



CHALMERS



Riskbedömning av föroreningskällor kring Backa grundvattentäkt

Kandidatarbete inom Samhällsbyggnadsteknik

YUSUF ABDIAZIZ AHMED
DIAA EDDIN KHOSHFAH
SHIHAN ELMİ
SARA RYDSMO

**INSTITUTIONEN FÖR ARKITEKTUR OCH SAMHÄLLSBYGGNADSTEKNIK
AVDELNINGEN FÖR GEOLOGI OCH GEOTEKNIK**

CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Göteborg 2023
www.chalmers.se

KANDIDATARBETE ACEX11-23-46

Riskbedömning av föroreningskällor kring Backa grundvattentäkt

YUSUF ABDIAZIZ AHMED
DIAA EDDIN KHOSHFAH
SHIHAN ELMI
SARA RYDSMO



CHALMERS

Institutionen för Arkitektur och Samhällsbyggnadsteknik
Avdelningen för Geologi och Geoteknik
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Göteborg, Sverige 2023

Riskbedömning av föroreningskällor kring Backa grundvattentäkt

© Yusuf Abdiaziz Ahmed, 2023

© Dīaa Eddin Khoshfah, 2023

© Shihan Elmi, 2023

© Sara Rydsmo, 2023

Handledare: Andreas Lindhe, Avdelningen för Geologi och Geoteknik

Examinator: Lars Rosén, Avdelningen för Geologi och Geoteknik

Kandidatarbete ACEX11-23-46

Institutionen för Arkitektur och Samhällsbyggnadsteknik

Avdelningen för Geologi och Geoteknik

Chalmers Tekniska Högskola

412 96 Göteborg

Telefon +46 31 772 1000

Omslagsbild: Vattenskyddsområdesskylt i Bollebygd Backa.

Skriven i L^AT_EX

Göteborg 2023

Sammanfattning

Grundvatten är vatten som lagras under jord och är en viktig resurs i samhället. Det är en viktig komponent i den hydrologiska cykeln och används inte bara för dricksvattenkonsumtion utan även inom andra områden som jordbruk och bevattning. Bevarandet av grundvatten är av stor vikt och med bland annat detta som bakgrund har vattenskyddsområden upprättats runt olika vattenkällor i syfte att säkerställa bevarandet och skyddandet av grundvatten för dricksvattenändamål. En riskbedömning görs för att förstå problembilden och utgör underlag för hur man utformar ett skyddsområde och dess tillhörande föreskrifter. Syftet med arbetet som presenteras är att utarbeta och tillämpa en riskbedömningsmetod som möjliggör identifiering och utvärdering av potentiella risker relaterade till en grundvattentäkt belägen i Sverige. Den framtagna metoden tillämpas på en grundvattentäkt inom Bollebygds kommun vid namn *Backa grundvattentäkt*. Dessutom genomfördes en fältstudie för att lokalisera potentiella föroreningskällor i området. Med hjälp av kartverket *EBH-Kartan* kunde dessutom förorenade områden runt Backa upptäckas. Vidare bedömdes grundvattnets sårbarhet för föroreningar genom DRASTIC-metoden med hänsyn till hydrogeologiska och geologiska förutsättningarna. Risken för spridning av föroreningar i *Backa grundvattentäkt* har bedömts genom analys av respektive föroreningskälla.

Resultaten från arbetet visar att *Töllsjövägen* utgör störst risk för grundvattentäkten. Skogsbruk, jordbruk och ridklubb bedöms som medelhög risk och slutligen erhåller golfbanan lägst riskpoäng. Nedströms grundvattentäkten ligger begravningsplatsen och bensinstationen. Dessa bedöms erhålla riskpoäng 0 och är därmed försumbara. Åtgärder som kan vidtas för att förebygga spridning av föroreningar är regelbundna kontroller av gödselhantering, minskad mängd tunga fordon i trafiken samt begränsad exploatering inom tillrinningsområdet. Slutsatsen är att grundvattentäkten har en hög sårbarhet och ett högt värde för omgivningen. Den framtagna riskbedömningsmetoden anses ha god tillämpbarhet där resultaten kan användas för att öka förståelsen för riskbilden kring en grundvattentäkt.

Nyckelord: Grundvattenskydd, Föroreningskälla, Riskbedömning, Hydrogeologi, Vattenskyddsområde, Grundvattentäkt

Abstract

Groundwater is the water which is stored underground and is a fundamental resource. It is an essential component in the hydrological cycle and is used for not merely consumption but also in other areas such as agriculture and irrigation. The preservation of fresh water is of significant importance. Water protection areas are established around different water sources for the purpose of ensuring the preservation and protection of groundwater for drinking water purposes. Furthermore, a risk assessment is carried out to investigate activities which may pollute the groundwater and forms the basis of the framework delineating water protecting areas. In view of this the aim of this work is to create a risk assessment method which allows for the identification and evaluation of potential risks relating to a groundwater source located in Sweden. The developed method is applied on a groundwater source within the municipality of Bollebygd named *Backa grundvattentäkt*. With regards to hydrogeological and geological conditions the vulnerability of the area could be estimated. Additionally, the conducted risk assessment method is based on information from different organisations and regulations regarding the protection of groundwater in Sweden. Moreover, a field study was conducted for the purpose of locating potential pollutant sources. With the help of the map tool *EBH-Kartan* polluted areas around Sweden could be detected. Finally the groundwater vulnerability to pollution was assessed through the DRASTIC-method.

The results from the risk assessment indicate that *Töllesjövägen* poses the greatest risk for the spread of pollution to the groundwater source. Forestry, agriculture and riding club are assessed as medium risk and finally the golf course receives the lowest risk score. Downstream of the groundwater source is the burial site and the gas station. These are deemed to receive a risk score of 0 and are thus negligible. Suggested preventive measures to limit the spread of pollution are regular checks on manure handling, a reduced amount of heavy-duty vehicles in traffic and limited exploitation of land use in the catchment area. In conclusion the groundwater source has a high vulnerability and a high value for the surroundings. The developed risk assessment method is considered to have good applicability where the results can be used to increase understanding of the risk picture around a groundwater source.

Begreppslista

Grundvattenmagasin	Begränsat område i marken där grundvatten samlas och med möjlighet till grundvattenutvinning.
Grundvattentäkt	Grundvattenresurs som används för dricksvattenförsörjning.
Akvifer	Grundvattenmagasin med tillräckligt stora uttagsmöjligheter för att utvinna användbara och ekonomiskt gynnsamma mängder grundvatten.
Vattenskyddsområde	Geografiskt område med särskilda föreskrifter som avser att skydda en vattentäkt från föroreningar.
GIS	Geografiska informationssystem. Används för att analysera och visualisera geografiska data.
Råvatten	Det vatten som tas från en vattentäkt, innan det behandlats för dricksvattenkonsumtion.
Föroreningskälla	Verksamhet eller föremål som kan avge någon form av förorening som kan skada grundvattnet.
Omättad zon	Den del av jordlagret där porer och ihåligheter fylls av både luft och vatten.
Mättad zon	Zonen under den omättade zonen och under grundvattenytan där porer och ihåligheter är vattenfyllda.
Stratigrafi	Berg- och jordlagerföljder.
Grundvattenförekomst	En naturlig förekomst av grundvatten.
Influensområde (grundvatten)	Det område som kan påverka vattenförhållanden, exempelvis sänkta grundvattennivåer.
Hydrogeologi	Grundvattnets förekomst, egenskaper och rörelse i berg och jord.
Nettonederbörd	Total nederbörd minus total avdunstning.

Innehåll

1	Inledning	6
1.1	Bakgrund	6
1.2	Syfte och Målsättning	8
1.3	Avgränsningar	8
1.4	Genomförande	9
1.4.1	Litteraturstudie	9
1.4.2	Utformning av riskbedömningsmetod	9
1.4.3	Identifiering av föroreningskällor	10
1.4.4	Fältbesök	10
1.4.5	Riskbedömning av föroreningskällor	10
2	Hydrogeologiska och Geologiska förutsättningar	11
2.1	Hydrogeologi och Geologi i Sverige	11
2.1.1	Berggrund	11
2.1.2	Jordarter	11
2.1.3	Jordmån	12
2.1.4	Täta jordlager	13
2.1.5	Grundvattenbildning i jord	13
2.1.6	Grundvattenbildning i berg	14
2.1.7	Vattenflöden i sprickor	15
2.2	Hydrogeologi och Geologi i Bollebygd Backa	16
2.2.1	Bollebygd Backa	16
2.2.2	Jordarter i Bollebygd	16
2.2.3	Tillrinningsområden	17
3	Metod	19
3.1	Riskbedömningsmetod	19
3.2	Sannolikhet för utsläpp av föroreningar	21
3.3	Sårbarhetsanalys med DRASTIC-metoden	21
3.4	Uppehållstid	26
3.5	Konsekvens för dricksvattenkonsument	27
4	Resultat	28
4.1	Identifierade föroreningskällor	28
4.1.1	Begravningsplats - Bollebygds kyrka	29
4.1.2	Bensinstation	30

4.1.3	Skogsbruk	31
4.1.4	Jordbruk	32
4.1.5	Ridklubb	33
4.1.6	Golfbana	34
4.1.7	Sand- och betongindustri	35
4.1.8	Nedlagd träindustri	36
4.1.9	Töllsjövägen	37
4.2	Riskbedömning	38
5	Diskussion och Slutsats	41
5.1	Diskussion	41
5.2	Slutsats	43
6	Appendix	I
6.1	Appendix 1	I
6.2	Appendix 2	II

1

Inledning

Vatten är utan tvivel ett viktigt livsmedel samt en fundamental förutsättning för all existens av liv. Grundvatten är jordens största sötvattenresurs och används i många länder, inklusive Sverige, för dricksvattenförsörjning (Jönsson & Wikström, 2003). Att skydda grundvattentäkter har en väsentlig betydelse då föroreningar annars kan spridas och skapa hälsoproblem för de som dricker vattnet. Ett förorenat vatten kan dessutom orsaka problem när det används till andra ändamål som exempelvis bevattning. Med andra ord har upprätthållandet av en god grundvattenkvalitet en betydande roll som bidrar till samhällets funktion och utveckling.

