Däckhantering
- Förbränningsanläggning
- Jordbruk
- Kyrkogård
- Skjutbana
- Sågverk
- Verkstadsindustri
- Vägar
- Ytbehandling av metaller
- Ytbehandling av trä
- Återvinningscentral



Figur 15: Föroreningarnas geografiska placering i Gräfsnäs-Sollebrunn.

5.1.1 Avloppsreningsverk

I början av 1900-talet renades avloppsvattnet i syfte att minska spridning av sjukdomar och under senare tid togs även miljöperspektivet på allvar och fler reningsverk byggdes (Alingsås Kommun, 2021a). Att rena avloppsvatten är en grundläggande process för att förhindra utsläpp av föroreningar som kan påverka människor och natur negativt (Naturvårdsverket, u.d.-f). Trots detta finns det alltid en risk för att föroreningar kan läcka ut och påverka dricksvattnet. I denna rapport avses föroreningar från avloppsreningsverket att komma från läckage och bräddning i ledningarna. Själva reningsverket anses inte bidra med några direkta utsläpp vid normal drift.

De föroreningar som kan kontaminera avloppsvattnet kommer från olika hushåll (Naturvårdsverket, u.d.-a). Föroreningarna kan även komma från anläggningar för avfallshantering och bilvård samt industrier. I Sollebrunn har det observerats att det finns cirka fem olika typer av bilvårdsanläggningar, tre platser för drivmedelshantering och fem industrilokaler, som alla potentiellt kan påverka avloppsvattnet genom läckage. Föroreningarna kan sedan läcka ut från reningsverket och dess ledningar för att i sin tur kontaminera grundvattnet.

År 2010 skedde ett utbrott av *Cryptosporidium* i Östersunds dricksvatten där över 20 000 individer blev smittade (Smittskyddsinstitutet, 2011). Efter ett flertal analyser kunde det konstateras att det var avloppsvattnet som hade orsakat utbrottet. Detta berodde på två felkopplingar samt en omfattande bräddning till följd av stora mängder regn (Smittskyddsinstitutet, 2011). Vid en liknande händelse i området kring Gräfsnäs-Sollebrunn skulle grundvattentäkten kunna få motsvarande konsekvenser.

Avloppsreningsverket i Sollebrunn, se Figur 16, renar även vatten från Mellby, Gräfsnäs och Magra (Alingsås Kommun, 2021a). Avloppsreningsverket bidrar dock inte till några större utsläpp inom området. I ett tidigare arbete kunde det konstateras att reningsverket endast bidrog med cirka 2%

av utsläppen till den intilliggande sjön Anten (Andersson et al., 2013). Utsläppet från reningsverket påverkar också grundvattnet genom infiltrationen i marken.



Figur 16: Författarnas bild på avloppsreningsverket i Sollebrunn.

5.1.2 Bensinstationer

I området Gräfsnäs-Sollebrunn identifierades tre bensinstationer, se Figur 17, Figur 18 och Figur 19. Två mindre i östra Sollebrunn som är obemannade och en station i västra Sollebrunn som är bemannad och har en servicebutik. Samtliga undersökta bensinstationer ligger på hårdgjorda ytor med flertalet avrinningsbrunnar utplacerade, vilket minskar sannolikheten att små läckage av petroleumprodukter når permeabel mark. Vägdagvatten på bensinstationer, innehållande mikroplaster, petroleumprodukter och tungmetaller, är problematiskt ur utsläppssynpunkt. Vad vägdagvatten är och vad det innehåller kommer redogöras för i kapitel 5.1.12.

På bensinstationer förvaras stora volymer bränsle innehållande petroleumprodukter som kan leda till både kontinuerliga utsläpp och katastrofala utsläpp om en cistern eller en ledning skulle gå sönder. Vid vissa bensinstationer finns så kallade oljeavskiljare som skydd mot större utsläpp av olja (Stockholm Vatten & Avlopp, u.d.). I en oljeavskiljare utnyttjas skillnaden i densitet mellan oljeprodukter och vatten, vilket gör att de skadliga ämnena kan stoppas från att transporteras till marken. Någon information om bensinstationerna i Sollebrunn har denna teknik saknas och därför tilldelas sannolikhetspoängen efter en försiktighetsprincip.



Figur 17: Författarnas bild över en bensinstation i västra Sollebrunn.



Figur 18: Författarnas bild över en bensinstation i västra Sollebrunn.



Figur 19: Författarnas bild över en bensinstation i östra Sollebrunn.

5.1.3 Bilvårdsanläggning

I Sollebrunn finns tre bilvårdsanläggningar, varav en visas i Figur 20. Dessa går att hitta i norra, östra och västra Sollebrunn. Samtliga anläggningar erbjuder verkstadstjänster och biltvätt. Biltvätt är problematiskt ur miljösynpunkt då det ger upphov till stora mängder utsläpp (Bilprovningen, u.d.). I Sverige sker årligen över 30 miljoner biltvättar som ger upphov till utsläpp. Spillvattnet från biltvätt innehåller i stor utsträckning samma föroreningar som återfinns i vägdagvattnet, vilket redogörs för i kapitel 5.1.12. Det rör sig om petroleumprodukter och asfaltspartiklar innehållande PAH och BTEX, mikroplaster och tungmetaller. De främst förekommande tungmetallerna är koppar, zink, bly, krom, nickel och kadmium. Dessutom innehåller bilvårdsmedel flertalet kemikalier som kan vara farliga för människor och naturliv, avfettningsmedel innehållande aromatiska lösningsmedel är ett exempel på en sådan produkt (Karlstad kommun, 2020).

Även fast det är betydligt bättre att tvätta bilen i en bilvårdsanläggning än hemma, så är det inte ofarligt (Bilprovningen, u.d.). I moderna anläggningar rensas spillvattnet innan det når avloppsvattnet och minskar därmed utsläppen markant. Avloppsreningsverken är inte designade för att rena vattnet från samtliga föroreningar som biltvättar ger upphov till, utan kan i värsta fall till och med skada reningsprocessen.



Figur 20: Författarnas bild över en bilvårdsanläggning i västra Sollebrunn.

5.1.4 Brandövningsplats

Vid en brandövningsplats, se Figur 21, finns det en risk att högflourerade kemikalier, även kallat PFAS (Per- and Polyfluorinated Alkyl Substances), läcker ut till grundvattentäkten (Livsmedelsverket, 2013). Det kan även förekomma PFAS vid platser där räddningstjänst släkt bränder med hjälp av skum som innehåller PFAS (Livsmedelsverket, 2021d). PFAS är ett samlingsnamn för persistenta kemikalier som inte är biologiskt nedbrytbara. Från en brandövningsplats som ligger utanför Arlanda flygplats släpps det årligen ut cirka 1,3 kilogram utav högflourerade ämnen (Research institutes of Sweden, 2020). PFAS har en förmåga att minska kroppens förutsättningar till att bilda antikroppar mot virus, har visat sig vara reproduktionsstörande och misstänks vara cancerogent.

Myndigheten för samhällsskydd och beredskap (MSB), Naturvårdsverket och kemikalieinspektionen vill se minskat användande av brandsläckningsskum (Kemikalieinspektionen et al., 2016). Denna typ av släckningsmedel ska undvikas så länge det går, men kan vara nödvändigt vid omfattande vätskebränder (Kemikalieinspektionen et al., 2016). Efter användning av brandskum ska det samlas upp och skickas för destruktion medan brandresterna hanteras som farligt avfall (Kemikalieinspektionen et al., 2016). Vid brandövningsplatsen i Sollebrunn bedöms det vara en låg risk för att föroreningarna från brandsläckningsskummet kontaminerar grundvattnet. Däremot är de ämnen som skummet består av långlivade och riskerar att finnas kvar i marken under en längre tid (Salvidge, 2022). Brandsläckningsskum kan därför påverka mark och grundvatten över en lång tid och behöver därför kontrolleras.



Figur 21: Exempelbild på brandövningsplats. Från "File:Autobrand IJendoorn.JPG" av Fire Brigade Neder-Betuwe, base Ochten, Nederländerna är markerad med CC BY-SA 3.0.

5.1.5 Däckhantering

Intill riksväg 190, mellan Sollebrunn och Gräfsnäs ligger en däckhantering. Företaget fokuserar sitt arbete på återvinningen av fordonshjul (Redox miljöhantering AB, u.d.). Tjänsterna företaget tillhandahåller fokuserar på den totala återvinningen av fordonshjul, där hjulet separeras i rena materialgrupperingar.

Vid ett platsbesök hos företaget kunde det identifieras mycket stora mängder av däck som låg i direkt kontakt med marken, se Figur 22 och Figur 23. Den kemiska sammansättningen av ett däck består till största del av gummimaterial, textilfibrer, petroleumprodukter, ståltrådar och kimrök (Sood & Ziadat, 2014). Den syremängd som finns i interiören av däcken är i optimala förhållanden tillräcklig för att starta en brand (Oikonomou & Mavridou, 2009). Däcken består även av brandfarliga material, som i kombination med den optimala syremängden riskerar att antändas vid exempelvis ett blixtnedslag. Vid en brand kommer däcken generera mängder giftiga ämnen i både gas- och fast form tillsammans med en svart, tjock, giftig rök (Sood & Ziadat, 2014).

En däckbrand som är belägen på en avrinningsyta för grundvatten kan bidra till stora föroreningar och vid händelse av brand riskerar dessa föroreningar att infiltreras i marken och nå akviferen (Sood & Ziadat, 2014). Detta kan leda till stora hälsoeffekter på människor, exempelvis förhöjt blodtryck med efterföljande hjärtsjukdom, cancer samt stora negativa effekter på nervsystem, levern och njurarna.

Ett experiment har utförts med syftet att analysera däckens urlakning i kontakt med vatten (Duda et al., 2020). Experimentet gick ut på att sänka ner en mängd däck i en pool fylld med vatten med pH värdet 8.71, detta för att spegla vattenförhållandena i grundvatten och regn. Däcken lämnades sedan i poolen i 120 dagar där tester togs dag 0, 21, 68, 99 och 120. Resultaten av detta experiment visade att det inte var några signifikanta skillnader i vattenkvaliteten efter 120 dagar, därav avslutades experimentet. Däckens förvaring på marken antas därför inte påverka grundvattnet i sig, men om en brand skulle inträffa riskerar grundvattnet att kontamineras. Poängen för *sannolikheten för att en förorening når permeabel mark* baseras därför enbart på händelse av brand.



Figur 22: Författarnas bild av däckhantering mellan Sollebrunn och Gräfsnäs.



Figur 23: Författarnas bild av däckhantering mellan Sollebrunn och Gräfsnäs.

5.1.6 Förbränningsanläggning

Förbränningsanläggningen som identifierats återfinns i centrala Sollebrunn och visas i Figur 24. Från en förbränningsanläggning kan det ske utsläpp av svaveldioxid och kväveoxider, som båda är bidragande faktorer till försurningen av mark och vattendrag (Sveriges miljömål, 2020; Sveriges riksdag, 2018).

Till följd av försurningen har pH-värdet i vissa svenska vatten sjunkit till såpass låga nivåer att levnadsklimatet för vattenlevande djur och växter har försämrats drastiskt (Backlund, 1983). Vid hög grad av försurning kan det också förekomma höga halter av mangan, aluminium, kvicksilver och kadmium (Backlund, 1983). Mangan är en metall som människokroppen behöver för att överleva men för höga halter kan leda till skador på nervsystemet (European food safety authority, 2006). Höga halter av aluminium har visat sig ge negativa effekter på reproduktionen och personer med nedsatt njurfunktion har högre risk att drabbas av bland annat skelettskador och blodbrist (Livsmedelsverket, 2021a). Kadmium är ett persistent ämne och lagras under en lång tid i njurarna, vilket kan leda till att de tar skada (Livsmedelsverket, 2022b). Vid långvarig exponering för höga

halter av kadmium ökar även risken att drabbas för cancer. Höga halter av kvicksilver kan ge skador på foster då hjärnan och nervsystemet fortfarande utvecklas (Livsmedelsverket, 2022c).



Figur 24: Författarnas bild över förbränningsanläggningen.

5.1.7 Jordbruk

I det studerade området Gräfsnäs-Sollebrunn påträffas många jordbruksmarker. Dessa jordbruksmarker är lokaliserade längs med riksväg 190 och en av dessa jordbruksmarker visas i Figur 25.

Jordbruk bidrar till spridningen av bekämpningsmedel som medför risker för grundvattenkvalitén. Bekämpningsmedel kan delas in i två grupper: biocider och växtskydd (Naturvårdsverket, u.d.-b). Biocider används främst för att motverka eller förebygga att växter, djur och mikroorganismer orsakar skada på människors hälsa eller egendomar. Ett växtskyddsmedel används i sin tur huvudsakligen för att skydda växter inom jordbruk mot skadedjur, konkurrerade växter samt svampangrepp. Användningen av ett växtskyddsmedel eller en biocidprodukt som är tänkt att verka antibakteriellt eller antiseptiskt kan enbart ske ifall det är godkänt av Kemikalieinspektionen (Naturvårdsverket, u.d.-b).

Enligt svensk lag får substanser med skadliga egenskaper inte användas som biocider eller växtskyddsmedel (Livsmedelsverket, 2022a). Skadliga egenskaper innefattar i detta fall exempelvis att substansen kan lagras i kroppen, påverka den reproduktiva förmågan eller orsaka cancer. Tack vare dessa lagar kring vilka substanser som får användas som bekämpningsmedel anses rester av dessa medföra en låg hälsorisk för människor.

När det kommer till bekämpningsmedel får inte summahalten av alla analyserade bekämpningsmedel överskrida 0,5 µg/l i dricksvatten för att det ska klassas som tjänligt (Havs- och vattenmyndigheten & KompetensCentrum för Kemiska Bekämpningsmedel, 2014). Halten av ett enskilt bekämpningsmedel i dricksvattnet får heller inte överskrida 0,1 µg/l för att det ska klassas som tjänligt. Användningen av bekämpningsmedel i Västra Götaland låg 2010 på 89 ton aktiv

substans och överträffades endast av Skåne som hade en användning på 490 ton aktiv substans. Det utfördes 1407 prover på grundvatten i Västra Götaland under perioden 1986 – 2014, av dessa prover hade 4,5 procent en summahalt av växtskyddsmedel över den godkända gränsen 0,5 µg/l.

Det är inte bara jordbrukens användning av bekämpningsmedel som bidrar till en risk för grundvattenkvalitén. Jordbruk som används som produktion använder sig nästan alltid av gödsel i form av stall- och/eller mineralgödsel (Havs- och vattenmyndigheten, 2019). I Västra Götaland är andelen mark som förses med stallgödsel ungefär 60 procent. Att gödsla behöver inte innebära en ökad risk för kväveläckage till grundvattnet, så vida gödningen genomförs vid optimal tidpunkt och korresponderar med spannmålets förmåga att absorbera kväve. Vid överdosering finns gödselkväve kvar i marken efter skörd, vilket kan leda till kväveutlakning till grundvattnet.