1.1 Bakgrund

Grundvatten bildas genom att regn- och smältvatten sipprar ner i marken och fyller markens porer och sprickor i bergrunden. Eftersom grundvattnet återfinns under markytan kan det uppfattas som svåråtkomligt och skyddat. Trots det kan det vara förorenat av antingen lösta mineraler, motoroljor eller kemikalier från jordbruk och avfall (Jönsson & Wikström, 2003). Grundvattenkvaliteten kan påverkas när vatten infiltreras genom jordlager och löser upp mineraler som järn och mangan eller genom föroreningar som släpps ut och tränger ner i marken till grundvattnet. Höga halter av dessa mineraler kan vara skadliga och ses som naturliga föreningar, dock är föroreningar från mänsklig aktivitet av större intresse då det gäller vattenskyddssammanhang. Då vattnet blir förorenat kan omfattande reningsprocesser krävas för att det ska kunna användas som dricksvatten. Problemet med grundvattenföroreningar är att de, till skillnad från ytvattenföroreningar, är svåra att upptäcka. Dessutom är de utmanande och tidskrävande att sanera och effekterna av föroreningarna kan därför bli långvariga.

Klimatförändringarna bidrar till förändrade nederbördsförhållanden vilket kan påverka kvaliteten på och tillgången till grundvattnet. Grundvatten är en essentiell del av det hydrologiska kretsloppet och genom förändrade avdunstnings- och nederbördsmonster sker det en förändring i kretsloppet. Klimatförändringarna kan dessutom leda till ökad användning av gödsel och bekämpningsmedel samt ökad risk för saltvatteninträngning till följd av havsnivåhöjning i kustområdena. Det leder till ökad risk för grundvattnet och i förlängningen även människor och hälsa.

I Sverige upprättas vattenskyddsområden för att säkerställa att råvatten skyddas mot föroreningar (Havs- och Vatten myndigheten, 2019). Vattenskyddsområden verkar främst förebyggande för att förhindra utsläpp och spridning av ämnen som kan skada grundvattnet. Det kan innebära förbud mot att starta nya verksamheter samt begränsning av aktiva verksamheter som utgör potentiella hot mot grundvattnets kvalitet. Enligt lagstiftningen ska behovet av ett vattenskyddsområde utredas av VA-huvudmannen i alla fall då en vattentäkt försörjer fler än 50 personer med dricksvatten eller kan frambringa mer än 10 m^3 vatten per dygn. En huvudman kan vara kommunen själv eller en annan organisation, exempelvis ett aktiebolag (Svenskt Vatten, 2016). Inom ett vattenskyddsområde gäller särskilda föreskrifter för att skydda råvattnet. Vattenskydds föreskrifter kompletterar och kan skärpa de krav som redan finns enligt miljölagstiftningen och kan inskränka pågående markanvändning om det skulle vara nödvändigt för skydd av vattenresurs. Dessa föreskrifter hanterar risker genom att förebygga eventuella problem som kan förekomma.

Enligt Sveriges Geologiska Undersökning (2020), SGU, är ungefär två tredjedelar av Sveriges grundvattentäkter skyddade med vattenskyddsområden. Vattenskyddsområdena delas ofta in i en vattentäktzon och därefter olika skyddszoner (Havs- och vattenmyndigheten, 2021). Vattentäktzonen är vanligtvis ett litet inhägnat område kring uttagpunkten och annan viktig utrustning där endast dricksvattenproducenten har tillträde. Skyddszonerna utanför vattentäktzonen benämns vanligen primär-, sekundär- och tertiär skyddszon beroende på hur långt ifrån vattenuttaget de befinner sig. I den primära skyddszonen finns strängast föreskrifter med förbud och anmälningsplikt för verksamheter eftersom området anses vara mycket känsligt för påverkan och föroreningar. Kraven och förbuden blir mildare ju längre ut i vattenskyddsområdet en verksamhet befinner sig. Zonerna finns för att skydda vattentäkten men samtidigt inte begränsa omgivande verksamheter mer än nödvändigt. I dagsläget är många vattenskyddsområden föråldrade då de upprättades när lagstiftningen och förutsättningarna såg annorlunda ut. Det medför att vattenskyddsområdena kontinuerligt behöver ses över och kompletteras med riskanalyser och bedömningar utifrån aktuell lagstiftning. För att bidra till riskbedömningsunderlaget för grundvattentäkter i Sverige tas det i detta arbete fram en generell riskbedömningsmetod. För att testa metoden appliceras den på Backa grundvattentäkt, belägen norr om Bollebygds tätort. Detta eftersom Backa utgör ett exempel som avspeglar en ganska typisk mindre kommunal vattentäkt i en för Sverige typisk geologisk förekomst.

1.2 Syfte och Målsättning

Syftet med projektet är att utforma en metodik för att bedöma risker kopplade till en grundvattentäkt. Dessutom ska de platsspecifika förhållanden som avgör täktens sårbarhet för förorening bedömas genom DRASTIC-metoden. Vidare skall metoden testas genom att appliceras på Backa grundvattentäkt utanför Bollebygd för att bedöma föroreningsrisken från verksamheter i området. Baserat på resultaten från utredningen ska lämpliga skyddsåtgärder föreslås. Målsättningen är att metoden ska kunna användas som en generell riskbedömningsmetod för grundvattentäkter i Sverige.

1.3 Avgränsningar

Backa grundvattentäkt är ett litet område i ett större sammanhängande grundvattenmagasin. För att avgränsa arbetet har därför riskbedömningen begränsats till att endast avse grundvattentäkten och föroreningskällor inom tillrinningsområdet till vattentäktens uttagspunkt. Föroreningar som transporteras långväga till andra delar av magasinet och på så sätt kan nå grundvattentäkten bedöms inte.

Då Backa grundvattentäkt är belägen i Nolåns dalgång och i nära anslutning till Nolån föreligger risk för att föroreningar som färdats långt med ån påverkar grundvattentäkten. Enligt Eklund och Ruderfelt (2020) kan det vid höga vattenflöden i Nolån uppstå översvämning av området 1-2 gånger/år. Trots det tas ingen hänsyn till Nolåns påverkan på grundvattnets kvalitet i detta arbete eftersom dessa föroreningars förekomst och ursprung är svåra att bedöma.

Eftersom grundvatten är en livsviktig resurs som kan ha stor inverkan på dess dricksvattenkonsumenter föreligger risk för medvetet sabotage av grundvattentäkter. Sabotage kan innefatta utsläpp av föroreningar och skadliga ämnen som kan påverka befolkning och annat liv negativt, till exempel i samband med krig och konflikt. Eftersom sådan påverkan är svår att bedöma och förutse behandlas den inte i denna rapport och hänsyn tas endast till existerande föroreningskällor i området.

Backa grundvattentäkt ligger runt 2,5 km från riksväg 40 (Palmenäs, 2018). Väg 40 är i sin tur framhållen som en effektiv förbindelse för allt från kollektivtrafik till transporter och personbilstrafik mellan Göteborg och Västervik. Hastighetsbegränsningen vid detta specifika område är över 100 km/h och vid 2015 passerade 22 300 fordon/dygn och mer än 2500 av dessa var tung trafik. Utsläpp från en väg i denna storlek innefattar allt från föroreningar från drift och underhåll till föroreningar som uppstår vid olyckor. Med tanke på att förbindelsen ligger relativt långt ifrån och nedströms från Backa grundvattentäkt tar arbetet dock inte hänsyn till potentiell inverkan från väg 40.

Tekniker för grundvattensanering inkluderar biologiska, kemiska och fysikaliska reningmetoder. De flesta grundvattenbehandlingsmetoder kombinerar flera olika tekniker (EE&G Companies, 2020). Eftersom detta är tidskrävande och dyrt är det enklare och mer ekonomisk att skydda grundvatten från förorening i förväg. Denna uppsats avser därför endast att undersöka hur grundvattenkvaliteten kan skyddas och att bedöma föroreningsrisken. Förorening avser i detta arbete sådant utsläpp av förorening som kan ha skadlig påverkan på liv och hälsa. Ingen hänsyn tas till hur vattnet renas innan det distribueras som dricksvatten.

1.4 Genomförande

Arbetet genomförs i fem steg som beskrivs kort i följande avsnitt.

1.4.1 Litteraturstudie

Inledningsvis genomförs en litteraturstudie, dels för att sätta sig in i ämnet, dels för att lära känna området kring Backa grundvattentäkt. I litteraturstudien ingår kunskapssamlande inom hydrogeologi, geologi och förutsättningar för grundvattenbildning i Sverige och i det aktuella området. Till grund för studien ligger såväl information om Sveriges geologi från SGU som tekniska rapporter och utredningar från Backa grundvattentäkt. För att få en bild av områdets förutsättningar i form av jordlager, grundvattentillgång och tillrinningsområden används SGU:s kartvisare. Med hjälp av programvaran ArcMap genomförs en GIS-analys av kartmaterialet som sedan används i rapporten för att illustrera regionen och dess förutsättningar. Användandet av ArcMap ger också en större förståelse för markens sårbarhet i området och hur den påverkar risken för att grundvattnet förorenas.

1.4.2 Utformning av riskbedömningsmetod

Utformningen av riskbedömningsmetoden är av stor vikt i arbetet eftersom målsättningen är att den ska kunna användas som en generell riskbedömningsmetod för grundvattentäkter i Sverige. Metoden baseras på information från Livsmedelsverket, Havs- och Vattenmyndigheten samt andra myndigheter som styr lagstiftning och praxis kring grundvattenskydd i Sverige. Litteraturstudien ligger i sin tur till grund för förståelsen för hydrogeologiska förhållanden och vilka parametrar som är relevanta i en metod för riskbedömning av grundvatten. Dessutom bearbetas metoden tillsammans med handledare och examinator med expertis inom området. Den slutliga riskbedömningsmetoden beskrivs mer i den huvudsakliga metoddelen i kapitel 3.

1.4.3 Identifiering av föroreningskällor

I det tredje steget identifieras potentiella föroreningskällor i området kring Backa grundvattentäkt. En föroreningskälla avser i detta arbete ett föremål eller en verksamhet vars utsläpp kan utgöra risk för icke gynnsam inverkan på vattentäkten. Information om närområdets verksamheter hämtas från kommunens hemsida och andra relevanta källor, såsom tidigare utredningar och EBH-kartan. EBH betyder *efterbehandling av förorenade områden* och EBH-kartan är ett kartverktyg tillhandahållet av Länsstyrelserna som visar var det finns identifierat förorenade områden i Sverige (Länsstyrelserna, u. å). Dessutom används satellitbilds-vyn i Google Maps för att avgöra om det finns fler potentiella föroreningskällor i området och deras respektive placering. Med hjälp av detta resultat kan insatser rekommenderas för att minska risken för förorening av vattentäkten.

1.4.4 Fältbesök

För att få en bättre överblick över det aktuella området genomförs ett gemensamt fältbesök i Bollebygd. Fältbesöket ger en tydligare bild över områdets topografi och förutsättningar samtidigt som det ger en känsla för vattentäktens placering och betydelse. Som en del av fältbesöket besöks och fotograferas möjliga föroreningskällor och verksamheter nära grundvattentäkten. Besöket ger även möjlighet till att upptäcka fler föroreningskällor.

1.4.5 Riskbedömning av föroreningskällor

Risken för förorening av Backa grundvattentäkt bedöms utifrån den framtagna riskbedömningsmetoden. Metoden tillämpas på grundvattentäkten i Backa i syfte att bedöma risken för grundvattentäkten och från varje identifierad föroreningskälla. Riskbedömningen bidrar dessutom till att metodens användbarhet kan testas och utvärderas.

2

Hydrogeologiska och Geologiska förutsättningar

Bildningen av grundvatten och uttagsmöjligheten beror på hydrogeologiska förutsättningar. I detta avsnitt presenteras de geologiska förutsättningarna samt områdets hydrogeologiska egenskaper och avrinningsområden för vattentäkten. Dessutom beskrivs vattnets rörelse i berg samt berggrunden och sprickzoner i Sverige, men även mer specifikt i Bollebygd Backa.

2.1 Hydrogeologi och Geologi i Sverige

2.1.1 Berggrund

De tre huvudenheter som Sveriges berggrund består av är urberg, rester av ett sedimentbergartstäckte och fjällberggrunden (Sveriges Geologiska Undersökning, u. å-b). Ur berggrundssynpunkt utgör urberget en del av ett geologiskt stabilt område, nämligen Fennoskandiska urbergsskölden. Denna är en del av paleokontinenten Baltica och utgörs av bergarter som bildades under prekambrisk tid. De äldsta bergarterna i Sverige är mer än 2 500 miljoner år gamla. Det innebär att de är av arkeisk ålder och förekommer i begränsad omfattning i norra Sverige. Berggrunden i norra och mellersta Sverige hör till Svecofenniska provinsen och bildades för mellan 1750 – 1900 miljoner år sedan (Naturhistoriska riksmuseet, 2020). Den består av omvandlade sedimentära och vulkaniska bergarter samt graniter. Flera av Sveriges viktigaste malmförekomster i Bergslagen, Skelleftefjälltet och Norrbotten bildades i samband med vulkanism för 1900 miljoner år sedan. I den Skandinaviska fjällkedjan sträcker sig berggrunden genom stora delar av Norge och vissa delar av Sverige. Dock tillhör det inte den egentliga urbergsskölden. I sydvästra Sverige består berggrunden av proterozoisk berggrund, alltså urberg, som bildats för mellan 1710-920 miljoner år sedan (Sveriges Geologiska Undersökning, u. å-b).

2.1.2 Jordarter

Sveriges jordar bildades för drygt 10 000 år sedan, det vill säga under eller efter senaste istiden (Naturskyddsföreningen, 2022). Den tjocka inlandsisen malde bergarterna i landet till den graden att det bildades stenar i olika storlekar. Dessa stenar kallas markpartiklar och bygger upp våra jordar. De smältande ismassorna orsakade förflyttning av dessa markpartiklar till olika delar av landet. Detta ledde därefter till

uppkomsten av dagens jordar. Beroende på hur stora partiklar de innehåller, delas de jordar som isen lämnade efter sig in i olika grupper. Dessa kallas för jordarter och de vanligaste i Sverige är lera, silt, sand och morän. I de allra flesta jordar finns det partiklar av olika storlekar, dock är det den vanligaste partikelstorleken som avgör hur jordarten benämns.

En viktig aspekt att ta hänsyn till vid en sårbarhetsanalys för grundvatten är egenskaperna hos överlagrande jord (Sveriges geologiska undersökning, 2014). Om jorden består av grus eller sand med stora porer kan vattnet snabbt transporteras genom jordlagren och bilda grundvatten. Föroreningar som eventuellt skulle kunna förekomma följer med och når vattnet snabbt. Av den anledningen ger hög genomsläpplighet i jordlager en hög sårbarhet, se tabell 2.1.

Tabell med jordarters indelning i sårbarhetsklasser.

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

Tabell 2.1: Jordarters indelning i sårbarhetsklasser (Sveriges Geologiska Undersökning, 2023a)

2.1.3 Jordmån

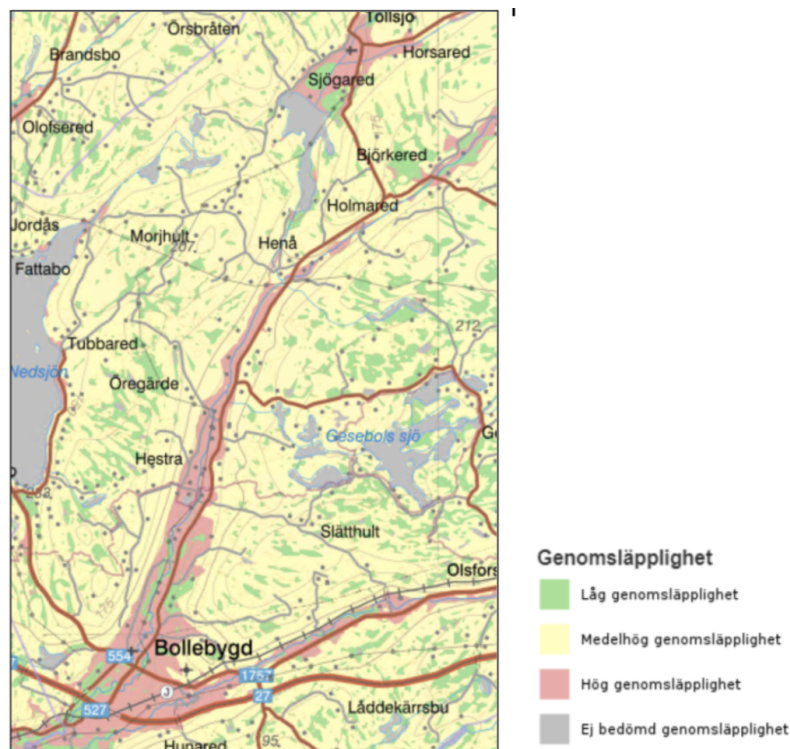
Jordmån skiljer sig en del från jordarter. Jordarten är konstant och beskriver jordens innehåll av markpartiklar (Naturskyddsföreningen, 2022). Jordmånen är dock mer föränderlig och skapas genom biologiska och kemiska processer som påverkar marken. Här hittar man växternas rötter och egenskaperna för jordmånen varierar, precis som för jordarter. Ytterligare kan jordmånen tala om vilka växter som är lämpliga för just den jordmånen. I Sverige är jordmånerna cirka 0.5 meter djupa och de vanligaste är brunjord och podsol. Brunjorden är väldigt näringsrik samt innehåller mikroorganismer som förflyttar organiskt material och mineralpartiklar i jorden för att beblanda det med växternas rötter. Denna jordmån finns dessutom i lövskogar i mellersta och södra Sverige. Podsol täcker cirka 70 procent av Sveriges landyta. Den är dessutom näringsfattig och sur vilket innebär att det inte är rikt på mikroorganismer.

2.1.4 Tätta jordlager

Som tidigare nämnts är egenskaperna hos överlagrande jord essentiella vid en analys för grundvatten. Jord som är komprimerad fullgör mer eller mindre funktionen av en så kallad hårdgjord yta av den orsak att materialet får en påtagligt minskad infiltrationskapacitet. I områden med jord av det slaget strömmar vatten och föroreningar iväg och infiltrerar istället där infiltrationskapaciteten är högre (Trafikverket, 2020b). Det finns dock ingen tydlig definition på vad som betraktas som tätande jordlager. Detta kan leda till att man tar för givet att grundvatten är naturligt skyddat av ovanliggande jordlager, vilket i sin tur kan leda till att viktiga skyddsåtgärder missas och att grundvattnets kvalitet äventyras. Det man däremot har kunskap om är att ett jordlagers tätande egenskaper huvudsakligen utgörs av två faktorer, nämligen genomsläpplighet och mäktighet. Exempel på jord med låg genomsläpplighet är finkorniga jordar, såsom lera och silt. Det som menas med mäktighet är i själva verket tjockleken på jordlagret. Anledning till att det är en betydelsefull faktor är för att det tar längre tid för vatten att infiltrera ett lager som är mäktigt (Bovin m. fl., 2015).