Figur 25: Författarnas bild av jordbruksmark mellan Sollebrunn och Gräfsnäs.

5.1.8 Kyrkogård

Erska kyrkogård som är belägen strax söder om Sollebrunn visas i Figur 26. En kyrkogård bör anses vara en hälsofaror då det kan ha begravits en person som har burit på en farlig sjukdom vilket kan spridas till grundvattnet (Camper, 2014). Dock finns inget bevis på att spridning av patogener ifrån en begravningsplats ska ha skett under modern tid. Den största risken för spridning av patogener till dricksvattnet avser dräneringsvatten från kistbegravningar, medan dagvatten och vatten från byggnader har en låg risk. Med ett dräneringssystem minskar risken för kontaminering av grundvatten eftersom vattnet från kyrkogården leds bort (World Health Organization, 1998). För en välskött kyrkogård är därmed risken låg för att grundvattnet förorenas.



Figur 26: Författarnas bild av Erska kyrkogård.

5.1.9 Skjutbana

Den skjutbana som ligger strax ovanför Sollebrunn räknas som en småskalig skjutbana, se Figur 27 och Figur 28. De röda cirklarna markerar huset vid skjutbanan samt plasten där måltavlorna sitter. I en studie genomförd för en småskalig skjutbana i Norge visade det sig att grundvattnet hade höga värden av både metaller, som koppar och bly, och halvmetallen antimon (Okkenhaug et al., 2018). Rapporten redovisade också att det förmodligen tar lång tid för föroreningarna att nå grundvattnet. Skjutbanan som undersöktes i Norge har liknande förhållanden som skjutbanan i Sollebrunn och rapportens slutsatser anses därför vara relevanta.

Redan vid låga doser av bly kan ämnet vara giftigt för människor och djur, då det kan ge nervskador och leda till blodbrist (Naturvårdsverket, u.d.-d). En för hög halt av koppar kan ge akuta påverkningar på mag- och tarmkanalen och vid en långvarig exponering kan även levern ta skada (Livsmedelsverket, 2021c). Antimon har genom studier visat tendens till att vara cancerogent och att ämnet kan påverkat lungorna negativt (Vermont department of health, 2018).

Vid ett platsbesök på skjutbanan kunde det konstateras att skjutbanan inte längre verkar vara aktiv. Därför går det att anta att inga vidare föroreningar från skjutbanan kommer att ske, därav har ingen riskpoängsättning på skjutbanan gjorts. Dock kan det fortfarande finnas kvar rester från tidigare användning som kan påverka grundvattnet. Enstaka personer kan också fortfarande använda skjutbanan vilket medför att ytterligare förorening kan förekomma, men dessa skulle i så fall vara av den mindre storleken.



Figur 27: Författarnas bild över skjutbanans mål.



Figur 28: Författarnas bild över skjutbanans utgångsläge.

5.1.10 Sågverk

Sågverket som ligger i Sollebrunn visas i Figur 29. Cirka 750 utav Sveriges 4000 sågverk, både nuvarande men även tidigare, behandlar virket genom en metod som kallas dopkning (Sveriges geologiska undersökning, u.d.-a). Metoden använder sig av bland annat klorfenol för att förhindra blånadsskador hos virket (Sveriges geologiska undersökning, 2017). Klorfenol ger en oönskad biprodukt i form av dioxiner. Dioxiner är ett utav de farligaste ämnena som har upptäckts i dagens

samhälle och kan ge allvarliga långsiktiga skador (Livsmedelsverket, 2021b). Klorfenoler kan ge upphov till leverskador och är hormonstörande (Rehn & Johansson, 2017). Ämnet kan även irritera ögon, hud och luftvägar samt eventuellt vara cancerogent.



Figur 29: Författarnas bild över sågverket i Sollebrunn.

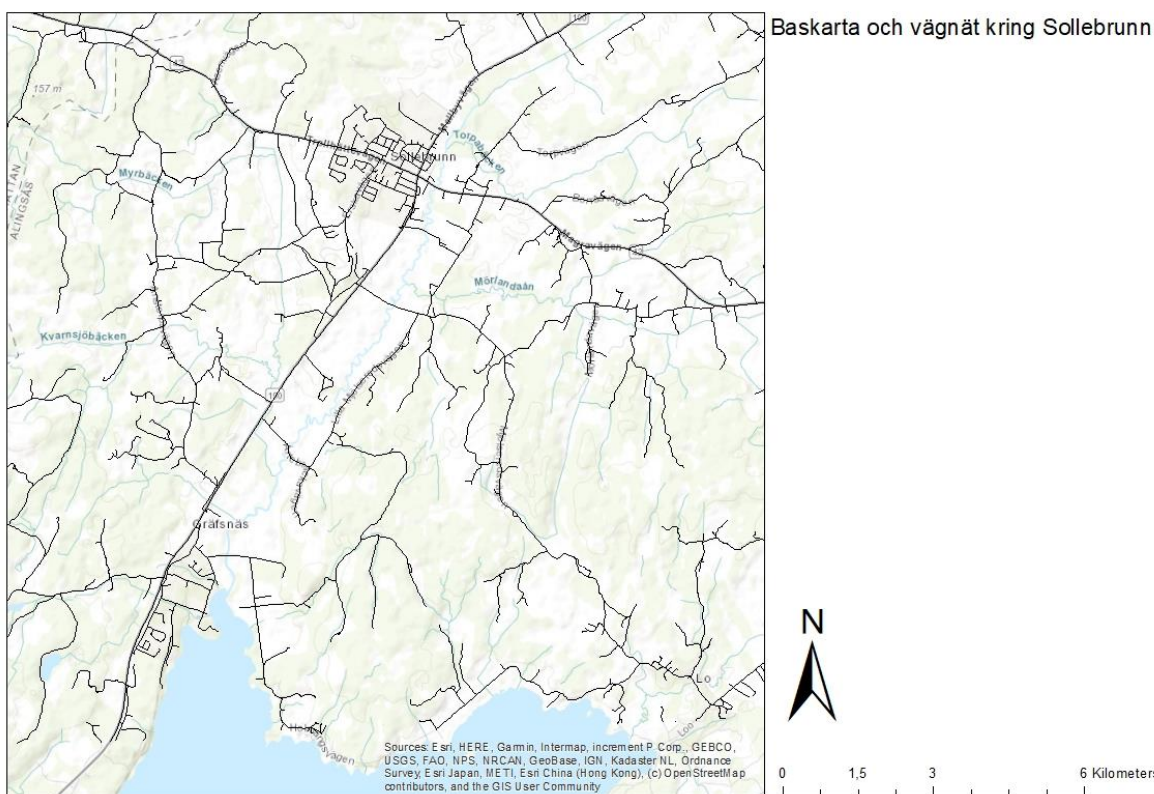
5.1.11 Verkstadsindustri med halogenerade lösningsmedel

I Sollebrunn identifierades en verkstadsindustri där halogenerade lösningsmedel används. Inandning av halogenerade lösningsmedel är det vanligaste sättet för föroreningen att nå människor, via exempelvis färg eller rengöringsmedel (Centers for Disease Control and Prevention, 2017). Föroreningen kan också sprida sig från industrier som tillverkar dessa ämnen samt förorenade avfallsanläggningar.

Via dricksvattnet kan halogenerade lösningsmedel nå människor genom att grundvattentäkten förorenas (Centers for Disease Control and Prevention, 2017). Vid en akut exponering av en stor mängd av ämnet kan det leda till hjärtproblem och skador på lever och njurar (Centers for Disease Control and Prevention, 2017). Det har även visat sig att fertiliteten hos kvinnor kan minska samt att risken för missfall ökar. Många halogenerade lösningsmedel är omvandlade till att vara mer vattenlösliga föreningar som på ett relativt enkelt sätt kan föras ut ur kroppen via urinet (Centers for Disease Control and Prevention, 2017). På grund av lösningsämnenas instabilitet har de svårt att vara beständiga i vatten och därmed är risken låg för att dricksvattnet förorenas.

5.1.12 Vägar

I närhet till grundvattentäkten Gräfsnäs-Sollebrunn går två större vägar, riksväg 190 och 42. Utöver de två större vägarna finns även många mindre vägar, se Figur 30. Vägtrafik ger upphov till flertalet föroreningar som kan utgöra hot mot grundvattentäkten (Connon L.E, 2016). Föroreningarna sprids via vägdagvattnet genom infiltration. Enligt Trafikverket (2011) så kallas det dagvatten som uppkommer på hårdgjorda ytor inom vägområdet för vägdagvatten. Infiltrationen av vägdagvattnet sker främst i diken vid sidan av vägen men kan även ske direkt genom vägbanken.



Figur 30: GIS-karta över vägnätet i området Gräfsnäs-Sollebrunn.

Tungmetaller är föroreningar som uppstår vid slitage av bromsbelägg, väglag och däck. Kadmium, zink, bly och koppar är problematiskt i detta fall (Trafikverket, 2011). Vägslitage kan även leda till utsläpp av polycykliska aromatiska kolväten (PAH). Spår av PAH återfinns i asfaltens bindemedel, bitumen. Vissa grupper av PAH-föroreningar är cancerogena och kan orsaka stor skada för både människor och djur (Kemakta Konsult AB & Institutet för Miljömedicin, 2017). På grund av riskerna med PAH finns riktvärden för hur höga halter som grundvattnet får innehålla för att få användas som dricksvattenkälla (Jönköping, u.d.).

Upp till 30 volymprocent av alla mikroplastföroreningar i hav, floder och sjöar kan härledas till slitage av däck (Sommer F, 2018). Mikroplaster är ett samlingsnamn för alla partiklar av plastmaterial som är upp till 5 millimeter. Beroende på hur mikroplasterna har uppstått, är det vanligt att dela in dem i två grupper, primär och sekundär mikroplast (Naturvårdsverket, u.d.-e). Den primära gruppen är mikroplast som har tillverkats för att exempelvis användas i plastindustrin eller till kosmetika medan den sekundära gruppen har uppkommit genom nedbrytning av större produkter som exempelvis däck. Det saknas idag kunskap om hur mikroplaster påverkar grundvattenkvalitén, främst på grund av kostnadsmässiga skäl, men även för att "protokoll" för testning och analys fortfarande är under utveckling (Lapworth et al., 2022). Enligt World Health Organization (WHO) är mikroplaster i dricksvatten sannolikt inte en hälsofara för människor, men att vidare forskning behövs för att med säkerhet kunna avfärdas.

Trafikolyckor och läckage från fordon är en ständigt närvarande risk som kan orsaka stor skada för grundvattnet. Det gäller både för transporter av farligt gods och "vanlig trafik" (Trafikverket, 2020). Farligt gods är ämnen eller föremål som vid felaktig behandling kan orsaka stor skada för människor och miljö, i vilket grundvattentäcker ingår (Myndigheten för samhällsskydd och beredskap, 2011). Vanligast är olyckor och läckage av petroleumprodukter som inkluderar bensin och diesel. Petroleumprodukter är en blandning av kolväten i fast, flytande och gasform, plus ytterst små

fraktioner av kväve, syre, svavel och metaller (Logeshwaran et al., 2018). Det finns många typer av petroleumprodukter och ämnen som är problematiska ur miljö- och hälsosynpunkt, bland annat PAH och BTEX. BTEX är ett samlingsnamn för ämnen med en bensenring i den molekylära strukturen, exempelvis bensen, toluen och naftalen. Dessa ämnen är mycket giftiga och cancerogena. Ett ämne med flera bensenringar kallas för PAH (Naturvårdsverket, 1998).

Varje år sprids över 300 000 ton natriumklorid ut över Sveriges vägnät och är den förorening från vägar som tydligast påverkar grundvattnet (Mellqvist & Ojala, 2004). Natriumklorid i dricksvatten är ingen fara för människors hälsa men kan ändå påverka vattenkvaliteten negativt. Förutom salt smak på dricksvattnet korrelerar ökade halter av NaCl i grundvattnet med ökat slitage av vattenledningar, ökad hårdhet och bildandet av lösliga komplex med metaller. Om kloridhalterna är förhöjda i en grundvattentäkt kan det indikera att det finns ett hydrauliskt samband mellan väg och grundvatten (Mellqvist & Ojala, 2004). Om ett hydrauliskt samband existerar så innebär det att andra föroreningar, med högre toxicitet, från vägen kan sprida sig till grundvattnet.

I riskbedömningen bedöms vägarna i Sollebrunn efter två utsläppsscenario: kontinuerliga utsläpp och olyckor. De kontinuerliga utsläppen är mikroplaster, vägsalt, små läckage samt slitage av väglag och fordon. Olyckor avser händelser där stora mängder av farliga ämnen når permeabel mark, vilket både inkluderar "vanlig trafik" och transporter med farligt gods.

5.1.13 Ytbehandling av metaller

I Sollebrunn ligger en verksamhet för ytbehandling av metaller, se Figur 31. Industrier där ytbehandling av metaller sker är nödvändigt för att förlänga metallers livslängd (Tikkurila Sverige AB, u.d.). Denna metod används ofta på metaller som ska användas till exempelvis konstruktionsmaterial och komponenter till fordon (European Commission, 2006). Ytbehandling av metaller tillämpas även i exempelvis fordonsmotorer för att minska bränsleåtgången eller öka säkerheten i fordons bromssystem.

Ytbehandling av metaller innefattar en mängd olika processer där föreningar kan bildas, exempelvis, termiska-, fysikaliska-, mekaniska-, kemiska-, och elektrolytiska processer (Bohgard, 2011). Föroreningarna som bildas kan vara en blandning av lösningsmedel, EDTA, metaller eller cyanider.

Risken för kontaminering av grundvattnet vid ytbehandling av metaller kommer från konsumtionen av råmaterial och utsläpp av fasta och flytande ämnen till mark och grundvatten (European Commission, 2006). Traditionellt har ytbehandling av metaller associerats med stor vattenanvändning vilket leder till en våt arbetsmiljö. De flesta företag inom branschen har numera frångått detta arbetssätt. Kemikalierna som används i processen kan potentiellt bidra till en miljöfara och vara skadliga för grundvattnet.



Figur 31: Författarnas bild av lokalen för ytbehandling av metaller.

5.1.14 Ytbehandling av trä

Den verkstad med ytbehandling av trä som ligger i Sollebrunn visas i Figur 32. Trä är inte ett väderbeständigt material utan kommer ta skada vid långvarig exponering av fukt eller regn (Nordberg & Stenberg, 2005). För att göra träet beständigare mot fukt och regn kan det impregneras, vilket leder till att nedbrytningsprocessen av materialet avtar eller upphör helt. Vid en verkstadsindustri som är ämnad för ytbehandling av träprodukter används medel som innehåller både oorganiska och organiska ämnen samt olika metaller (Nordberg & Stenberg, 2005). Arsenik och oorganiska arsenikföreningar, kreosot, dioxin samt koppar är exempel på ämnen som impregneringsmedlen kan innehålla.