2.1.5 Grundvattenbildning i jord

Grundvatten i jord bildas genom att vatten från sjöar, nederbörd och ytvatten tränger in i markprofilen och når den mättade grundvattenzonen (Floren, 2015). Det mesta av grundvattnet bildas direkt genom att nederbörd infiltrerar och endast en liten del bildas genom att vatten från andra vattendrag indirekt tränger in i grundvattenmagasinet. Grundvatten kan delas in i en mättad och omättad zon. I den omättade zonen fyller både luft och vatten porer och sprickor. Denna zon kan delas in i intermediära-, markvatten- och kapillärzonen. I den mättade zonen finns det vatten i alla sprickor och porer. Hur mycket av nederbörden som infiltrerar genom jordlagren beror på olika faktorer som vilken form nederbörden kommer i. Regn har lättare för infiltration än snö och hagel. Infiltrationen bestäms dessutom av markens struktur, jordartstyp, markytans vattenhalt samt jordlagrens hydrauliska konduktivitet. I Sverige är infiltrationskapaciteten större än regnintensiteten (Barkestedt, 2019). Detta innebär att om all nederbörd infiltrerar är grundvattenbildningen lika med nettonederbörden. Dessutom är det den teoretiskt högsta grundvattenbildningen som kan ske. Vidare är det väsentligt att bestämma ett noggrant värde för markens genomsläpplighet för att kunna beräkna hur stor grundvattenbildningen är vid en given tidpunkt (Floren, 2015). I figur 2.1 visas en kartbild över områdets genomsläpplighet. Det är väldigt svårt att bestämma ett medelvärde för den hydrauliska konduktiviteten för morän på grund av den varierande sammansättningen. För morän är mikrostrukturen, kornorienteringen samt sprickor betydande för vattengenomsläpplighet. Grundvattenbildning är en komplex process och kan endast ske om vissa givna förutsättningar är uppfyllda. Grundvattenbildning varierar beroende på väderförhållanden eftersom avdunstningen är större vid högre temperaturer och växter tar upp mycket av det tillgängliga vattnet vilket medför att det inte sker någon grundvattenbildning.



Figur 2.1: Kartbild över genomsläppligheten i Nolåns dalgång (Sveriges Geologiska Undersökning, 2023b).

2.1.6 Grundvattenbildning i berg

Grundvattenbildning sker också till berggrunden. Bildandet kan i stort sett ske i alla typer av geologiska miljöer. Det som dock har en inverkan på dess kvantitet är beroende av förutsättningar såsom den vattenförande förmågan i berget och tillgången av vatten (Sundqvist m. fl., 2009). Risken för spridning av föroreningar genom berg är minimal för många områden i Sverige eftersom merparten av förorenade platser i Sverige påträffas i anknytning till större vattendrag i dalgångar fyllda med jord. Om grundvattnet som sipprar igenom bergets sprickor förorenas finns det dessutom inte så stora möjligheter för fastläggning av föroreningar. Jordens egenskaper, däribland mäktighet och täthet, motverkar nedträngning av föroreningar till underliggande berggrund. Det som däremot är bra att veta är att detta "skydd" inte existerar överallt i Sverige. Grundvattenbildningen i berg sker framförallt genom perkolation av vatten från påliggande jordlager, alltså att vatten rör sig neråt i markprofilen. En förutsättning för detta är att det finns stor sprickighet vid de övre delarna av berggrunden, vilket oftast existerar men avtar med djupet. Utgångspunkterna för spridning av föroreningar i berg samt fortsättningsvis i berget beror på flera olika förutsättningar, allt från lokalisering och föroreningars egenskaper till bergets hydrogeologiska karaktärsdrag.

2.1.7 Vattenflöden i sprickor

Flödet av grundvatten i kristallina bergarter, såsom granit och gnejs, sker i sprickor och spricksystem (Floren, 2015). Vittringszoner och täta gångbergarter kan ibland dämna upp vattnet och därmed stoppa det. Vattnet flödar därmed längs området där uppdämningen sker tills det antingen upphör eller att det blir mer genomsläppligt. Hur stort flödet blir genom berggrunden beror på sprickornas öppenhet, avstånd, utbredning och sammankoppling i berget. Grundvattenflödet genom en bergart karakteriseras med hänsyn till bergets porositet, permeabilitet, tryckförhållande, uppbyggnaden av spricksystemet samt berggrundens stratigrafi. Vidare förklarar Sundqvist m.fl (2009), förutom att sprickors vattenförande karaktärsdrag har sin grund i dess öppenhet beror det på liknande sätt av bland annat sprickornas längd. Det finns nämligen en korrelation mellan längd på sprickor samt sannolikheten att det finns sammankoppling med andra sprickor. En väsentlig del av vattenströmningar inträffar just vid korsning av olika sprickplan och detta kan i sin tur leda till att flödet genom berggrunden ökar.

2.2 Hydrogeologi och Geologi i Bollebygd Backa

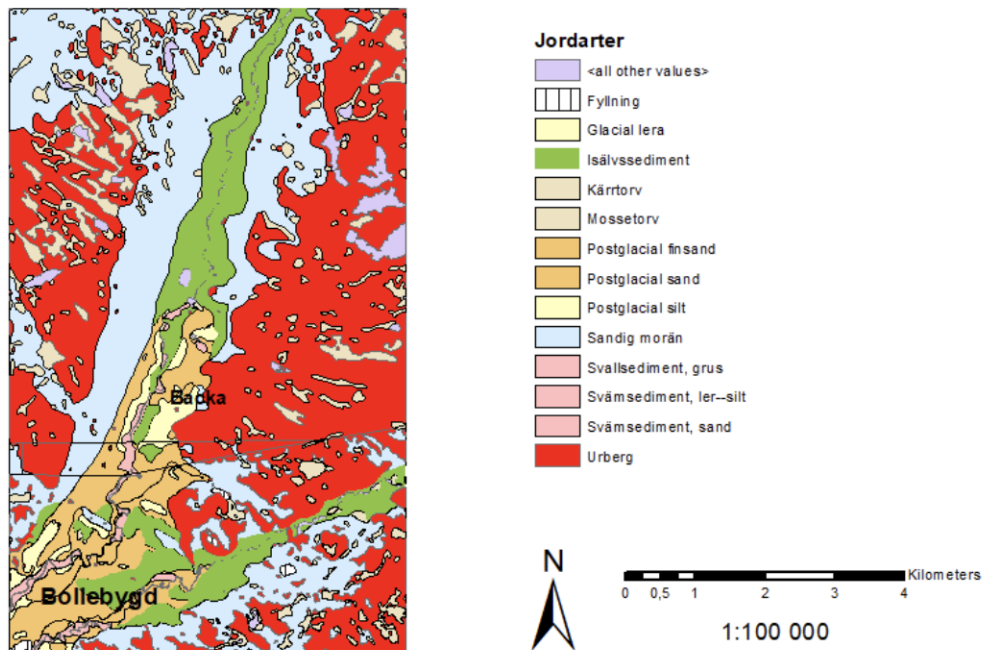
2.2.1 Bollebygd Backa

Bollebygd kommun ligger mellan Göteborg och Borås och tätorten har en befolkning på drygt 4500 invånare (Bollebygds kommun, 2022). Tätortens vattenförsörjning kommer från Backa grundvattentäkt, belägen i Nolåns dalgång. Grundvattentäkten är en del av ett större grundvattenmagasin, ett område i marken med möjlighet till grundvattenutvinning (Sveriges Geologiska Undersökning, 2022). Enligt VISS (2021), Vatteninformationssystem Sverige, är detta ett grundvattenmagasin med mycket goda möjligheter att utvinna stora mängder vatten med en uppskattad kapacitet på 25–125 l/s. Enbart Backa grundvattentäkt bedöms ha en uttagskapacitet på 25 l/s. Det är därmed av stort intresse att identifiera och analysera de föroreningskällor som finns samt de förutsättningar som påverkar risken dessa utgör för grundvattenmagasinet. På så sätt kan negativ påverkan av grundvattnets kvalitet motverkas långsiktigt för att säkerställa en god vattenförsörjning i närområdet. I följande delkapitel beskrivs området mer på djupet.

2.2.2 Jordarter i Bollebygd

I Nolåns dalgång bildades stora volymer vatten när inlandsisen smälte. Till följd av detta bildades isälvar i bergets sprickor och vattnet förde med sig löst material (Östlund m. fl., 2019). Vidare avsattes stenar, grus och sand som sediment vilket är en orsak till att dalgången utgörs av isälvssediment, postglacial sand och svämsediment, se figur 2.2. Dessa processer har även medfört att moränjordar avsatts längs dalgångens sidor. Runt omkring dalgången karaktäriseras området av urberg och den högsta kustlinjen (HK) är cirka 90 meter över havet. Detta innebär att större delar av avlagringen ligger under HK och jordlagerföljden är därmed mer komplex. Materialet i dalgångarna är dock eftertraktat som byggnadsmaterial, vilket innebär att dessa avlagringar i stor utsträckning brutits ner i tätbebyggda områden. Avlagringarna som finns i området är väsentliga för vattenrening och för att magasinera grundvatten. Alltså är det av stor vikt att skydda kvarvarande lagren av dessa sedimentationsjordar från exploatering. Jorddjupen i dalgången är cirka 10 – 30 meter men på höglandet omkring dalgången är jordlagret mycket tunt. Sammansättningen av det översta jordlagret varierar inom området och består av mulljord, sand, silt och lera i olika halter.

Hydrogeologiska undersökningar utförda runt Backa grundvattentäkt har påvisat att de lokala geologiska förhållandena skiftar i hög grad (Eklund & Ruderfelt, 2020). De visar att jordlagrens översta yta i anslutning till vattentäkten utgörs av siltig sand och siltig lera, men att tjockleken på lagret varierar från endast ett par meter till cirka 20 meter. I anslutning till vattentäkten är det existerande täta lagret enbart en dryg meter och mer söder ut om täkten förekommer inte ett sådant skydd alls .



Figur 2.2: Kartbild över jordarter i Nolåns dalgång

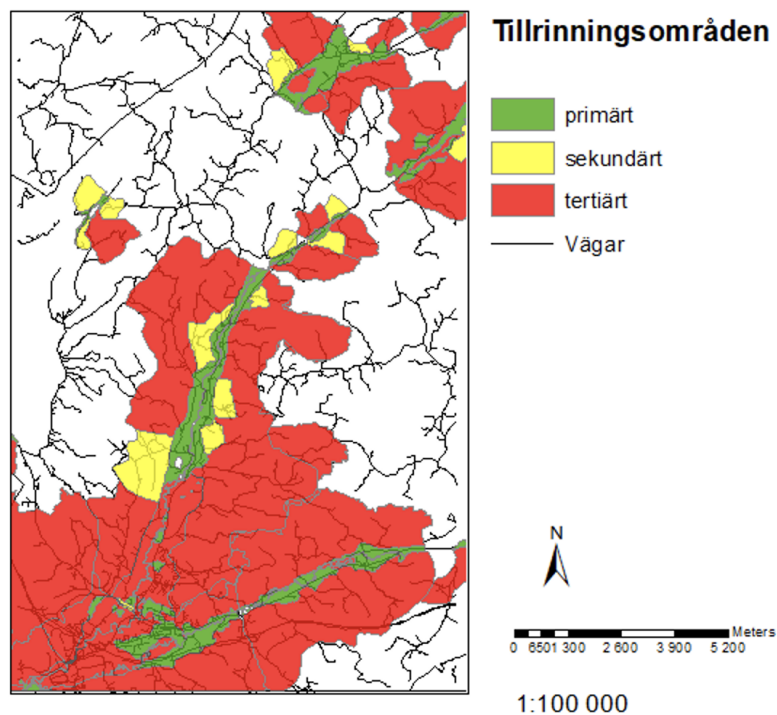
2.2.3 Tillrinningsområden

Definitionen av ett tillrinningsområde är den markytan varifrån vattnet rinner till olika vattendrag inom ett område (Nationalencyklopedin, u. å-b). När det gäller ytvatten är tillrinning- och avrinningsområde olika. Ett avrinningsområde är både markytan och vattenytan som samlar upp all nederbörd till en specifik plats. Tillrinningsområdet till en grundvattentäkt och ett grundvattenmagasin kan vara densamma men är oftast mindre (Naturvårdsverket, 2011). Tillrinningsområdets utbredning bestäms mestadels av storleken på vattenuttaget, balansen mellan uttaget och nybildningen av grundvattnet samt grundvattenmagasinets naturliga grundvat- tengradient och genomsläpplighet. Ett primärt tillrinningsområde definieras som det område som aktivt bidrar till grundvattenbildning i en grundvattenförekomst. (Lång m. fl., 2003). Om det inte sker något uttag av grundvattnet i grundvattenförekomsten är det främst A- och B-ytor som utgör de viktigaste ytorna för grundvattenbildning inom tillrinningsområdet. En A-yta definieras som den yta där grundvattenbildning sker genom direkt infiltration av nederbörd. B-ytor är utgör ytor inom avrinnings- området från vilka det sker en grundvattenströmning till grundvattenförekomsten genom ytligt grundvattenflöde. Dessa två typer av ytor tillhör det primära tillrin- ningsområdet och bidrar därmed till grundvattenbildning i grundvattenförekomsten.

Förhållandena kan dock förändras om ett uttag av grundvatten påbörjas så att det primära tillrinningsområdet utökas genom inläckage från vattendrag eller genom att influensområdet utvidgas. Denna förändring av det primära tillrinningsområdet vid grundvattenuttag beror på faktorer som grundvattenmagasinets egenskaper, utta- gets storlek, läget på uttagspunkten i grundvattenförekomsten och tillrinningsområ-

dets karaktär. Ett sekundärt tillrinningsområde beskrivs som den del av tillrinningsområdet vilken står för en obetydlig del (10% eller mindre) av det grundvatten som tillförs en grundvattenförekomst eller vid grundvattenuttag. Det utgörs av områden utanför det grundvattenmagasinet där hela den effektiva nederbörden når grundvattnen (Eveborn m. fl., 2017).

Vidare omfattar tertiära tillrinningsområden övriga delar av tillrinningsområdet från vilka en mindre del av den effektiva nederbörden når grundvattenmagasinet samt där kontinuerlig ytvattendränering sker. Kartbilden i figur 2.3 illustrerades i ArcMap och visar de olika tillrinningsområdena i Nolåns dalgång. Områdena närmast grundvattentäkten är primära och sekundära och övriga områden som ligger längst bort är tertiära tillrinningsområden. Identifiering och kartläggning av dessa områden är väsentligt för att förbättra skyddet av grundvattentäkten.



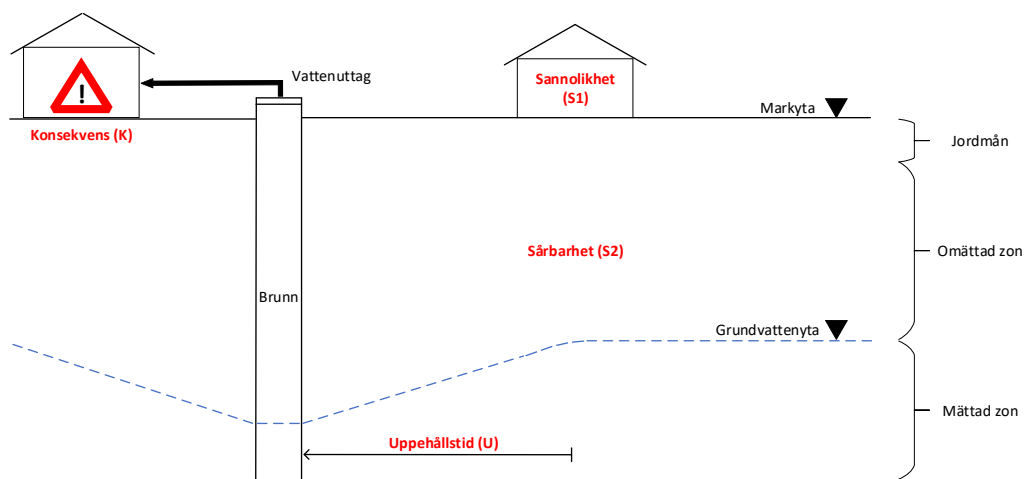
Figur 2.3: Tillrinningsområden för Backa grundvattentäkt

3

Metod

3.1 Riskbedömningsmetod

Begreppet *risk* kan beskrivas som en kombination av sannolikheten för och konsekvensen av en viss händelse (Lindhe, 2010). I denna riskbedömningsmetod uttrycks risk som en produkt av *sannolikheten för utsläpp av föroreningar*, *sårbarhet*, *uppehållstid* och *konsekvensen för dricksvattenkonsumenten*. Sårbarheten och uppehållstiden beaktas eftersom de beskriver förutsättningarna för att en transport av förorening från föroreningskälla till grundvatten och vattenuttag ska ske. Parametrarna illustreras i figur 3.1.



Figur 3.1: Konceptuell sektionsbild över riskbedömningsmetoden.

Riskekvationen som presenteras nedan används för att beräkna en riskpoäng för varje bedömd föroreningskälla. Varje parameter poängsätts från 1-4, förutom *uppehållstid* som poängsätts 0-4. Parametrarna som bedömts och poängsatts multipliceras med varandra för att ge den slutliga riskpoängen, se ekvation 3.1. Riskpoängen beräknas för att underlätta en rangordning av föroreningskällorna utifrån risken de bedöms utgöra för grundvattentäkten. Resultatet delas in i intervall enligt tabell 3.1 för att uttrycka riskens storlek. Färgskalan i figur 3.2 används genom riskbedömningsmetoden och i resultatet för att illustrera allvarlighetsgraden av varje parameter respektive den slutliga risken.

S_1 = Sannolikhet för utsläpp av föroreningar

S_2 = Sårbarhet

U = Uppehållstid

K = Konsekvens för dricksvattenkonsument

$$Risk = S_1 \times S_2 \times U \times K \tag{3.1}$$



Figur 3.2: Färgskala som används för att illustrera allvarlighetsgraden.

Tabell 3.1: Slutlig riskpoäng uppdelad i färgskalat intervall

Begrepp	Definition
Liten risk	0-64
Medelstor risk	65-128
Stor risk	129-192
Mycket stor risk	193-256

3.2 Sannolikhet för utsläpp av föroreningar

Sannolikheten för att ett utsläpp av en förorening sker definieras utifrån Livsmedelsverkets *Risk- och sårbarhetsanalys för dricksvattenförsörjning* (2007), se tabell 3.2. Sannolikheten delas upp i fyra intervall som poängsätts från 1-4. Därtill används en färgskala från grön till röd där grön symboliserar liten sannolikhet och röd symboliserar mycket stor sannolikhet.

Tabell 3.2: Sannolikheten för utsläpp av föroreningar (Livsmedelsverket, 2007)

Begrepp	Definition	Poäng
Liten sannolikhet	Enligt en fackmässig bedömning kan händelsen inte uteslutas	1
Medelstor sannolikhet	En fackmässig bedömning visar att händelsen kan inträffa de närmaste 10–50 åren	2
Stor sannolikhet	En fackmässig bedömning visar att händelsen kan inträffa de närmaste 1–10 åren	3
Mycket stor sannolikhet	Händelsen förekommer nu och då i den egna anläggningen	4

3.3 Sårbarhetsanalys med DRASTIC-metoden

För att göra en analys av grundvattentäktens sårbarhet för föroreningar appliceras DRASTIC-metoden. DRASTIC är ett klassificeringssystem som bedömer grundvattnets sårbarhet och baseras på områdets hydrogeologiska egenskaper (Moberg & Burman, 2004). Sårbarheten bedöms utifrån sju olika hydrogeologiska parametrar som ligger till grund för utvärderingen av föroreningspotentialen. Rosén (1991) beskriver parametrarna som studeras i DRASTIC-metoden anpassade till svenska förhållanden, se tabell 3.3.

Tabell 3.3: Hydrogeologiska parametrar som utvärderas i DRASTIC-metoden (Rosén, 1991)

Bokstav	DRASTIC-parametrar	Vikt
D	Djup till grundvattenytan	5
R	Grundvattenbildning	4
A	Akviferens material	3
S	Jordmånens material	2
T	Topografi	1
I	Den omättade zonens material under jordmånen	5
C	Akvifermateriallets hydrauliska konduktivitet	3

Då DRASTIC-metoden togs fram i USA under mitten av 80-talet var syftet att utveckla en standardiserad sårbarhetsklassificeringsmetod för att förenkla arbetet för deras motsvarighet till Naturvårdsverket, USEPA (Aller m. fl., 1987). Metoden har sedan dess blivit vedertagen över hela världen. När metoden kom till Sverige behövdes anpassningar efter svenska markförhållanden, vilket presenteras av Rosén (1991). DRASTIC möjliggör en sårbarhetsklassificering där varje parameter poängsätts utifrån ett relativt poängsystem. Dessa viktas sedan med 1-5 efter dess betydelse för sårbarheten hos grundvattentäkten. De sju parametrar som utvärderas samt deras respektive viktning presenteras i tabell 3.3 och förklaras mer ingående nedan.