Arsenik är ett cancerframkallande ämne som vid en långvarig exponering kan ge upphov till tumörer, hjärt- och kärlsjukdomar samt nervskador (Naturvårdsverket, u.d.-c). Även kreosot är ett cancerframkallande ämne och är farligt över en lång tid efter att träet har behandlats (Kemikalieinspektionen, 2022). Dioxiner är bland de farligaste ämnena som är kända (Livsmedelsverket, 2021b). Vid en exponering av dioxiner i tidig ålder kan den manliga reproduktionen påverkas, det kan också påverka immunförsvaret och hjärnans utveckling. Koppar är ett ämne som kroppen behöver för att kunna fungera normalt, men som vid för höga doser kan ge problem med mag- och tarmkanalen och, över tid, leverskador (Livsmedelsverket, 2021c).



Figur 32: Författarnas bild över verksamheten med ytbehandling av trä.

5.1.15 Återvinningscentral

Belägen i nordöstra Sollebrunn ligger en återvinningscentral som har syftet att ta hand om avfallet från hushållen i samhället. Avfall som ackumuleras i större mängder som exempelvis objekt av trä och metall sorteras i containers som hålls stängda när avfall inte slängs. Mer miljöfarliga objekt som exempelvis batterier sorteras och hanteras i ett separat hus på området, se Figur 33. Själva återvinningscentralen är belägen på hårdgjorda ytor med strategiskt placerade brunnar för avrinning.

Slutsatsen som kan dras av detta är att återvinningscentralens dagliga verksamhet inte utgör någon fara för grundvattnet. Det som dock kan utgöra en fara är en potentiell brand i anläggningen. Bränder i återvinningscentraler är inte okänt, de 5 senaste åren inträffade 127 bränder i svenska återvinningscentraler, varav 4 av dessa bränder bidrog till inträffad miljöskada i området (Myndigheten för samhällsskydd och beredskap, u.d.).

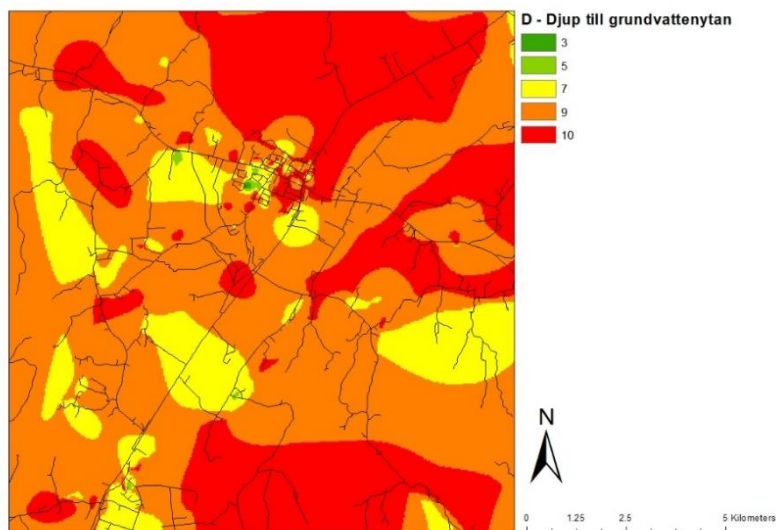


Figur 33: Författarnas bild av återvinningscentralen i Sollebrunn.

5.2 Slutliga sårbarhetskartor

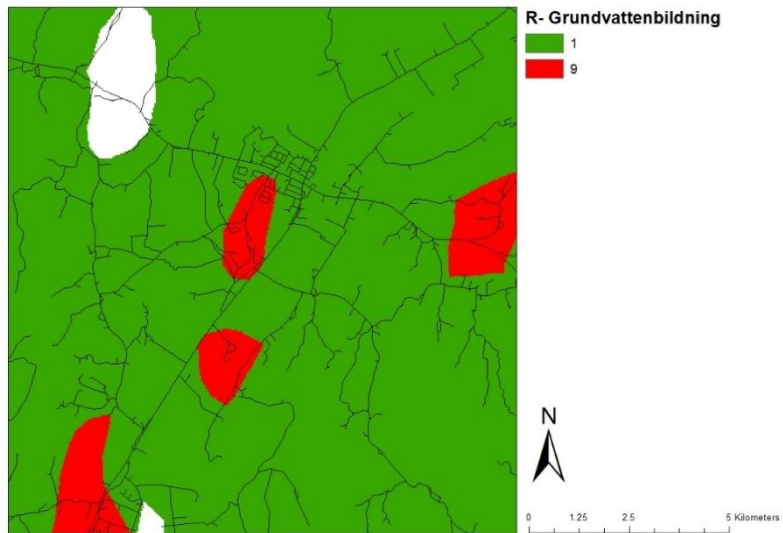
Nedan presenteras resultatet för sårbarhetsanalysen som gjordes med metoden DRASTIC. De olika parametrarna utvärderas med hjälp av *ArcMap*. Färgen rött i kartorna tyder på hög sårbarhet, medan grönt visar på låg sårbarhet av grundvattnet.

Den slutgiltiga kartan för djupet till grundvattenytan (D) i Figur 34 visar att det inte är något stort djup till grundvattenytan och det endast är små partier som erhåller lägre poäng. Kartan visar givna poäng enligt DRASTIC och inte antalet meter till grundvattenytan.



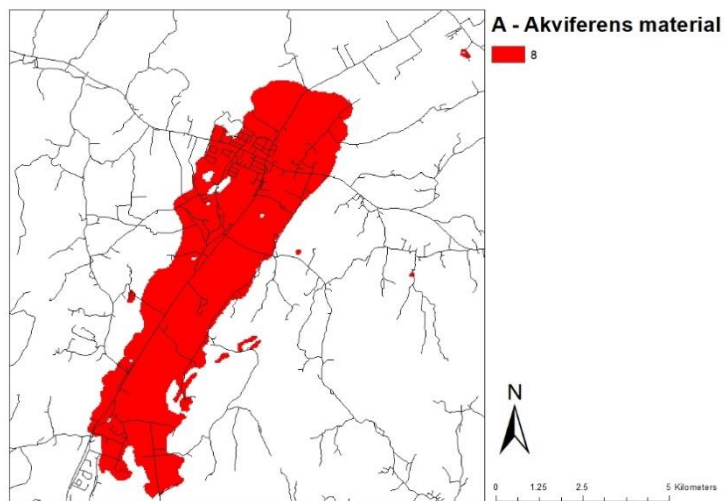
Figur 34: Bedömning av djup till grundvattenytan.

Den slutliga kartan för grundvattenbildningen (R) fås i *ArcMap* enligt Figur 35. Den visar att grundvattenbildningen är stor i de röda områdena som består av isälvssediment och morän. Detta innebär att mycket ytvatten kan infiltreras och bli grundvatten där. Stora delar av området är täckt av lera och tilldelas där lägst poäng.



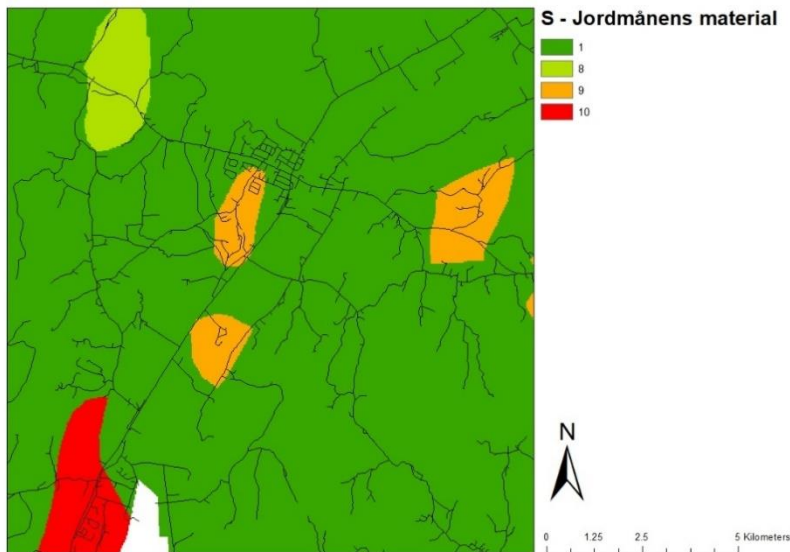
Figur 35: Karta över grundvattenbildning.

Vid undersökningen av kornstorlek och akviferens material (A) resulterar det i ett värde på -1 vilket enligt SGU betyder att ingen bedömning har gjorts på området. Genom att istället observera borrhål har bedömning gjorts att akviferen består av sand och grus (Sveriges geologiska undersökning, u.d.-e), därav tilldelas akviferen poäng 8, se Figur 36.



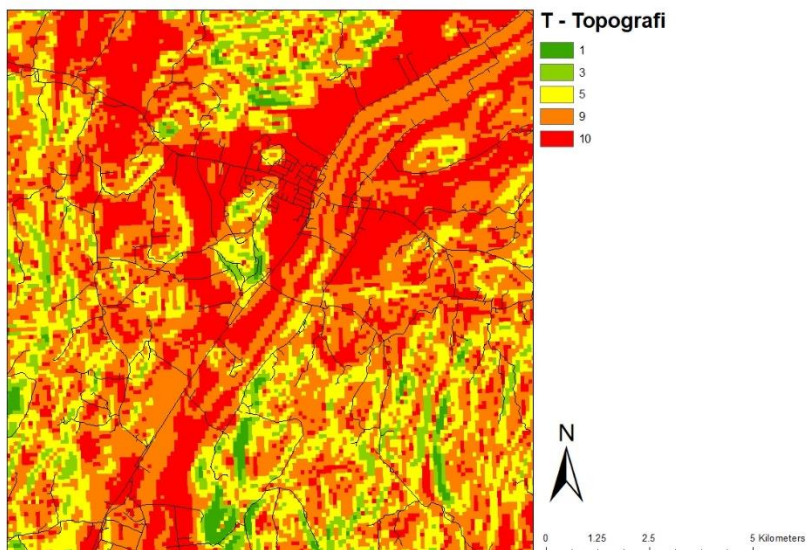
Figur 36: Karta över akviferens material.

I Figur 37 visas en karta med resultatet av bedömningen av jordmånens material (S). Stora delar av området består av lera, som visas i mörkgrönt, vilket hindrar föroreningar att transporteras ner till grundvattnet.



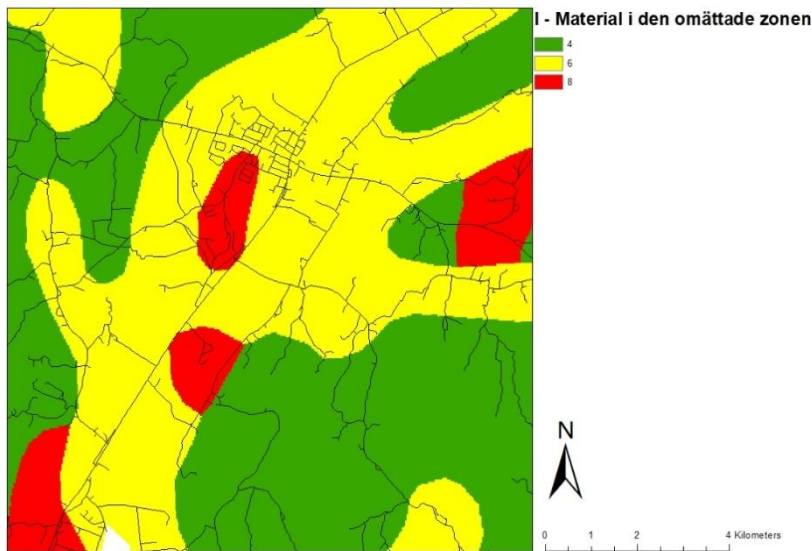
Figur 37: Karta över jordmånens material.

Figur 38 visar poängsättningen av markens topografi (T). Det är ett plant område vilket leder till att stora delar av området får höga poäng.



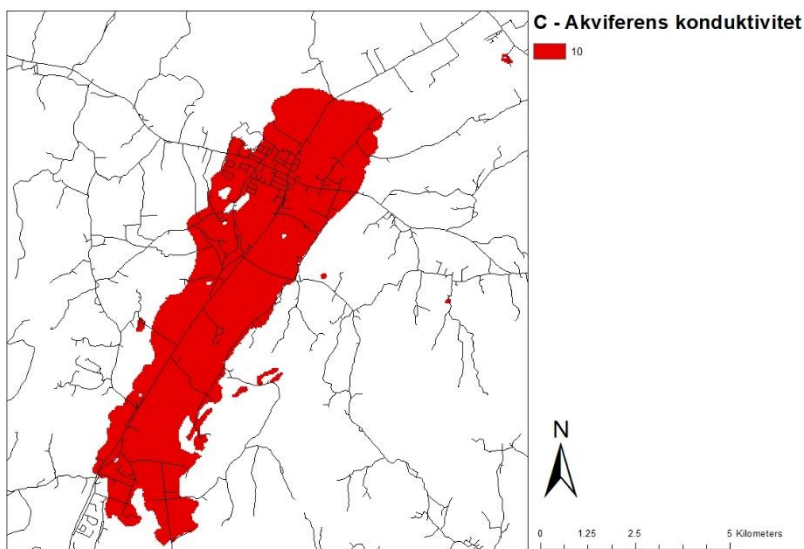
Figur 38: Karta över topografin.

Den slutliga kartan för materialet i den omrättade zonen (I) ses i Figur 39. Stora delar består av sand och grus med betydande del silt och lera som ges medelhöga poäng. Områdena där berg finns i jordmånerna tilldelas låga poäng medan de små partierna med isälvsediment tilldelas höga.



Figur 39: Karta över materialet i den omättade zonen.

I Figur 40 presenteras karta över akviferens konduktivitet (C). Då olika typer av sand antas i hela akviferen med olika konduktivitet blir bedömningen svårare. Därmed tilldelas akviferen högsta poäng, 10, för att ta höjd för större kornstorlekar.