Djup till grundvattenytan (D):

Djupet till grundvattenytan är ett mått på avståndet mellan markytan och grundvattenytan. Detta avstånd har stor betydelse för sårbarheten eftersom det påverkar hur snabbt en förorening når grundvattnet (Rosén, 1991). Ett större djup minskar risken för att en förorening når grundvattnet eftersom den hinner brytas ner på vägen. Är avståndet litet är sårbarheten desto högre. För att bedöma djupet till grundvattenytan i det aktuella området används SGUs brunnsarkiv. Datan interpoleras med IDW i ArcMap och området klassificeras utifrån tabell 3.4 efter djup till grundvattenytan. Klassificeringen illustreras med hjälp av färgkodning med en färgskala från grön till röd. Grön illustrerar låga poäng och röd illustrerar höga poäng.

Tabell 3.4: Djup till grundvattenytan i området samt poäng.

Meter	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

Grundvattenbildning (R):

För att ett grundvattenmagasin ska fyllas på med vatten krävs grundvattenbildning. Det sker genom att nederbörd infiltreras genom marken och ner till grundvattenmagasinet (Eveborn m. fl., 2017). Grundvattenbildningen i DRASTIC utgår från den nettonederbörd som når grundvattnet varje år, vilket beskrivs som den totala nederbörden minus evapotranspirationen (Rosén, 1991). Evapotranspiration innefattar den mängd ånga och vatten som avdunstar från mark och växter upp i atmosfären (Eveborn m. fl., 2017). I DRASTIC-metoden anses hög grundvattenbildning vara förenat med högre sårbarhet eftersom större flöden genom marken bidrar till korta rinntider (Rosén, 1991). Dessutom ökar urlakningen och transporthastigheten av föroreningar som kan skada grundvattnet. Är grundvattenbildningen väsentligt högre än 250 mm/år finns dock viss möjlighet för att det höga flödet istället möjliggör utspädning av föroreningar. Det gör att skalan för grundvattenbildning i DRASTIC endast uppgår till 9 poäng, se tabell 3.5, till skillnad från 10 poäng för övriga parametrar. Utöver nederbörden är materialet i marken avgörande för infiltrationsmöjligheten.

I det aktuella området används SGUs data över grundvattenmagasin för att inhämta information om grundvattenbildning i området. Området klassificeras enligt tabell 3.5 och färgkodas från grönt till rött.

Tabell 3.5: Grundvattenbildningen i området samt poäng.

Meter	Poäng
0-50	1
50-100	3
100-175	6
175-250	8
>250	9

Akviferens material (A):

Akviferens material avser det geologiska material som akviferen består av, vilket påverkar dess förmåga att motstå och förhindra spridning av föroreningar (Rosén, 1991). Den undersökta akviferen består av isälvsediment, vilket poängsätts som sand och grus enligt tabell 3.6.

Tabell 3.6: Akviferens material samt poäng.

Materialtyper	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

Jordmånens material (S):

Jordmånen är den övre del av marken som är närmast markytan (Stendahl, 2020). Denna har till skillnad från den omättade zonen påverkats av frost och vatten, organismer och biologiska processer samt klimat och väder som påverkar dess sammansättning och egenskaper. Jordmånen kring Backa grundvattentäkt har varierande karaktär och bedöms utifrån jordartsdata från SGU. Jordmånens material antas vara detsamma som materialet i jordartskartan, se figur 2.2. Jordmånens poängsätts enligt tabell 3.7. Poäng 3 och 4 tilldelas områden med silt eller lera eftersom "loam" förenklat översatt till svenska betyder lerjord, dock med ett högre innehåll av sand.

Tabell 3.7: Jordmånens material samt poäng.

Materialtyper	Poäng
Mycket tunn eller ingen jordmån	10
Grus	10
Sand	9
Torv	8
Siltig "loam"	4
Lerig "loam"	3

Topografi (T):

Topografin beskrivs i DRASTIC som markens lutning i området (Rosén, 1991). Lutningen påverkar främst avrinningen vid nederbörd där hög lutning ger en snabb avrinning och liten lutning ger en hög infiltrationsgrad. Låg lutning anses höja sårbarheten eftersom föroreningar hinner infiltrera i större utsträckning. I det aktuella området används Lantmäteriets höjddata och Slope i ArcMap för att gestalta och bedöma lutningen i området. Området färgkodas från grön till röd efter poängsättning och klassificering enligt tabell 3.8.

Tabell 3.8: Topografin i området samt poäng.

Lutning i procent	Poäng
0-2	10
2-6	9
6-12	5
12-18	3
>18	1

Den omättade zonen material under jordmånen (I):

Den omättade zonen är det jordlager som finns mellan grundvattenytan och jordmånen (Rosén, 1991). Det är här många föroreningar bryts ner och oskadliggörs innan det når grundvattnet. Materialets specifika yta spelar stor roll och finkorniga material är därför mer effektiva vid nedbrytning av föroreningar. Bedömningen av den omättade zonen material görs med utgångspunkt i jordartkartan för området, se figur 2.2. Eftersom området är beläget under högsta kustlinjen antas den omättade zonen under sand, silt och lera bestå av lera och under torv bestå av gyttja. I områden med isälvsmaterial antas isälvsmaterial, alltså sand och grus, för hela djupet. I tabell 3.9 redovisas de materialtyper som påträffas i den omättade zonen i området och poängen de klassificerats efter i ArcMap. Gyttja antas vara likvärdig med 6 poäng.

Tabell 3.9: Den omättade zonen material under jordmånen samt poäng.

Materialtyp	Poäng
Silt/lera	3
Kristallint berg	4
Sand och grus med betydande del silt och ler	6
Sand och grus	8

Akviferens hydrauliska konduktivitet (C):

Hydraulisk konduktivitet beskriver ett materials genomsläpplighet och ledningsförmåga av vatten (SMHI, 2023). En hög hydraulisk konduktivitet innebär en snabbare transport för en förorening genom ett material. Låg hydraulisk konduktivitet leder till en låg flödes hastighet. Detta är avgörande för hur snabbt en förorening når grundvattnet. Finkorniga material, så som lera och silt har generellt låg hydraulisk konduktivitet. Materialet i akviferen bedöms utifrån jordartskartan, se figur 2.2, och antas bestå av isälvsmaterial inom grundvattenmagasinet för att sedan övergå i morän och urberg. Isälvsmaterial tilldelas 8 poäng och morän och berg tilldelas 1 poäng.

Tabell 3.10: Den hydrauliska konduktiviteten hos akviferens material samt poäng.

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
$5 \cdot 10^{-4} - 1 \cdot 10^{-3}$	8
$> 1 \cdot 10^{-3}$	10

DRASTIC-index

Den bedömda poängen för varje parameter samt dess vikt sammanställs enligt ekvation 3.2. Index v och p står för *vikt* och *poäng*. Det beräknade värdet beskriver områdets DRASTIC-index, vilket är ett relativt värde på områdets sårbarhet. Ett högt värde indikerar hög sårbarhet. Slutligen sammanställs DRASTIC-index i en sårbarhetskarta med Weighted Sum i ArcMap. DRASTIC-index klassificeras först i åtta intervall enligt DRASTIC-metodens standard (Rosén, 1991). Dessa slås samman två och två till totalt fyra intervall och erhåller poäng 1-4 samt färgkod enligt tabell 3.11.

$$DRASTIC - index = D_v D_p + R_v R_p + A_v A_p + S_v S_p + T_v T_p + I_v I_p + C_v C_p \quad (3.2)$$

Tabell 3.11: Sårbarhetsklassificering

DRASTIC-index	Poäng
<80-99	1
100 - 139	2
140 - 179	3
>180	4

3.4 Uppehållstid

Avståndet mellan en föroreningskälla och grundvattentäkten bedöms utifrån tiden det tar för en förorening att förflytta sig den aktuella sträckan. Tiden beräknas som uppehållstid i marken med hjälp av Darcy´s lag, se ekvation 3.3-3.4, och ekvation 3.5 (Sparrenbom & Jeppsson, 2022). Uppehållstiden beskriver hur snabbt en förorening kan nå grundvattentäkten. Indata för grundvattenmagasinets hydrauliska konduktivitet, gradient och porositet hämtas från Swecos rapport över området (Eklund & Ruderfelt, 2020). Samtlig indata samt beräknad uppehållstid presenteras i appendix 1. I avståndet vägs även föroreningskällans placering i relation till vattentäkten in. Föroreningskällor som är placerade nedströms från vattentäkten sett till vattnets strömningsriktning i grundvattenmagasinet erhåller poäng 0. Den lägsta poängen tilldelas eftersom risken för att utsläppen vandrar uppströms är så pass liten att föroreningsrisken bedöms vara försumbar. Uppehållstiden i grundvattenmagasinet innan föroreningen når grundvattentäkten beräknas och delas upp i intervall, se tabell 3.12, baserade på *Naturvårdsverkets handbok om vattenskyddsområde* (Naturvårdsverket, 2011).

$$v = k \times i \quad (3.3)$$

v = brutto vattenströmningshastighet [m/s]

k = hydraulisk konduktivitet [m/s]

i = hydraulisk gradient [%]

$$v_n = v/n_e \quad (3.4)$$

v_n = verklig vattenströmningshastighet [m/s]

n_e = porositet [-]

$$t = L/v_n \quad (3.5)$$

t = Uppehållstid i grundvattenmagasin [s]

L = Flödessträcka [m]

Tabell 3.12: Uppehållstid i marken för förorening från föroreningskälla till uttagspunkt.

Uppehållstid	Poäng
Nedströms	0
>3 år	1
1 - 3 år	2
100 dagar - 1 år	3
<100 dagar	4

3.5 Konsekvens för dricksvattenkonsument

Konsekvensen för dricksvattenkonsumenten då vattentäkten blir förorenad uttrycks i föroreningens giftighet. Bedömningen av föroreningens giftighet, alltså föroreningens påverkan på vattenkvaliteten och dess potentiella hälsoeffekt, delas in i fyra kategorier där *Livsmedelsverkets Risk- och sårbarhetsanalys för dricksvattenförsörjning* används för att formulera definitionerna, se tabell 3.13 (Livsmedelsverket, 2007).

Tabell 3.13: Föroreningens giftighet (Livsmedelsverket, 2007)

Begrepp	Definition	Poäng
Försumbar	Obetydlig påverkan på vattenkvaliteten.	1
Mindre giftig	Tjänligt med anmärkning. Mindre påverkan på vattnets färg, smak och lukt.	2
Giftig	Otjänligt vatten som vid långtidsexponering medför fara för liv och hälsa.	3
Mycket giftig	Otjänligt vatten med direkt fara för liv och hälsa.	4

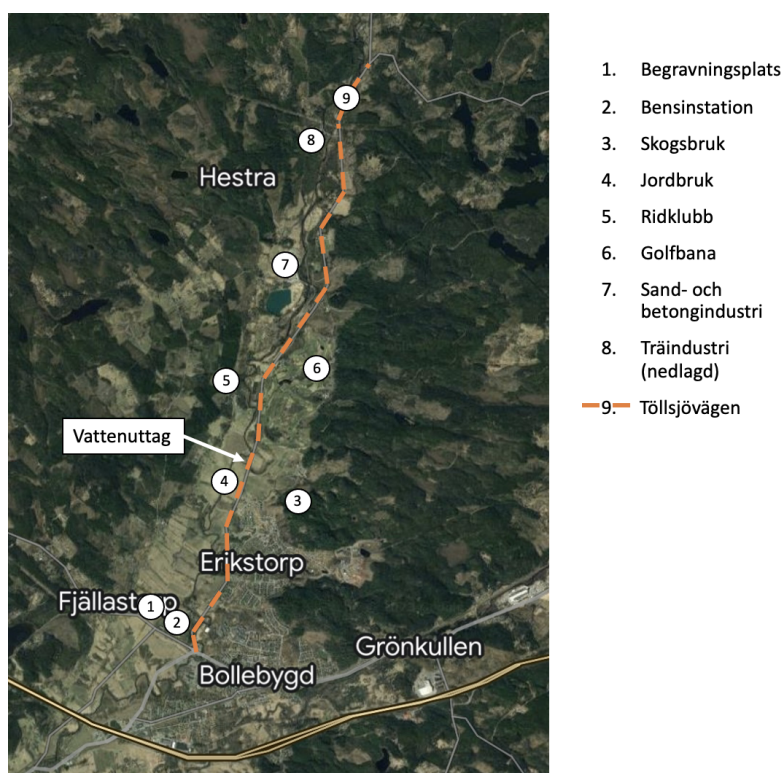
4

Resultat

I följande kapitel beskrivs inledningsvis områdets identifierade föroreningskällor. Därefter presenteras den slutliga riskbedömningen samt riskpoäng och möjliga åtgärder.

4.1 Identifierade föroreningskällor

De aktiviteter eller verksamheter som bedöms kunna utgöra en föroreningsrisk i området visas i figur 4.1 och beskrivs mer i detalj nedan.



Figur 4.1: Översiktsbild över området samt identifierade föroreningskällors placering.

4.1.1 Begravningsplats - Bollebygds kyrka

Bollebygds kyrka och begravningsplats, se figur 4.2, ligger söder om Backa grundvattentäkt. Platsen innehåller såväl kistbegravningar som minneslund och askgravlund (Bollebygds Pastorat, 2017). Enligt miljöbalkens nionde kapitel definieras vatten som avvattnas från begravningsplatser som avlopp, tillika miljöfarlig verksamhet (Miljöbalken, 2003). Det innebär att dräneringsvattnet från många begravningsplatser i Sverige kopplas till det kommunala avloppsledningsnätet och renas innan det släpps ut. Det beror på att patogena organismer, tungmetaller och näringsämnen som kväve och fosfor kan transporteras från begravningsplatsen och förorena omgivningen (Camper, 2014). Det är främst oron för att allvarliga sjukdomar ska spridas från nedbrytningen på begravningsplatserna som drivit forskningen inom området (Üçisik m. fl., 1998). Spridningen till grundvattnet beror dock på markförhållandena och genomsläppligheten i marken under begravningsplatsen. Mäktigheten och materialet i den omättade zonen är därför en viktig faktor för möjligheten att avskilja patogener och andra skadliga ämnen innan de når grundvattnet.

Trots att det föreligger risk, så finns inga kända fall i modern tid i Sverige där begravningsplatser orsakat utbredd spridning av sjukdomar (Camper, 2014). Problematiken med spridning av tungmetaller har uppmärksamrats under lägre tid och anses därför inte vara ett lika stort hot idag. Spridningen av näringsämnen från begravningsplatser är dock fortfarande ett relativt outforskat område. Bollebygds begravningsplats är belägen ca 2 km söder om vattentäktens uttagspunkt, nedströms i grundvattenmagasinets strömningsriktning.



Figur 4.2: Bollebygds kyrka och begravningsplats.

4.1.2 Bensinstation

Det finns en mängd olika ämnen vid bensinstationer, majoriteten härstammar dock från bensin och diesel som i sin tur är en hybrid av flertalet ämnen (Naturvårdsverket, 1998). Dessa ämnen kan vara hälsofarliga för människor och dess negativa påverkan varierar. Det kan vara allt ifrån irritation på huden till påverkan på nervsystemet. Trots att hälsoeffekterna är mer kända har man även identifierat att ämnena har en negativ inverkan på miljön. Historiskt sett har diverse vatten och markområden förorenats av utsläpp och idag räknar man med att det finns tusentals lokalt kontaminerade platser runt om i landet som påvisar förhöjda föroreningshalter. Bensinstationer innefattar en stor andel av dessa tusentals förorenade platser.

Naturvårdsverket menar att läckage kan uppstå vid tankning av bilar samt övriga fordon. Dessa läckage anses emellertid vara i mindre omfattning, då större läckage oftast uppstår vid olyckor. I anslutning till denna bensinstation finns även biltvätt där det hanteras kemikalier. Vid läckage av spillvatten kan ämnen från biltvätten nå dag- och grundvatten. Bensinstationen Gulf, se figur 4.3, ligger ca 2 km söder om Backa grundvattentäkt och likt begravningsplatsen nedströms i grundvattenmagasinets strömningsriktning.



Figur 4.3: Bensinstation söder om Backa grundvattentäkt.

4.1.3 Skogsbruk

Vid fältbesöket i Bollebygd Backa och Nolåns dalgång kunde det konstateras att landskapet består av såväl åkermark som skogsmark, se figur 4.4. För optimal filtrering till grundvattenmagasin är det viktig att så stor del av biologisk mångfald som möjligt bevaras. Vid skogsavverkning tillämpas ofta kalhyggesmetoden. Ett kalhygge är ett skogsområde som slutavverkas (Ecotree, 2021). Alla träd i området huggs ner och endast en öppen yta med trädrester kvarstår. Denna metod är ekonomisk gynnsam men påverkar naturvärden, den biologiska mångfalden samt grundvattnet negativt. Skogsbruk kan dessutom ha kemiska, fysiska och biologiska effekter på vatten. Ovarsam körning och markavvattning nära vattendrag och sjöar leder till ökade slamutsläpp till ytvatten (Skogskunskap, 2017). I Naturvårdsverkets föreskrifter regleras skogsbrukshanteringen ytterligare utöver regler som finns i andra föreskrifter. (Naturvårdsverket, 2011). Det som kan finnas i annan bestämmelse är exempelvis avverkningsmetoder, markbearbetning, dikning och skogsgödsling. Ett annat exempel kan vara skogsbilvägar som kan ge stor påverkan på vattenkvalitet. Vattenkvaliteten kan försämrans på grund av ökade halten av humus och näringsläckage.



Figur 4.4: Skogsbruk i anslutning till Backa grundvattentäkt.

4.1.4 Jordbruk

När det handlar om grundvatten har områdets jordbruk en markant inverkan på omständigheterna för kvalitet såväl som kvantitet. Sysselsättningar som exempelvis dränering, djurhållning och användning av gödningsmedel över stora ytor har en effekt på områdets grundvatten (Kjellson m. fl., 2017). Jordbruksmark, likt figur 4.5, existerar i den norra samt södra delen av Nolåns dalgång. Det som främst kan leda till påverkad vattenkvalitet vid jordbruksarbete är användning av bekämpningsmedel samt gödselmedel (Eklund & Ruderfelt, 2020). En del godkända bekämpningsmedel har en hög giftighet, vilket kan påverka människor och hälsa negativt om det når vatten som används för dricksvattenändamål. När man istället talar om växtnäringsämnen lyfter man fram dess oundvikliga spridning av mikrobiella föroreningar och näringsämnen, så som kväve och fosfor (Naturvårdsverket, 2011).



Figur 4.5: Jordbruksmark inom vattenskyddsområdet och i anslutning till Backa grundvattentäkt.

4.1.5 Ridklubb

Bollebygds ridklubb, se figur 4.6, ligger i norra delen av Backa grundvattentäkt och är en ridklubb med drygt 250 medlemmar. Klubben äger 10st hästar och hyr utöver det ut stallplatser till privatpersoner. Föroreningar från hästgårdar i denna storlek kommer främst från den hästgödsel som naturligt hamnar på åkrar och stigar samt från gödselhållningen (Jordbruksverket, 2013). Urlakning och ytavrinning leder till att fosfor och kväve från gödseln transporteras till grundvattentäkter och vattendrag. Grundvatten står för ungefär 80 procent av tillrinningen till vattnet i vattendrag och sjöar i Sverige (Sveriges Vattenmiljö, 2021). Om grundvattnet förorenas är det därför stor risk att föroreningen även når omkringliggande sjöar. Höga halter av kväve och fosfor i sjöar leder i sin tur till övergödning, vilket orsakar överproduktion av alger och växtplankton. Överproduktionen, den så kallade algbloomningen, skapar obalans i ekosystemet i sjön och kan leda till syrebrist på botten då mycket döda alger ska brytas ned samtidigt (Havs- och Vatten myndigheten, 2019). Vid algbloomningen kan även toxiner bildas. Dessa kan ha hälsoskadliga effekter, främst på små barn djur. Förhöjda nivåer av kväveföroreningar, som nitrit och nitrat, i grundvattnet kan dessutom ha negativa hälsoeffekter för människor om det används som dricksvatten (Livsmedelsverket, 2022). Dessa kan omvandlas till nitrosaminer vid kontakt med syror i magsäcken, vilka är cancerogena (Nationalencyklopedin, u. å-a).