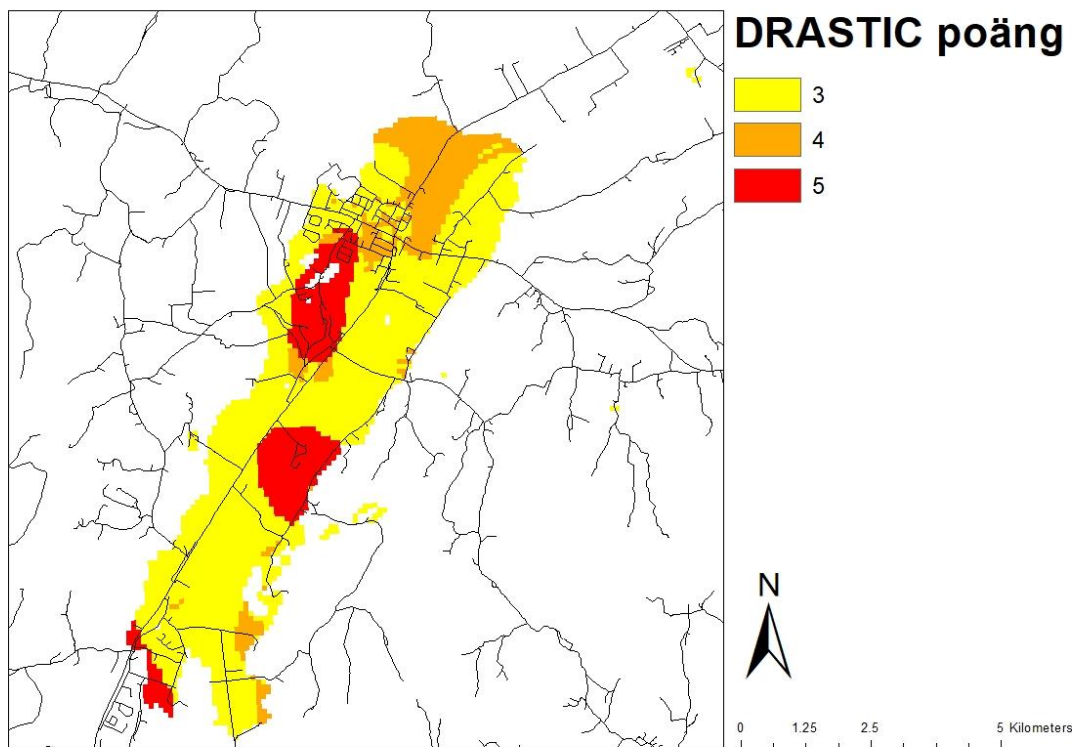
Figur 40: Karta över akviferens konduktivitet.

Vid sammanslagningen av de ovanstående parametrarna resulterar det i att DRASTIC-indexen över området hamnar mellan 110 och 208. Indexen delas in i intervall enligt Tabell 15 där det sker en ökning med 40 för varje steg. Indelningen har gjorts utefter att det minsta möjliga poäng som kan uppnås är 26 och det maximala 226.

Tabell 15: Indelning av DRASTIC-index.

DRASTIC-index	Poäng
<66	1
66 - 106	2
106 - 146	3
146- 186	4
>186	5

Den slutliga kartan över sårbarheten presenteras i Figur 41. Störst sårbarhet är i de rödmarkerade områdena och minst i de gula.



Figur 41: Slutlig sårbarhetskarta.

5.3 Resultat av riskbedömning

Nedan presenteras resultatet av de parametrar som ingår i riskbedömningen och det slutgiltiga riskvärdet för samtliga föroreningskällor.

Zonerna för tillrinningstiden har beräknats enligt kapitel 4.1.4 och resultatet visas i Tabell 16. Samtliga brunnar ligger inom områden med samma jordart, däremot varierar djupet på akviferen och uttagsmöjligheten inom akviferen. Det är framför allt de två sistnämnda parametrarna som gör att resultatet skiljer sig för de fyra uttagsbrunnarna.

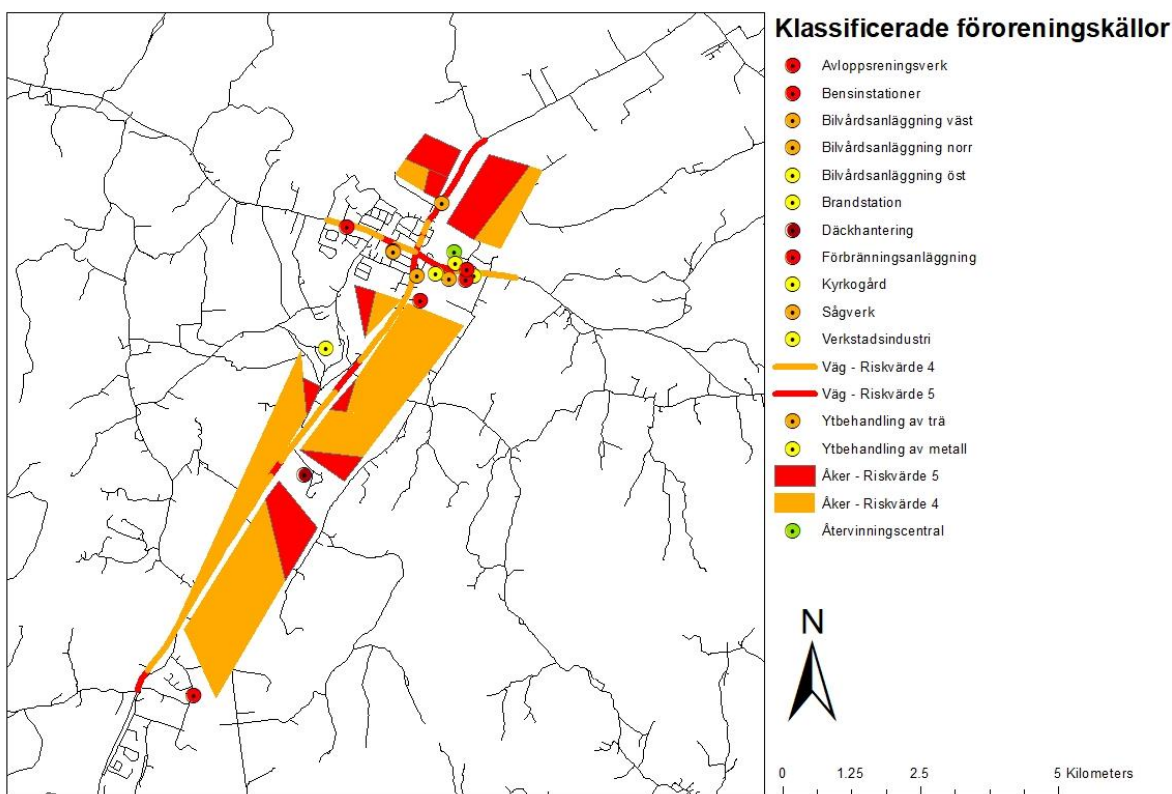
Tabell 16: Tillrinningstid för uttagsbrunnarna.

	Radie (m)		
	100 dagar	1 år	5 år
Brunn 1	76	144	323
Brunn 2	159	304	679
Brunn 3	59	113	253
Brunn 4	124	238	533

I Tabell 17 redovisas resultatet för samtliga parametrar för respektive föroreningskälla samt den slutgiltiga riskpoängen. Föroreningskällornas poäng för *toxicitet* och *sannolikhet att föroreningen når permeabel mark*, som har bedömts baserat på tillgänglig information medan poäng för tillrinningstid har beräknats och markens sårbarhet baserats på Figur 41. Parametrarna har kombinerats i enlighet med metoden som beskrivs i kapitel 4.1.5. I Figur 42 presenteras vart de kritiska källorna ligger och de har även färgkodats utefter risk.

Tabell 17: Uträkning av totalpoäng för de olika föroreningskällorna.

Föroreningskälla	Toxicitet	Tillrinningstid	Konsekvens	Sannolikhet att föroreningen når permeabel mark	Markens sårbarhet	Sannolikhet att föroreningen når akviferen	Riskpoäng
Avloppsreningsverk	4	1	4	2	3	3	5
Bensinstation	4	1	4	3	3	3	5
Bilvårdsanläggning (norr och väst)	3	1	2	3	4	4	4
Bilvårdsanläggning (öst)	3	1	2	3	3	3	3
Brandövningsplats	3	1	2	3	3	3	3
Däckhantering	4	4	4	2	5	5	6
Förbränningsanläggning	3	1	2	1	4	3	3
Jordbruk	2	2	2	4	3/4/5	4/5/5	4/5/5
Kyrkogård	1	2	1	3	5	5	3
Sågverk	3	1	2	2	3	3	3
Verkstadsindustri med halogenerade lösningsmedel	3	1	2	2	3	3	3
Väg - kontinuerligt utsläpp	2	3	2	4	3/4/5	4/5/5	4/5/5
Väg - olycka	4	3	4	3	3/4/5	3/4/5	5/6/6
Ytbehandling av metall	3	1	2	1	4	3	3
Ytbehandling av trä	4	1	4	1	3	2	4
Återvinningscentral	2	1	1	3	4	4	2



Figur 42: Klassificerade föroreningskällor.

5.4 Skyddsåtgärder för grundvattentäkten Gräfsnäs-Sollebrunn

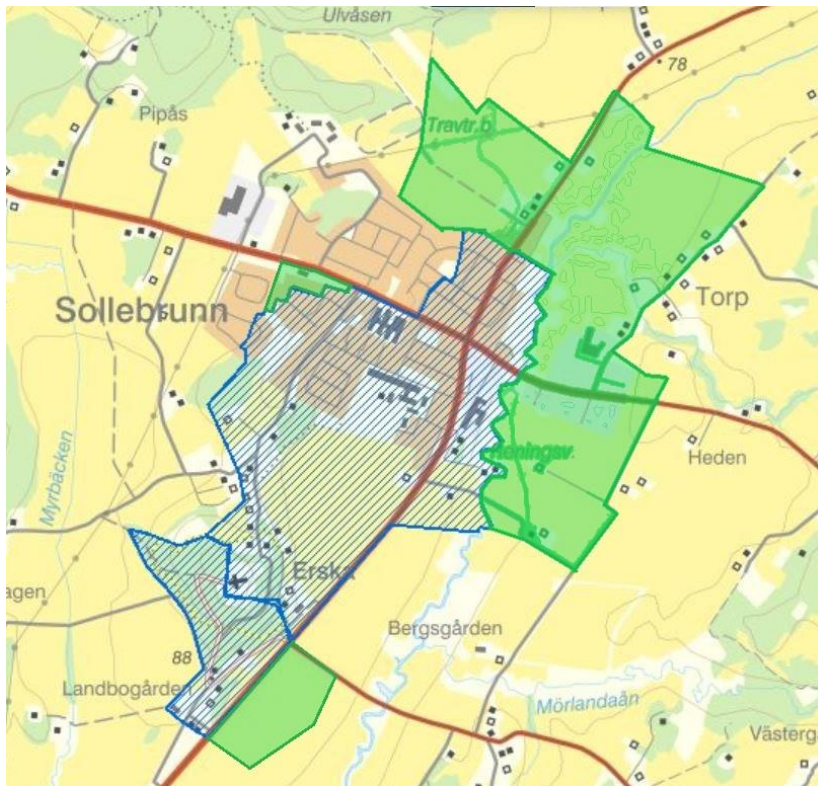
För att skydda grundvattentäkten bör ett vattenskyddsområde utformas med hänsyn till den genomförda riskbedömningen i området. Nedan ges förslag på hur det skulle kunna ändras jämfört med tidigare vattenskyddsområde. I Figur 42 visas det var de kritiska riskerna återfinns. De höga riskerna markerat i mörkrött, rött och orange anses behöva vara i ett vattenskyddsområde med tillhörande skyddsföreskrifter och eventuellt ytterligare åtgärder.

5.4.1 Vattenskyddsområde

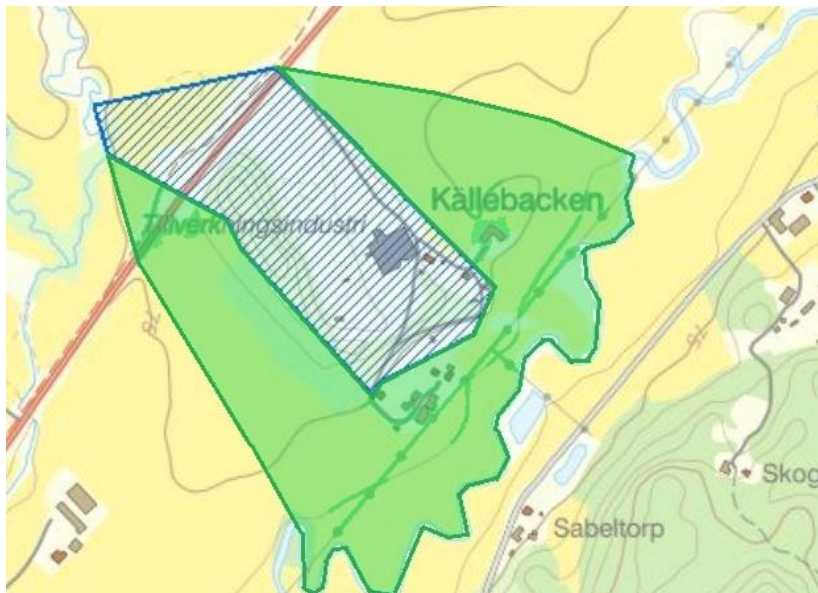
Jämfört med nuvarande skyddsområde ges det förslag på att utöka och ändra zonerna till endast primära. En zon gör det mer tydligt för ägare och myndigheter vad som gäller i området (Havs- och vattenmyndigheten, 2021). I Gräfsnäs ändras två tertiära zoner till primära, en vid däckhanteringen och en vid Erska kyrka enligt Bilaga 2. I det befintliga vattenskyddsområdet finns vattentäktszoner runt brunnarna som är ett inhägnat område. I detta område får endast vattenverksamhet förekomma, detta innebär att inga andra verksamheter än de som rör dricksvattnet får ske på platsen (Alingsås Kommun, u.d.-a).

I Sollebrunn utökas vattenskyddsområdet förslagsvis nordöstligt enligt Figur 43 för att täcka stora riskkällor jämfört med det befintliga området enligt Bilaga 3. Vid Erska kyrka expanderar området öster ut för att inkludera väg och åker. Vid däckhanteringen förstoras området enligt Figur 44 så att åkern på sårbar mark täcks. Vid Gräfsnäs utökas området söder ut för att täcka reningsverket och väg enligt Figur 45. Dock tas en bit av det befintliga vattenskyddsområdet i den norra delen för att det inte fyller någon funktion. I det befintliga vattenskyddsområdet ingår många av de kritiska riskkällorna i Sollebrunn. De mindre kritiska källorna är gula, gröna och mörkgröna. Dessa prioriteras inte att vara i vattenskyddsområdet, men i enstaka fall kan åtgärder behövas för dessa. Även för jordbruksmark och väg som är orangefärgat ges förslag på åtgärder i kapitel 5.4.3 i stället för att ha

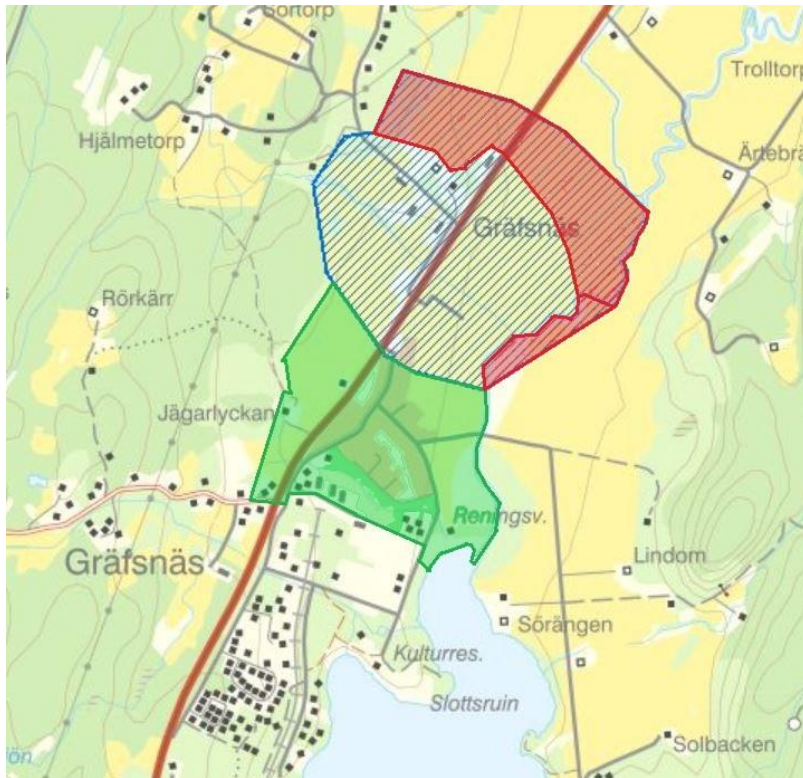
dessa stora ytor i ett vattenskyddsområde. För övriga källor, som är de mest kritiska, inkluderas de i vattenskyddsområdena. Det är en fördel om vattenskyddsområdet är utefter gränser som går att identifiera, som till exempel vägar, ledningar, vattendrag och åkrar (Havs- och vattenmyndigheten, 2021). Därför har de utökade området försökt anpassas till detta.



Figur 43: Förslag på vattenskyddsområde för Solliebrunn. Det gröna området innebär en utökning av vattenskyddsområdet. Bakgrundsbild från Skyddad natur, Naturvårdsverket (<https://skyddadnatur.naturvardsverket.se/>).



Figur 44: Förslag på vattenskyddsområde vid Smörkullen. Det gröna området innebär en utökning av vattenskyddsområdet. Bakgrundsbild från Skyddad natur, Naturvårdsverket (<https://skyddadnatur.naturvardsverket.se/>).



Figur 45: Förslag på vattenskyddsområde för Gräfsnäs. Det gröna området innebär en utökning och det röda innebär en minskning av vattenskyddsområdet. Bakgrundsbild från Skyddad natur, Naturvårdsverket (<https://skyddadnatur.naturvardsverket.se/>).

5.4.2 Nuvarande skyddsföreskrifter

När ett vattenskyddsområde utförs bör tillhörande skyddsföreskrifter finnas (Havs- och vattenmyndigheten, 2021). Utdrag av nuvarande skyddsföreskrifter enligt Tabell 18 styr bland annat förvaring av farliga ämnen i både Gräfsnäs och Sollebrunn vilket är relevant för de riskkällor som tidigare har tagits upp (Alingsås Kommun, u.d.-a, u.d.-b).

Tabell 18: Skyddsföreskrifter för grundvattentäkten i Gräfsnäs och Sollebrunn. Baseras på Alingsås Kommun (u.d.-a) och Alingsås Kommun (u.d.-b).

Gräfsnäs	Sollebrunn
Förbjudet att hantera mer än 250 liter petroleumprodukter och andra skadliga ämnen för grundvattnet.	Hantering av större mängd skadliga ämnen till exempel petroleumprodukter måste ske efter anmälan/ tillstånd från Miljöskyddsnämnden.
Hantering av kemiska bekämpningsmedel är förbjudet.	Tillstånd vid hantering av bekämpningsmedel krävs.
Förbud mot hantering av växtnäringsämnen.	Hantering och spridning av gödsel och slam kräver tillstånd eller att det inte påverka grundvattenkvalitén.
Upplagning av till exempel flis utan täckning över 1 år är förbjudet och även snö från trafiken utanför zonen är förbjudet.	Upplag av flis utan täckning kräver anmälan.
Förbjudet med nyetablering av infiltrationsanläggning för spill- och avloppsvatten.	Får ej ske utsläpp av avlopp- och spillvatten. Även upplag av avfall är förbjudet.
Förvaring av vägsalt, asfalt och oljegrus som är otät är förbjuden.	Tillstånd för till exempel lagring av asfalt och vägsalt krävs.
Nyetablering av energianläggning är förbjudet.	Energianläggningar får ej etableras eller kräver tillstånd.
Mer omfattande schaktningsarbete utan tillstånd är förbjudet.	
	Där transport av skadliga ämnen som petroleum ska vägen ha skyddsanordning eller övriga skyddsåtgärder. Zon B har förbud mot transport av farliga ämnen.
	Tillstånd behövs om verksamhet med risk för förorenande av grundvattnet ska etableras.
	Anmälan krävs för täktverksamhet och förbud i zon A och B.

5.4.3 Skyddsåtgärder för de mest allvarliga riskerna

För de mest allvarliga riskerna kan det även behöva införas riktade åtgärder mot en specifik källa utöver föreskrifterna för vattenskyddsområdet. Nedan ges förslag på åtgärder för föroreningskällorna med riskpoäng 4, 5 och 6 och vad som bidrar till de höga poängen.

Avloppsreningsverk – 5

Poängen kommer från ett högre värde för *konsekvens* sammanslaget med ett medelhögt värde på *sannolikhet att föroreningen når permeabel mark* och *markens sårbarhet*. Det kan åtgärdas delvis genom tätning av rör och regelbundna kontroller för att minska risken för läckage. Föreskrifterna för Gräfsnäs beskriver att nyetablering är förbjudet (Alingsås Kommun, u.d.-a), vilket därmed minskar risken för förorenat grundvatten från avloppsreningsverket.

Bensinstation – 5

Det höga värdet beror främst på den höga poängen för *toxicitet*. Det är svårt att minska på ett ämnes toxicitet, däremot kan mängden som hanteras och risken för läckage regleras.

Bilvårdsanläggning väst och norr – 4

Dess poäng beror främst på ett högt värde för *sannolikhet att föroreningen når permeabel mark* och *markens sårbarhet*. Åtgärder som kan införas är bland annat att förbjuda vissa medel som innehåller särskilt farliga ämnen. Det går dessutom att förhindra att spillvattnet inte når grundvattnet genom att implementera avrinningsbrunnar där spillvattnet hanteras och renas.

Däckhantering – 6

Denna föroreningskälla har erhållit maximal riskpoäng. Vilket beror på att maximala poäng har delats ut för *toxicitet*, *tillrinningstid* och *markens sårbarhet*. Då däckhanteringen är en kritisk föroreningskälla sett till markförhållanden och toxicitet kommer omfattande åtgärder behövas för att minska riskpoängen. Exempelvis skulle däckförvaringen kunna ske i en skyddad anläggning för att minimera både spridning av föroreningar och risk för eventuell brand.

Jordbruk – 4/5/5

Poängen beror på att åkermarken går igenom olika zoner som har olika värden för *markens sårbarhet*. Utsläpp av föroreningar från jordbruket sker kontinuerligt och har därför tilldelats maximal poäng för sannolikhet att föroreningen når permeabel mark. För att minska riskpoängen är en möjlig åtgärd att reglera vilka typer av gödnings- och bekämpningsmedel som får användas och att dessa ska vara godkända enligt lagarna som tas upp i kapitel 5.1.7.

Vägar – 4/5/5

De olika värdena beror på att vägnätet sträcker sig över samtliga poängområden för markens sårbarhet. Historiskt sett så har vägsalt använts mer än vad som är nödvändigt (Mellqvist & Ojala, 2004). För att åtgärda detta går det därför att minska mängden vägsalt alternativt implementera en annan halkbekämpningsmetod. Vägsalt kan ersättas med sand, vilket skulle minska risken att grundvattentäkten förorenas (Trafikverket, 2022).

Väg olycka – 5/6/6

De höga riskpoängen beror på höga poäng för *toxicitet* och *markens sårbarhet*. Beroende på var en eventuell olycka sker, kan poängen för *markens sårbarhet* variera. Poängen för *sannolikhet att föroreningen når permeabel mark* baseras enbart på olycksstatistik för liknande vägar och kan därför minskas vid implementering av säkerhetsåtgärder. Ett flertal studier, från bland annat Norge, Kanada och Australien, har visat på att risken för olyckor minskar vid användning av fartkameror (Willson et al., 2010). Dessutom kan en minskad hastighet innebära att risken för att en olycka ska inträffa reduceras ytterligare (Lee et al., 2006). Den nuvarande hastigheten för de större vägarna i Gräfsnäs och Sollebrunn ligger på 70–80 km/h. Hastigheten skulle kunna minskas till 60–70 km/h och fartkameror kommer även sättas upp längs sträckorna. Vid behov av vidare åtgärder går det att

eventuellt bredda vägbanan eller installera vägräcken för att öka säkerheten och avståndet mellan fordon som transporteras på vägbanan.

Ytbehandling av trä – 4

Maximal poäng för *toxicitet* är den största bidragande faktorn till en hög riskpoäng. Detta kan förbättras genom att bland annat använda miljöcertifierade medel.

Sammanfattningsvis innefattas nästintill alla åtgärder som tas upp ovan av de föreskrifter som redan existerar för vattenskyddsområdena. De föreskrifter som kan införas är att minska användningen av vägsalt som halkbekämpningsmedel samt hantering och rening av spillvatten från verksamheter som behandlar farliga kemikalier, för att minska risken att grundvattnet förorenas. Övriga åtgärder som inte behöver innefattas av en föreskrift är införandet av fartkameror, en sänkning av hastigheten samt att ytorna som däckhanteringen befinner sig på kan göras om till hårdgjorda ytor.

5.5 Aktuella grundvattentjänster i Gräfsnäs-Sollebrunn

I Sollebrunn är flera av tjänsterna som tas upp i kapitel 2 aktuella. Bland de stödande tjänsterna bidrar grundvattnet i Sollebrunn till den hydrologiska cykeln och till den biologiska mångfalden liksom många andra grundvattentäkter. En annan stödande tjänst som grundvattentäkten innefattar är inflödet av grundvatten till sjön Anten som ligger sydväst om området vid Gräfsnäs tätort då grundvattenströmningen i dalgången rör sig i samma väderstreck (Sveriges geologiska undersökning, 2018a).

Grundvattnet bidrar även med producerande tjänster. Då det finns mycket åkermark på området används grundvattnet till bevattning av grödor som ingår i matproduktionen. Det finns även en liten mängd får och kor som också behöver vatten. Fåren kan i sin tur bidra med ull och korna kan bidra med mat. Även den producerande tjänsten att bistå med varm- och kallvatten till uppvärmningssystem i bostäder är aktuellt. Enligt Brunnsarviken från Sveriges geologiska undersökning (u.d.-d) är det många av brunnarna i området som används som energibrunnar som är nödvändiga när bergvärme används som uppvärmningsalternativ.

Den främsta reglerande tjänsten som det mesta grundvattnet bidrar med är skyddet mot sättningar genom att bibehålla en jämn grundvattennivå. Det bidrar i viss mån även till översvämningskontroll genom att ha utrymme för att kunna infiltrera regnvatten vid häftig nederbörd. Dock är djupet till grundvattenytan och den mättade zonen inte särskilt stort, se kapitel 5.2, vilket innebär att mängden regnvatten som kan tas upp är begränsat. Det får alltså inte ske allt för stora regn för att markerna ska klara av att infiltrera det.

De kulturella tjänsterna för grundvattnet är däremot inte lika många. Grundvattnet flödar in i sjön Anten som ligger i södra delen av akviferen, sjön har i sin tur ett kulturellt värde genom att bidra med möjligheter till fiske och andra fritidsaktiviteter.

6 Diskussion

Vid genomförandet av arbetet har en del begränsningar och diskussionspunkter dykt upp. Begränsningar kring DRASTIC och riskbedömningen diskuteras nedan. Diskussion förs även kring hur långväga föroreningar kan komma att påverka grundvattnet. Vidare reflekteras det över huruvida framtida klimatförändringarna påverkar uttagmöjligheterna, hur planerad exploatering kan påverka vattenbehovet och hur förutsättningarna förändras vid utplacering av nya brunnar. Diskussion sker även kring de föreslagna vattenskyddsområdena och hur de hade sett ut om värdet beaktades. Slutligen diskuteras krig, kris och sabotage och varför denna aspekt inte har tagits hänsyn till i rapporten.

6.1 Begränsningar kring DRASTIC

Då DRASTIC-metoden är framtagen i USA, innebär det att metoden är anpassad efter amerikanska geologiska och hydrogeologiska förhållanden som skiljer sig från de svenska. Detta innebär att DRASTIC skulle kunna ge missvisande resultat när analysen genomförs i Sverige. Parametrarna i metoden är applicerbara på svensk mark, men däremot kan viktningen mellan de olika parametrarna se annorlunda ut på olika platser. Detta är något som inte har undersökts vidare i den här rapporten men som skulle kunna bli aktuellt för fortsatt utredning. Det finns även ytterligare varianter på DRASTIC där några andra parametrar tas i beaktning, beroende på miljö och typ av sårbarhet. Bedömningen gjordes dock att DRASTIC är en tillämpbar metod för Gräfsnäs-Sollebrunn. DRASTIC är dessutom en översiktlig analys och tar inte hänsyn till detaljer och används därför mest i planeringsstadiet. Det betyder att en grundligare analys kan behöva genomföras senare i processen för att få en mer exakt bild över sårbarheten i området.

Vid genomförande av sårbarhetsanalysen gjordes en del antaganden. En del av parametrarna är baserade på ett fåtal borrhål kring Sollebrunn vilket skapar viss osäkerhet i resultatet. De fyra borrhålen innehåller information om jordlagerföljden och är placerade på platser med skilda förutsättningar, men är inte tillräckligt utspridda eller i tillräckligt stort antal för att skapa en översiktlig bild. Därför har det antagits att hela akviferen har samma material (A) och konduktivitet (C). Även materialet i den omättade zonen (I) har antagits, baserat på informationen från borrhålen. Det är alltså svårt att veta om det finns några variationer i marken som skulle kunna påverka resultatet i DRASTIC-analysen och det verkliga resultatet, i så fall hade fler borrhål behövts vilket inte var möjligt att genomföra.

6.2 Reflektion kring riskbedömningen

Tillvägagångssättet för riskbedömningen prövades och justerades flertalet gånger innan den slutgiltiga versionen fastslogs. Det finns flera andra adekvata metoder för riskbedömningen, där andra parametrar beaktas och/eller där riskpoängen sammanställs på annat sätt. Riskpoängen kan exempelvis summeras eller multipliceras samman, som alternativ till matrissystemet som tagits fram i detta arbete. Fördelen med matrissystemet är att poängen som tilldelas varje enskild ruta kan bedömas separat efter viktningen av de ingående parametrarna. I detta arbete har en försiktighetsprincip tillämpats. Det innebär att metoden tar höjd för katastrofala scenarion genom att en maximal poäng för vissa ingående parametrar medför ett maximalt värde, oavsett vilken poäng den andra ingående parametern har tilldelats. I metoder där riskpoängen erhålls genom summering och multiplicering behöver viktningen genomföras genom en matematisk operation. För samtliga rutor i matriserna är det inte självklart vilket värde som ska ansättas, vilket gör att bedömningar måste genomföras. Vid en matematisk operation krävs det dock att lämpliga ekvationer arbetas fram, vilket också kräver bedömningar. Beroende på vem eller vilka som gör bedömningarna kan utfallet variera. Bedömningarna som har gjorts i detta arbete är noggrant genomarbetade, där för- och nackdelar har vägts mot varandra och slutligen mynnat ut i ett resultat.

I riskbedömningen som har genomförts har flertalet parametrar tagits hänsyn till. *Toxicitet* och *tillrinningstid* för konsekvensen samt *markens sårbarhet* och *hur ofta ett utsläpp förväntas ske där föroreningen når permeabel mark* för sannolikheten. Dessa parametrar har bedömts vara mest relevanta för en tillförlitlig riskbedömning. Det finns flertalet andra parametrar som fördelaktigt hade kunnat inkluderas i bedömningen, bland annat mängden av föroreningar som släpps ut. Utan möjlighet till grundligare kartläggning av verksamheterna och avsaknad av schablonmässiga mängder av föroreningar som hanteras för respektive verksamhet, ansågs det att en tillförlitlig bedömning inte kunde genomföras.

Eftersom rapportens metod har genomförts och baserats på författarnas nuvarande kunskaper inom området finns flertalet förbättringsmöjligheter som hade utmynnat i ett säkrare resultat. För att genomföra en säkrare analys bör experter rådfrågas vid framtida utvärderingar av föroreningskällorna. Vidare hade egna provtagningar av mark och utsläpp från föroreningskällorna under en längre period medfört relevant statistik som kunnat rendera i en fördjupad riskbedömning. Bedömningen av föroreningskällorna har, i störst möjliga mån, baserats på tillgänglig och områdesspecifik information. I de fall där informationen ansetts otillräcklig har egna antaganden gjorts, vilket leder till en viss osäkerhet kring resultatet. Baserat på detta finns även en viss risk att samtliga föroreningskällor för området inte har identifierats.

6.3 Långväga föroreningar

Vid inträffande av en brand eller rökbildning från en verksamhet kan partiklar eller andra föroreningar spridas i luften. Rökbildningen kan antingen ske på grund av olyckor eller vara en naturlig del i verksamheten, exempelvis i en förbränningsanläggning. Vid nederbörd kan dessa partiklar och föroreningar nå marken och i sin tur förorena grundvattnet. Föroreningar med detta spridningssätt är väldigt svåra att bedöma eftersom luftburna partiklar och föroreningar kan förflytta sig stora avstånd på kort tid. Det leder till att riskkällor inom det undersökta området med detta spridningssätt inte kan betraktas som punktkällor, då det inte går att säga med säkerhet hur föroreningarna rör sig i luften. Vidare kan det även komma luftburna föroreningar utanför det betraktade området som genom luftransport och nederbörd kan komma att påverka grundvattentäkten Gräfsnäs-Sollebrunn. I detta arbete undersöks endast de lokala föroreningskällor, då information kring vilka eventuella luftburna föroreningarna och dess spridningsmönster saknas. Även luftburna föroreningar härstammande från de undersökta föroreningskällorna i Gräfsnäs-Sollebrunn bortses från, då spridningsmönstret är okänt. Den framtagna metoden kräver att föroreningarna är plats specifika, vilket medför att luftburna föroreningar inte beaktas. Om dessa föroreningar hade inkluderats skulle resultatet potentiellt förändrats.

Mellbyån färdas genom det granskade området i nord-sydlig riktning, genom Sollebrunn mot Gräfsnäs för att sedan mynna ut i sjön Anten. Föroreningskällor utanför det betraktade området som är belägna uppströms Mellbyån, exempelvis i Stora Mellby, kan komma att bidra till utsläpp av föroreningar som färdas nedströms med ån. Dessa föroreningar kan bidra till ytterligare grundvattenföroreningar i akviferen Gräfsnäs-Sollebrunn. Dessa potentiella föroreningar har inte heller tagits i beaktning i arbetet, då undersökningar rörande riskkällor uppströms ån samt strömningsförhållandena i Mellbyån behöver genomföras. Resurser för att i detta arbete genomföra nämnda undersökningar saknas, men bör vid ytterligare bedömningar i området tas i beaktning.

6.4 Framtidsaspekter

Framtiden medför en del ovissheter som kan komma att påverka både vattenbehovet och vattentillgången i Gräfsnäs-Sollebrunn. Förändringar i klimat, befolkningens mängd och bebyggelse kan samtliga leda till förändrade grundvattenförhållanden.

I planprogrammet för Sollebrunns tätort, framtagen av Alingsås kommun, framgår det dock att ingen större exploatering kommer att ske inom överskådlig framtid (Alingsås Kommun, 2021b). Enbart 35–50 nya lägenheter planeras att byggas i centrala Sollebrunn, men på redan hårdgjorda ytor. Det

förväntas inte heller någon större befolkningstillväxt som skulle öka dricksvattenbehovet. Det finns en vision om att en lokal för samtliga förskolor i området ska byggas. Byggprocessen är dock i ett väldigt tidigt skede och ingen plats för denna byggnad har fastslagits. En större förskolelokal kan däremot innebära att vattennätet i Sollebrunn behöver förändras.

6.4.1 Förändrad grundvattennivå

De stundande klimatförändringarna kommer att påverka grundvattnet. Största anledningen till det är att den hydrologiska cykeln, som grundvattnet är mycket beroende av, kommer att rubbas (Wu et al., 2020). Grundvattenbildningen kommer att variera i en större utsträckning då nederbörden kommer att öka under höst, vinter och vår medan somrarna kommer att vara torrare. Därmed kommer även markinfiltrationen att variera på ett liknande sätt. Detta betyder att under perioderna med mycket nederbörd kommer vattentäkten att vara välfungerande och grundvattenytan kan komma att höjas. Under torrare perioder, då vattenbehovet är som störst, kan däremot grundvattentillgången minska. En förändrad grundvattennivå innebär en förändring i portrycket i marken vilket leder till en mer instabil mark (Michalak & Pathan, 2013). I värsta fall kan sättningar och skred uppstå som påverkar omkringliggande infrastruktur.

Grundvattennivån kan också påverkas vid byggnation, något som planeras att ske i Sollebrunn inom några år (Alingsås Kommun, 2021b). Vid byggnation är det vanligt att tillfälligt sänka grundvattennivån, vilket ofta ger tillfälliga eller små konsekvenser (Preene & Brassington, 2003). Det kan också ge större konsekvenser som att grundvattennivån sänks permanent. På samma sätt kan även detta påverka markstabiliteten. Då området kring Sollebrunn till största del består av lera bör det tillämpas extra försiktighet då det generellt är ett instabilt material. Mer byggnation innebär också att fler ska försörjas med dricksvatten från grundvattentäkten, men då det enligt planprogrammet inte är planerat för någon vidsträckt exploatering bör det inte finnas någon risk för att grundvattennivån ska påverkas inom de närmsta åren.

Med klimat och exploatering som bakgrund kan parametrarna i sårbarhetsanalysen DRASTIC påverkas. Framför allt materialet i den omräknade zonen (I) förändras och då leda till att spridningen av material förändras. Om grundvattennivån sänks kommer materialet med största sannolikhet vara detsamma som innan eller större andel sand och grus vilket är negativt för sårbarheten. Om grundvattennivån skulle höjas skulle andelen lera öka vilket är positivt för sårbarheten.

6.4.2 Förändrade förutsättningar vid nya dricksvattenbrunnar

Vid byggnation av nya dricksvattenbrunnar kan riskpoängen för de potentiella föroreningskällorna komma att ändras. Detta för att parametern tillrinningstid i konsekvensbedömningen är konstruerad med cirklar med olika radier, tidigare specificerat i kapitel 4.1.4. Skulle en ny dricksvattenbrunn då placeras så att en eller flera föroreningskällor hamnar i en ny tillrinningstidszon än tidigare, kan föroreningskällans slutgiltiga riskpoäng förändras. Detta skulle leda till att en ny åtgärdsbedömning behöver genomföras för de berörda föroreningskällorna. Detta är inget den nuvarande riskbedömningen tar hänsyn till, då det inte finns några planer för nya dricksvattenbrunnar i det betraktade området.

6.5 Vattenskyddsområdena och grundvattentäkts tjänster

Vid utvärdering av vattenskyddsområdena har hänsyn tagits till riskbedömningen som genomförts. Även det befintliga vattenskyddsområdet har legat till grund när nya gränser har dragits. Dock skulle flera aspekter kunnat tagits i beaktning för att åstadkomma en mer rättvis bedömning. Till exempel har värden som akviferen bidrar med diskuterats, men inte beaktats i bedömningen. Akviferen bidrar till tjänster som den hydrologiska cykeln, bevattning av åkermark, skydd mot sättningar och vatten till sjön Anten. Om värdet av dessa tjänster skulle tas hänsyn till skulle eventuellt större del av akviferen behöva ingå i skyddsområdet, då det har ett stort värde utöver uttagspunkterna för dricksvatten. De tjänster som grundvattentäkten bidrar med ger dessutom en större motivation till

att skydda den. Även otydliga föroreningskällor kan ha missats ta hänsyn till och osäkerhet i riskbedömningen kan ha en påverkan på det slutgiltiga resultatet. Att området, trots med avgränsning från värdet, blir större ger konsekvenser för verksamheter i dess område och även att det blir en primär skyddszon med hårdare föreskrifter.

Vattenskyddsområden med tillhörande skyddsföreskrifter kan dock ge positiva effekter i området utöver skydd för grundvattnet. Till exempel kommer naturen i området bli mer bevarat. De negativa effekter som kan ske är främst för verksamheter som kan få viss begränsning jämfört med innan. Även andra föreslagna åtgärder kan ge negativ påverkan på olika verksamheter. Åtgärder medför ofta kostnader men kan också bidra till positiva aspekter utöver att sydda grundvattnet, som till exempel ökad säkerhet på vägar.

6.6 Krig, kris och sabotage

Rapportens riskbedömning har inte tagit hänsyn till krig, kris och sabotage. Detta till följd av att sannolikheten är minimal för att detta inträffar i det betraktade området. Det leder till att rapportens metod inte är utformad för en bedömning av händelse för krig, kris och sabotage.

Vid krig finns risk för att föroreningskällorna förstörs vilket kan leda till stora utsläpp. Även uttagsbrunnar har risk att förstöras eller saboteras vid krig. Dessutom kan själva kriget bidra till att föroreningar släpps ut som sedan transporteras till grundvattentäkten. En kris skulle till exempel kunna innebära extrema väderförhållanden som exempelvis torka eller massiva skyfall. Sabotage kan innebära att förstöra eller kontaminera grundvattentäkten.

Vidare är åtgärderna mot krig, kris och sabotage inte likadana som för övriga föroreningskällor. Skulle däremot hotbilden mot området eskalera skulle risken för nuvarande föroreningskällor och medföljande grundvattenföroreningar öka.

7 Slutsats

I området Gräfsnäs-Sollebrunn identifierades flertalet föroreningskällor som riskerar att påverka grundvattentäkten. En riskbedömning genomfördes baserad på de fyra parametrarna: markens sårbarhet, sannolikhet att en förorening når permeabel mark, toxicitet och tillrinningstid.

Utvärderingen av sårbarheten visar att grundvattentäkten är hotad av föroreningar på grund av sina geologiska och hydrogeologiska egenskaper. Vattentäkten tilldelas höga poäng i sårbarhetsanalysen och är därför i behov av ytterligare skydd på de platser där risken är extra stor för förorening av grundvattnet. Baserat på de fyra parametrarna bedömdes de mest kritiska föroreningskällorna vara: avloppsreningsverk, bensinstation, bilvårdsanläggning, däckhantering, jordbruk, vägar och ytbehandling av trä.

Med hänsyn till de riskkällor som har identifierats inom området samt vattentäktens sårbarhet har ett förslag på ett vattenskyddsområde tagits fram, detta för att förhindra att föroreningar når akviferen. Förslaget på vattenskyddsområdet vid Sollebrunn innebär en utökning norrut längs riksväg 190 mot Grunntorp och österut längs Ljungvägen. Området utökas även västerut för att inkludera bensinstationen i västra Sollebrunn. Ett parti av åkermark med hög sårbarhet, söder om Sollebrunn, bedöms också ingå i vattenskyddsområdet. Kring Smörkullen utökas hela skyddsområdet för att inkludera sårbar åkermark. Till sist föreslås området kring Gräfsnäs att utökas söderut för att inkludera reningsverket. Området kring Gräfsnäs föreslås också att minskas från norr då det inte bedöms behöva något skydd.

Tidigare fanns fyra vattenskyddsområden med skilda skyddsföreskrifter och varierande skyddszoner. Förslaget som presenteras i detta arbete innefattar tre vattenskyddsområden med enbart en skyddszon och där samma skyddsföreskrifter gäller för samtliga. Förändringen har föreslagits för att samma regleringar ska gälla för samtliga vattenskyddsområden för grundvattentäkten, med avsikt att tydliggöra riktlinjerna för verksamheter i området.

Andra åtgärder utöver föreskrifter för vattenskyddsområdena har föreslagits för de allvarligaste riskkällorna då det är dessa är mest väsentliga att förebygga mot ett potentiellt utsläpp. Framför allt bör det införas ytterligare åtgärder vid däckhanteringen som till exempel förvaring av däcken i en skyddad anläggning. För vägen skulle det vara fördelaktigt med åtgärder för att minimera risken för olyckor som till exempel sänkt hastighet och fartkameror.

Trots vissa begränsningar i projektet kan det slutligen konstateras att det är nödvändigt att skydda grundvattentäkten mot föroreningar. Detta med hänsyn till nuvarande och framtida dricksvattenförsörjning, men även för andra tjänster som akviferen tillhandahåller.

Källförteckning

- Alingsås Kommun. (2021a, November 01). *Kommunalt avlopp*. <https://www.alingsas.se/bygga-bo-och-miljo/luft-vatten-och-avlopp/kommunalt-dricksvatten-och-avlopp/kommunalt-avlopp/>
- Alingsås Kommun. (2021b). *Planprogram Sollebrunns tätort*.
- Alingsås Kommun. (u.d.-a). *Gräfsnäs vattenskyddsområde skyddsföreskrifter*.
https://www.alingsas.se/wp-content/uploads/2021/04/Gr%C3%A4fsn%C3%A4s_Bilaga2_skyddsforeskrifter_141119.pdf
- Alingsås Kommun. (u.d.-b). *Skyddsföreskrifter*. https://www.alingsas.se/wp-content/uploads/2020/03/skyddsforeskrifter_sollebrunn.pdf
- Aller, L., Bennett, T., Lehr, J. H., & Petty, R. J. (1985). *DRASTIC: a standardized system for evaluating ground water pollution potential using hydrogeologic settings*. Robert S. Kerr Environmental Research Laboratory, Office of Research and
- Andersson, M., Bergström, F., Medin, J., & Salinas Niedbalski, A. (2013). *Föroreningskällor till sjön Anten - En kartläggning och kvantifiering av kväve- och fosfortillförsel* (Publication Number 2013:81) Chalmers Tekniska Högskola]. <https://hdl.handle.net/20.500.12380/183375>
- Avdelningen för geologi och geoteknik. (u.d.). *Kurskompendium (excursion och övningar)*, BOM200.
- Backlund, R. G., Pär; Johansson, Kersti; Fransson, Arne. (1983). *Motion: Försurningens effekter på brunnar och vattentäkter*. (1982/83:1443). Retrieved from
<https://data.riksdagen.se/fil/99CC41B3-AF85-42DE-9CFF-D2B105CCD08D>
- Bergvall, M., Lindhe, A., Lång, L.-O., Rosén, L., & Åström, J. (2016). *Mikrobiologisk riskbedömning av grundvattentäkter – utveckling och tillämpning av ett QMRA-verktyg* (2016 - 19). Svenskt Vatten AB. https://vav.griffel.net/filer/SVU-rapport_2016-19.pdf
- Bilprovningen. (u.d.). *Tvätta bilen rätt och skona miljön*. Retrieved 03/10 from
<https://www.bilprovningen.se/kundservice/goda-rad/tvatta-bilen-miljosmart#:~:text=Vattnet%20fr%C3%A5n%20biltv%C3%A4tt%20inneh%C3%A5ller%20olja%2C%20tungmetaller%2C%20asfalt%2C%20d%C3%A4ckrester,bly%2C%20krom%20och%20nickel%20samt%2041%20kg%20kadmium.>
- Bohgard, D. (2011). *Identifiering och klassificering av potentiellt förorenade områden i Dalby, Lunds kommun – En orienterande studie*. L. Universitet.
<https://lup.lub.lu.se/luur/download?func=downloadFile&recordId=2343131&fileId=2343135>
- Boverket. (2021). *Reglerande ekosystemtjänster*. <https://www.boverket.se/sv/byggande/hallbart-byggande-och-forvaltning/ekosystemtjanster/olika-grupper-av-ekosystemtjanster/reglerande/>
- Boverket. (2022). *Typer av ekosystemtjänster*. <https://www.boverket.se/sv/samhallsplanering/samplaneras-sverige/planeringsfragor/ekosystemtjanster/olika-typer-av-ekosystemtjanster/>
- Burman, J., & Moberg, J.-O. (2004). *Grundvattenmodellering och sårbarhetsanalys för Utö skjutfält* (FOI-R--0999--SE). T. forskningsinstitut.
- Camper, P.-A. (2014). *Dräneringsvatten från begravningsplatser*. http://vav.griffel.net/filer/svu-rapport_2014-06.pdf
- Centers for Disease Control and Prevation. (2017, April 7). *Biomonitoring summary: Other halogenated solvents*.
https://www.cdc.gov/biomonitoring/OtherHalogenatedSolvents_BiomonitoringSummary.html
- Connon L.E, C. M. O., Davies J, Gamble R, Pearson A, Rivett M.O & Shepley M.G. (2016). Highway deicing salt dynamic runoff to surface water and subsequent infiltration to groundwater during severe UK winters. *Science of The Total Environment*, 565, 324-338.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.04.095>

- Duda, A., Kida, M., Ziembowicz, S., & Koszelnik, P. (2020). Application of material from used car tyres in geotechnics-an environmental impact analysis. *PeerJ*, 8, Article e9546.
<https://doi.org/10.7717/peerj.9546>
- European Commission. (2006). *Surface Treatment of Metals and Plastics*.
https://eippcb.jrc.ec.europa.eu/sites/default/files/2019-11/stm_bref_0806.pdf
- European food safety authority. (2006). *Tolerable upper intake levels for vitamins and minerals*.
https://www.efsa.europa.eu/sites/default/files/efsa_rep/blobserver_assets/ndatolerableuil.pdf
- Eveborn, D., Vikberg, E., Thunholm, B., Hjerne, C.-E., & Gustaffson, M. (2017). *Grundvattenbildning och grundvattentillgång i Sverige (21-2925/2016)*.
<http://resource.sgu.se/produkter/regeringsrapporter/2017/RR1709.pdf>
- Filip, Z., Kaddu-Mulindwa, D., & Milde, G. (1988). Survival of some pathogenic and facultative pathogenic bacteria in groundwater. *Water Science Technology*, 20, 227-231.
- Fredén, C., & Wastenson, L. (2002). *Berg och Jord* (3 ed.). Sveriges Nationalatlas.
- G. Davidsson, L. H., B. Ljungman & H. Frantzich. (2003). *Handbok för riskanalys*. Räddningsverket.
- Geoscience Australia. (u.d.). *Groundwater Processes*. <https://www.ga.gov.au/scientific-topics/water/groundwater/understanding-groundwater-resources/groundwater-processes>
- Geoteknik, A. f. G. o. (2020). *BOM200 - Teknisk Geologi för S1*. C. T. högskola.
- Havs- och vattenmyndigheten. (2011). *Handbok om vattenskyddsområde*.
- Havs- och vattenmyndigheten. (2019). *Jordbruk och läckage av nitrat till grundvatten – Naturliga processer, odlingsystem och risk för påverkan (2019:25)*.
<https://www.havochvatten.se/download/18.4705beb516f0bcf57ce2f097/1576677205445/rapport-jordbruk-lackage-nitrat-grundvatten.pdf>
- Havs- och vattenmyndigheten. (2021). *Vägledning om inrättande och förvaltning av vattenskyddsområden*.
- Havs- och vattenmyndigheten, & KompetensCentrum för Kemiska Bekämpningsmedel. (2014). *Kemiska bekämpningsmedel i grundvatten 1986–2014 (2014:15)*.
https://www.slu.se/globalassets/ew/org/centrb/ckb/publikationer/ckb-rapporter/kemiska-bekampningsmedel-i-grundvatten-141006_slutgiltig.pdf
- International Association of Hydrogeologists. (u.d.). *What is hydrogeology and what do hydrogeologists do?* <https://iah.org/education/general-public/what-is-hydrogeology>
- Johansson, Å. (2020). *Fennoskandias berggrund*.
https://www.nrm.se/faktaomnaturenochrymden/geologi/sverigesgeologi/fennoskandiasberggrund.1117_se.html
- Jönköping, L. (u.d.). *Nationella rikvärden för grundvatten*. Retrieved 03-09 from
<http://extra.lansstyrelsen.se/viss/Sv/detta-beskrivs-i-viss/miljokvalitetsnormer/Pages/Nationella-riktv%C3%A4rden-f%C3%B6r-grundvatten.aspx>
- Karlstad kommun. (2020). *Tvätta inte bilen hemma på gatan*. <https://karlstad.se/Miljo-och-Energi/Kemikalier-och-plast/kemikalier-utomhus/Biltvatt/>
- Kematka Konsult AB & Institutet för Miljömedicin, K. i. (2017). *Datablad för Polycykliska aromatiska kolväten (PAH)*. Retrieved 2022-03-09, from
<https://www.naturvardsverket.se/globalassets/vagledning/fororenade-omraden/riktvarden/datablad/datablad-pah-20170518.pdf>
- Kemikalieinspektionen. (2022, Februari 10). *Träskydd med kreosot*.
<https://www.kemi.se/bekampningsmedel/biocidprodukter/vanliga-typer-av-biocidprodukter/traskyddsmiddel/traskydd-med-kreosot#h-Riskermedkreosotforhalsaochmiljo>
- Kemikalieinspektionen, Myndigheten för samhällsskydd och beredskap, & Naturvårdsverket. (2016). *Rekommendationer för minskad användning av brandsläckningsskum*.

- Kinell, G., Lindhe, A., Rosén, L., & Söderqvist, T. (2014). *Grundvattnets ekosystemtjänster och deras ekonomiska värden - en inledande kartläggning*.
- Kukulies, J. (2021). *Klimat effekter på vattnets kretslopp*.
<https://gronamoment.se/2021/07/08/klimat-effekter-pa-vattnets-kretslopp/>
- Lapworth, D. J., Boving, T. B., Kremer, D. K., Kebede, S., & Smedley, P. L. (2022). Groundwater quality: Global threats, opportunities and realising the potential of groundwater. *Science of The Total Environment*, 811, 152471. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.152471>
- Lee, C., Hellinga, B., & Saccomanno, F. (2006). Evaluation of variable speed limits to improve traffic safety. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 14(3), 213-228.
<https://doi.org/10.1016/j.trc.2006.06.002>
- Livsmedelsverket. (2007). *Risk- och sårbarhetsanalys för dricksvattenförsörjning* (M. Olausson, Ed.). Livsmedelsverket.
- Livsmedelsverket. (2013). *Brandskum som möjlig förorenare av dricksvattentäkter* (511 102). Kemikalieinspektionen. <https://www.livsmedelsverket.se/globalassets/livsmedel-innehall/oonskade-amnen/pfaa/pm-5-13-brandskum-mojlig-forerenare-av-dricksvattentakter.pdf>
- Livsmedelsverket. (2021a, April 22). *Aluminium*. <https://www.livsmedelsverket.se/livsmedel-och-innehall/oonskade-amnen/metaller1/aluminium>
- Livsmedelsverket. (2021b, Juni 18). *Dioxiner och PCB*. https://www.livsmedelsverket.se/livsmedel-och-innehall/oonskade-amnen/miljogifter/dioxiner-och-pcb#%C3%84r_det_farligt
- Livsmedelsverket. (2021c). *Koppar*. <https://www.livsmedelsverket.se/livsmedel-och-innehall/oonskade-amnen/metaller1/koppar>
- Livsmedelsverket. (2021d, December 3). *PFAS - Poly- och perfluorerade alkylsubstanter*.
https://www.livsmedelsverket.se/livsmedel-och-innehall/oonskade-amnen/miljogifter/pfas-poly-och-perfluorerade-alkylsubstanter#%C3%84r_PFAS_farliga
- Livsmedelsverket. (2022a). *Bekämpningsmedel fördjupning*.
<https://www.livsmedelsverket.se/livsmedel-och-innehall/oonskade-amnen/bekampningsmedel/bekampningsmedel-fordjupning>
- Livsmedelsverket. (2022b, Januari 11). *Kadmium*. https://www.livsmedelsverket.se/livsmedel-och-innehall/oonskade-amnen/metaller1/kadmium#%C3%84r_kadmium_farligt
- Livsmedelsverket. (2022c, Januari 11). *Kvicksilver*. <https://www.livsmedelsverket.se/livsmedel-och-innehall/oonskade-amnen/metaller1/kvicksilver>
- Livsmedelsverket. (2022d). *Mikrobiologiska säkerhetsbarriärer*.
<https://kontrollwiki.livsmedelsverket.se/artikel/339/mikrobiologiska-sakerhetsbarriarer>
- Logeshwaran, P., Megharaj, M., Chadalavada, S., Bowman, M., & Naidu, R. (2018). Petroleum hydrocarbons (PH) in groundwater aquifers: An overview of environmental fate, toxicity, microbial degradation and risk-based remediation approaches. *Environmental Technology & Innovation*, 10, 175-193. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2018.02.001>
- Lång, L.-O., & Persson, T. (2011). *Beskrivning till kartan Grundvattenförekomst i Alingsås kommun*.
<https://resource.sgu.se/dokument/publikation/k/k135beskrivning/k135-beskrivning.pdf>
- Mellqvist, E., & Ojala, L. (2004). *Vägsalt - användning och påverkan på grundvattnet*. S. g. undersökning.
<https://resource.sgu.se/dokument/publikation/sgurapport/sgurapport200413rapport/s0413-rapport.pdf?msckid=20cf8743c6eb11ec89f655b2699963bc>
- Michalak, A., & Pathan, A. (2013). *Sättningar vid grundvattensänknings Kungliga tekniska högskolan*. Stockholm.
- Myndigheten för samhällsskydd och beredskap. (2011). *Transport av farligt gods -Väg och järnväg* (Myndigheten för samhällsskydd och beredskap, Ed.)
- Myndigheten för samhällsskydd och beredskap. (2017). *Vägledning för skyfallshantering: tips för genomförande och exempel på användning*. In (Vol. MSB1121).

- Myndigheten för samhällsskydd och beredskap. (u.d.). *Bränder i avfall eller återvinning utomhus*. <https://ida.msb.se/ida2#page=08b5b9d9-b9de-4ecd-88df-db2ec22fd06a>
- Naturvårdsverket. (1998). *Förslag till riktvärden för förorenade bensinstationer*.
- Naturvårdsverket. (u.d.-a). *Avloppsvattnets miljöpåverkan*. <https://www.naturvardsverket.se/amnesomraden/avlopp/avloppsvattnets-miljopaverkan/>
- Naturvårdsverket. (u.d.-b). *Bekämpningsmedel i miljön*. <https://www.naturvardsverket.se/amnesomraden/miljoforeningar/organiska-miljogifter/bekampningsmedel-i-miljon/>
- Naturvårdsverket. (u.d.-c). *Fakta om arsenik och arsenikföreningar*. <https://www.naturvardsverket.se/amnesomraden/miljoforeningar/metaller/fakta-om-arsenik-och-arsenikforeningar/>
- Naturvårdsverket. (u.d.-d). *Fakta om bly*. <https://www.naturvardsverket.se/amnesomraden/miljoforeningar/metaller/fakta-om-bly/>
- Naturvårdsverket. (u.d.-e). *Mikroplast*. Retrieved 03-09 from <https://www.naturvardsverket.se/amnesomraden/plast/om-plast2/mikroplast/>
- Naturvårdsverket. (u.d.-f). *Ämnesområde Avlopp*. <https://www.naturvardsverket.se/amnesomraden/avlopp/>
- Nordberg, D., & Stenberg, J. (2005). *Efterbehandling av träskyddsanläggningar* (Publication Number 2005:164 CIV) Luleå tekniska universitet]. <http://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1031476/FULLTEXT01.pdf>
- Oikonomou, N., & Mavridou, S. (2009). The use of waste tyre rubber in civil engineering works. In (pp. 213-238). Elsevier. <https://doi.org/10.1533/9781845695842.213>
- Okkenhaug, G., Smebye, A. B., Pabst, T., Amundsen, C. E., Sævarsson, H., & Breedveld, G. D. (2018). Shooting range contamination: mobility and transport of lead (Pb), copper (Cu) and antimony (Sb) in contaminated peatland. *Journal of Soils and Sediments*, 18(11), 3310-3323. <https://doi.org/10.1007/s11368-017-1739-8>
- Preene, M., & Brassington, R. (2003). POTENTIAL GROUNDWATER IMPACTS FROM CIVIL-ENGINEERING WORKS. *Water and Environment Journal*, 17(1), 59-64. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/j.1747-6593.2003.tb00433.x>
- Redox miljöhantering AB. (u.d.). *Vi tar hand om däck och fälg*. <https://miljohantering.com/>
- Rehn, A., & Johansson, L. (2017). *Sannebo trä - fördjupad förstudie* (13001986). <https://www.sgu.se/globalassets/samhallsplanering/fororenade-omraden/sannebo-tra/slutversion-sannebo-tra-2018-01-18.pdf>
- Research institutes of Sweden. (2020, September 9). *Så kan farliga PFAS påverka vår hälsa*. <https://www.ri.se/sv/berattelser/sa-kan-farliga-pfas-paverka-var-halsa>
- Riskkollegiet. (1991). *Att jämföra risker - information och rekommendationer från Riskkollegiet* (Riskkollegiets skriftserie, Issue. <https://www.riskkollegiet.se/wp-content/uploads/2012/11/Skrift1.pdf>
- Rosén, L. (1991). *Sårbarhetsklassificering av grundvatten - Tillämpningar av standardiserade klassificeringssystem på svenska förhållanden*. C. T. Högskola.
- Rosén, L. (1994). A Study of the DRASTIC Methodology with Emphasis on Swedish Conditions. *Groundwater*, 32(2), 278-285. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/j.1745-6584.1994.tb00642.x>
- Salvidge, R. (2022). 'Forever chemicals': what are PFAS and what risk do they pose? *The Guardian*. <https://www.theguardian.com/environment/2022/feb/08/what-are-pfas-forever-chemicals-what-risk-toxicity>
- Smittskyddsinstitutet. (2011). *Cryptosporidium i Östersund; Smittskyddsinstitutets arbete med det dricksvattenburna*

utbrottet i Östersund 2010–2011.

<https://www.folkhalsomyndigheten.se/contentassets/6ba0208adacc460b8aa203fadea39292/cryptosporidium-i-ostersund.pdf>

Sommer F, D. V., Baum A, Sauer J, Gilge S, Maschowski C & Gieré R. (2018). *Tire Abrasion as a Major Source of Microplastics in the Environment*. T. A. f. A. Research.

Sood, E., & Ziadat, A. H. (2014). An environmental impact assessment of the open burning of scrap tires. *Journal of applied sciences*, Article 14: 2695-2703.

<https://doi.org/10.3923/jas.2014.2695.2703>

Stensen, K., Krunegård, A., Rasmusson, K., Matti, B., & Hjerdt, N. (2019). *Sveriges vattentillgång utifrån perspektivet vattenbrist och torka*.

https://www.smhi.se/polopoly_fs/1.152541!/Hydrologi_120.pdf

Stockholm Vatten & Avlopp. (u.d.). *Oljeavskiljare*.

<https://www.stockholmvattenochavfall.se/globalassets/dagvatten/pdf/oljeavskiljare.pdf>

Sveriges geologiska undersökning. (2017). *Dioxinförorenade sågverksområden*.

<https://www.sgu.se/globalassets/samhallsplanering/fo/infoblad-dioxin-sagverk-2017.pdf>

Sveriges geologiska undersökning. (2018a). *Beskrivning av grundvattenförekomster*.

<https://www.sgu.se/anvararstod-for-geologiska-fragor/vattenforvaltning-av-grundvatten/sgus-foreskrifter-om-kartlaggning-och-analys-sgu-fs-2013-1/inledande-kartlaggning/beskrivning-av-grundvattenforekomster/>

Sveriges geologiska undersökning. (2018b). *Identifiering av mänsklig verksamhet*.

<https://www.sgu.se/anvararstod-for-geologiska-fragor/vattenforvaltning-av-grundvatten/sgus-foreskrifter-om-kartlaggning-och-analys-sgu-fs-2013-1/inledande-kartlaggning/idendifiering-av-mansklig-verksamhet/>

Sveriges geologiska undersökning. (2020a). *Från istid till nutid*. <https://www.sgu.se/om-geologi/jord/fran-istid-till-nutid/>

Sveriges geologiska undersökning. (2020b). *Landhöjning - från havsbotten till lerslätt*.

<https://www.sgu.se/om-geologi/jord/fran-istid-till-nutid/landhojning-fran-havsbotten-till-lerslatt/>

Sveriges geologiska undersökning. (2020c). *Morän - spår av inlandsisen*. <https://www.sgu.se/om-geologi/jord/fran-istid-till-nutid/inlandsisen/moran-spar-av-inlandsisen/>

Sveriges geologiska undersökning. (2020d, November 5). *Vattenskyddsområden*.

<https://www.sgu.se/grundvatten/vattenskyddsomraden/>

Sveriges geologiska undersökning. (u.d.-a). *Dioxin och sågverk*.

<https://www.sgu.se/samhallsplanering/forenadede-omraden/dioxin-och-sagverk/>

Sveriges geologiska undersökning. (u.d.-b). *Grundvatten*. <https://www.sgu.se/grundvatten/>

Sveriges geologiska undersökning. (u.d.-c). *Kartvisare: Berggrund 1:1 miljon*. In.

Sveriges geologiska undersökning. (u.d.-d). *Kartvisaren: Brunnar*. Sveriges geologiska undersökning.

Sveriges geologiska undersökning. (u.d.-e). *Kartvisaren: Jordlagerföljder*. Sveriges geologiska undersökning.

Sveriges geologiska undersökning. (u.d.-f). *Sveriges Berggrund*. <https://www.sgu.se/om-geologi/berg/sveriges-berggrund/>

Sveriges lantbruksuniversitet. (2021). *Markhöjdmodell Nedladdning, grid 50+*. In.

Sveriges Meteorologiska och Hydrologiska Institut. (2021a). *Hydrologiska ord och begrepp*.

<https://www.smhi.se/kunskapsbanken/hydrologi/hydrologiska-begrepp-1.29125>

Sveriges Meteorologiska och Hydrologiska Institut. (2021b, Maj 19). *Vattnets kretslopp - förenar hydrologi, meteorologi och oceanografi*.

<https://www.smhi.se/kunskapsbanken/hydrologi/vattnets-kretslopp/vattnets-kretslopp-forenar-hydrologi-meteorologi-och-oceanografi-1.20615>

Sveriges miljömål. (2020). *Bara naturlig försurning*.

<https://www.sverigesmiljomal.se/miljomalen/bara-naturlig-forsurning/>

- Sveriges miljömål. (2021). *Grundvatten av god kvalitet*.
<https://www.sverigemiljomal.se/miljomalen/grundvatten-av-god-kvalitet/>
- Sveriges riksdag. (1999). *Grundvatten av god kvalitet*. (2000:52). Retrieved from
<https://www.regeringen.se/49bbb3/contentassets/faeedead72ae4bb9a59d085bda05ec31/kapitel-10---17>
- Förordning (2018:471) om medelstora förbränningsanläggningar, (2018).
https://www.riksdagen.se/sv/dokument-lagar/dokument/svensk-forfattningssamling/forordning-2018471-om-medelstora_sfs-2018-471
- The Groundwater Project. (u.d.). *The importance of groundwater*. <https://gw-project.org/the-importance-of-groundwater/>
- Tikkurila Sverige AB. (u.d.). *FAQ - ytbehandling av metall*. <https://tikkurila.se/industri/tjanster/faq-ytbehandling-av-metall>
- Trafikverket. (2011). *Vägdagvatten - Råd och rekommendationer för val av miljöåtgärd*. Trafikverket
 Retrieved from https://trafikverket.ineko.se/Files/sv-SE/11439/RelatedFiles/2011_112_vagdavgvatten_rad_och_rekommendationer_for_val_av_miljoatgard.pdf
- Trafikverket. (2020). *Vägen och vattnet*. <https://bransch.trafikverket.se/om-oss/var-verksamhet/sa-har-jobbar-vi-med/Miljo-och-halsa/Vatten-och-mark/Vagen-och-vattnet/>
- Trafikverket. (2022). *Vägsalt - bara där det behövs*. <https://www.trafikverket.se/resa-och-trafik/underhall/sa-skotervi-vagar/vintervaghallning/vagsalt---bara-dar-det-behovs/?msclkid=330c8077c6ec11ecb3b3c22ea703e773>
- U.S. Environmental Protection Agency. (1987). *Guidelines for delineation of wellhead protection areas*. U.S. Environmental protection agency
- United States Geological Survey. (u.d.). *What is the difference between a confined and unconfined aquifer?* <https://www.usgs.gov/faqs/what-difference-between-confined-and-unconfined-water-table-aquifer>
- Vermont department of health. (2018). *Antimony and antimony compounds*.
https://www.healthvermont.gov/sites/default/files/documents/pdf/ENV_CDP_7440_36_0_Antimony.pdf
- Willson, C., Willis, C., Hendrikz, J., Le Brocq, R., & Bellamy, N. (2010). *Speed cameras for the prevention of road traffic injuries and deaths (Review)*. John Wiley & sons Ltd.
http://speedcamerareport.co.uk/cochrane_sys_review_10.pdf
- World Health Organization. (1998). *The impact of cemeteries on the environment and public health*.
[https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/108132/EUR_ICP_EHNA_01_04_01\(A\).pdf;sequence=1](https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/108132/EUR_ICP_EHNA_01_04_01(A).pdf;sequence=1)
- Wu, W.-Y., Lo, M.-H., Wada, Y., Famiglietti, J. S., Reager, J. T., Yeh, P. J. F., Ducharme, A., & Yang, Z.-L. (2020). Divergent effects of climate change on future groundwater availability in key mid-latitude aquifers. *Nature Communications*, 11(1), 3710. <https://doi.org/10.1038/s41467-020-17581-y>

Bilagor

Bilaga 1



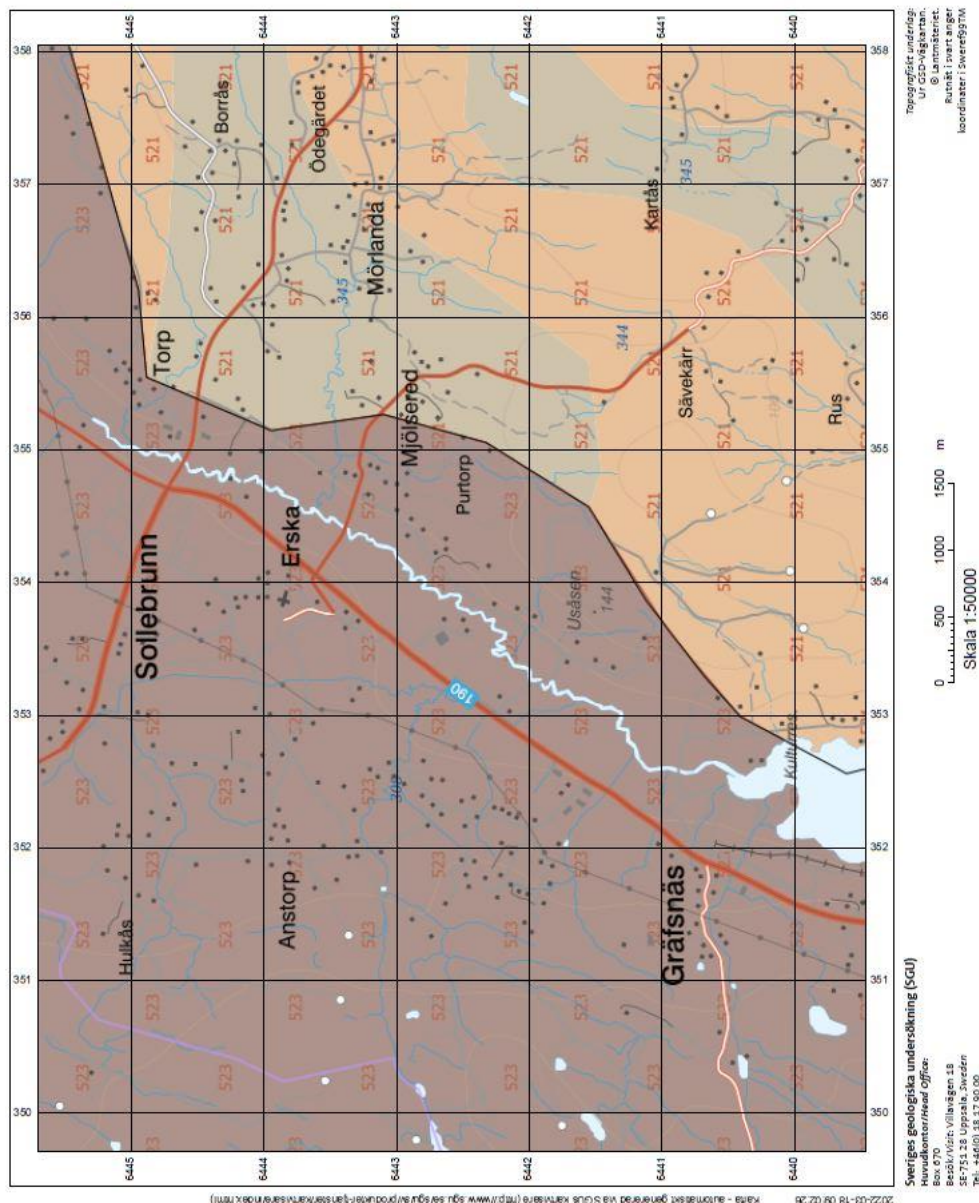
Om kartan

Detta är en utskrift från kartvisaren "Berggrund 1:1 miljon". Kartvisaren ger en översiktlig bild av Sveriges berggrund och riktar sig i första hand till en professionell användargrupp.

Kartan visar utbredningen av olika bergartsenheter och stora deformationszoner (sprickzoner, förkastningar och plastiska skivzoner). Bergartsenheter kan bestå av en eller flera bergarter och de förnamnda är generellt de vanligaste. Aldern för varje bergartsenhet redovisas, liksom vilken större tektonisk enhet (t.ex. en äldre bergskedja) den tillhör.

Kartan är anpassad för presentation i skala 1:1 miljon, vilket innebär att informationen är generaliserad och inte avsedd för mer detaljerat bruk.

Läs mer om i kartvisaren på www.sgu.se.



Bilaga 1: Karta över berggrunden med deformationszoner för området Gräfsnäs-Sollebrunn. © Sveriges geologiska undersökning.

Bilaga 3



Bilaga 3: Skyddsområde för Sollebrunns vattentäkt. Hämtad från Alingsås Kommun.

INSTITUTIONEN FÖR ARKITEKTUR OCH SAMHÄLLSBYGGNAD
AVDELNING FÖR GEOLOGI OCH GEOTEKNIK
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Göteborg, Sverige 2022
www.chalmers.se



CHALMERS