Figur 4.6: Bollebygds ridklubb och hästgård.

4.1.6 Golfbana

I nära anslutning till Backa grundvattentäkt finns även Hulta Bollebygds golfklubbs golfbana, se figur 4.7. Precis som andra verksamheter som kan påverka miljön negativt så omfattas golfbanor av svensk miljölagstiftning (Svenska Golfbundet, 2018). Den största påverkan på naturen kommer från förändring av naturmiljön, vilket innebär förändring av terräng, vattenflöden och markförhållanden. Ofta anläggs dammar och diken på golfbanor för att dränera vatten från banan men också för att skapa en attraktiv miljö, både spelmässigt och utseendemässigt. Detta förändrar vattenflödena i området, något som kan påverka tillrinningen till grundvattenmagasinet. Dessutom föreligger risk för utsläpp av bekämpningsmedel, gödningsmedel samt diesel vid bränsleläckage. Då golfklubben 2018 ansökte om tillstånd att få sprida bekämpningsmedel på golfbanan nekade kommunen tillstånd (Bollebygds Kommun, 2018). Eftersom området ligger i anslutning till Backa grundvattentäkt ansåg kommunen, med stöd av miljöbalken, Naturvårdsverkets växtskyddsföreskrifter och Bollebygds vattenskyddsföreskrifter, att risk för förorening av grundvattnet till följd av spridningen inte kunde uteslutas.

Det krävs även stora mängder bevattning för att hålla en golfbana i gott skick. Enligt Länsstyrelsen Västra Götaland ska alla verksamheter som gör vattenuttag av antingen grund- eller ytvatten söka tillstånd av mark- och miljödomstolen (Länsstyrelsen Västra Götaland, u. å). Även om bevattning främst kopplas till problem med uttorkning av vattendrag och grundvattenmagasin förekommer också risk för förändrade avrinningsmönster och ökad urlakning av marken. När tillgången på vatten minskar i magasinerna försämras även vattenkvaliteten eftersom utspädningen av föroreningar minskar. Kontakt med Länsstyrelsen och Mark- och Miljödomstolen ger ingen träff på ovan nämnda tillstånd och golfklubben svarar inte på kontaktförsök angående bevattningsrutiner.



Figur 4.7: Hulta Bollebygds golfklubb och golfbana.

4.1.7 Sand- och betongindustri

Uppströms grundvattentäkten finns en betongfabrik, Hedareds Sand och Betong, se figur 4.8. De är självförsörjande på råmaterial som sand, ballast och vatten. De har sina egna grus- och bergtäkter, bland annat en damm i närheten, se figur 4.9. (Heda, 2019). Företaget behöver insatsråvaror och distribuerar en stor mängd färdiga (tung) produkter, vilket genererar omfattande tunga transporter. Dessa utgör en betydande miljöpåverkan på både luft och mark. Efter produktionsprocessen kräver produkterna efterbehandling i form av omfattande vattenbegjutning.

Att gräva i en damm för att utvinna grus och sand kan påverka grundvattentäkten. Till exempel kan oljeläckage från maskiner som utfört arbetet leda till förorening. Grundvattenmagasin innehåller grus- och sandavlagringar som är viktiga för vatteninfiltrationen. Materialutvinning av isälvsmaterial kan leda till att infiltrationslagret blir mycket tunt, vilket kan störa grundvattenbildningen. På så sätt kan även förutsättningarna för konstgjord grundvattenbildning i framtiden påverkas (Miljöbalken, 2003). Hedareds betongfabrik utvinner idag isälvsediment i form av sand och grus från dammen.



Figur 4.8: Hedareds betongfabrik.



Figur 4.9: Hedareds sand- och betongfabriks sand- och grustag.

4.1.8 Nedlagd träindustri

Några kilometer norr om Backa grundvattentäkt ligger enligt EBH-kartan ett förorenat område med riskklass 1, mycket stor risk (Länsstyrelserna, u. å). På det aktuella området har det tidigare funnits en träindustri med sågverk med doppning och impregnering. Verksamheten finns dock inte längre och istället tappas mineralvatten av flaskvattentillverkaren Stenkulla Brunn AB på platsen. Att området fortfarande är markerat som riskklass 1 kan bero på att EBH-kartan inte är uppdaterad eller att föroreningen i marken fortfarande utgör mycket stor risk.

Sågverk med doppning innebär att virke behandlas genom att sprutas med eller doppas i kemikalier för att skyddas mot angrepp av blånadssvamp (Monell & Santesson, 2007). Detta var en vanlig metod som främst användes från 1930-talet fram till 1970-talet. Kemikalierna som användes var främst klorfenolbaserade, tills de förbjöds 1977. Det är idag dessa kemikalier och dess biprodukter som utgör stora delar av de bestående föroreningarna från gamla sågverk. Biprodukterna kallas dioxiner och är mycket giftiga för människor (Sveriges Geologiska Undersökning, u. å-a). Dioxiner binder till fett, vilket innebär att giftet stannar i kroppen och ökar med åren. EBH-kartan specificerar dock inga detaljer om föroreningen och det finns ingen information om när det nedlagda sågverket var verksamt. Därför kan det inte med säkerhet sägas vilken typ av förorening som finns i området och om den riskerar att spridas till Backa grundvattentäkt.

4.1.9 Töllsjövägen

Töllsjövägen är en länsväg som går rakt genom Backa vattenskyddsområde och korsar grundvattentäkten, se figur 4.10. Enligt Trafikverkets trafikinformationskarta har vägen bärighetsklass 1, vilket innebär att tunga fordon med bruttovikt upp till 64 ton får färdas på vägen (Trafikverket, 2023). Kartan visar också att inget förbud mot fordon med farligt gods eller andra begränsningar förekommer på sträckan. Töllsjövägen är en sträcka som används för transporter till och från Alingsås, så trots att inga miljöfarliga industrier ligger i anslutning till grundvattentäkten finns risk för att transporter med miljöfarligt innehåll passerar grundvattentäkten.

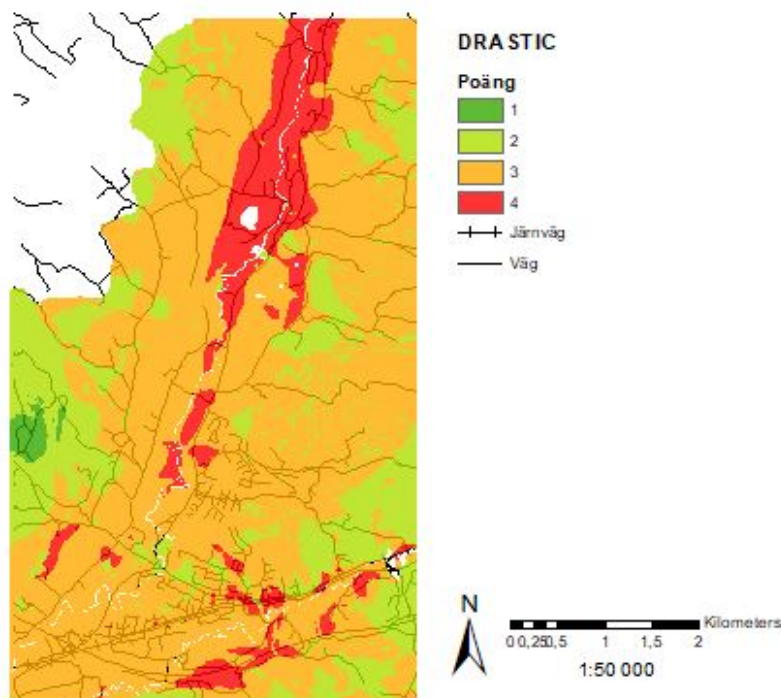
Utöver läckage från transporter med miljöfarligt gods föreligger flertalet andra föroreningsrisker i anslutning till en väg (Trafikverket, 2020a). Även personbilstrafik utgör ett hot eftersom även mindre utsläpp av bensin och diesel kan skada grundvattnet. Dessutom bidrar kontinuerligt slitage på däck och vägbeläggning till att mikroplast och andra partiklar frigörs (Andersson-Sköld m. fl., 2020). Vid nederbörd färdas partiklarna med dagvattnet och riskerar att förorena omgivningen. Vägslänter och diken fångar upp mycket av föroreningarna, även om stora nederbördsmängder leder till ökade flöden och större risk för att föroreningarna sprider sig längre. Vägssalt som sprids under vintern för att motverka isbildning och halka kan också spridas till grundvattnet (Ojala & Mellqvist, 2004). Det består av natriumklorid, alltså koksalt, och har ingen direkt skadlig effekt på människor. Däremot medför en förhöjd salthalt i grundvattnet ökad korrosion i vattenledningsnätet och förändrad smak på dricksvattnet. Ökad mängd salt i marken kan dessutom påverka markens infiltrationsförmåga och därmed förändra grundvattenbildningen i det drabbade området. Vägssaltet är dock effektivt mot halka och förbygger därför både trafikolyckor och påföljande utsläpp som kan skada grundvattnet (Trafikverket, 2020a). Eftersom vägen kan orsaka föroreningsutsläpp längs en lång sträcka räknas den som linjekälla.



Figur 4.10: Töllsjövägen, söder om Backa grundvattentäkt i riktning mot norr.

4.2 Riskbedömning

Resultaten från DRASTIC-analysen presenteras i figur 4.11. Indelning i fyra intervall och enligt färgkodning visar att sårbarheten är störst i de områden med isälvsmaterial som inte överlagras av ett tätande lager. Resultat för varje enskild parameter i DRASTIC illustreras i Appendix 2.



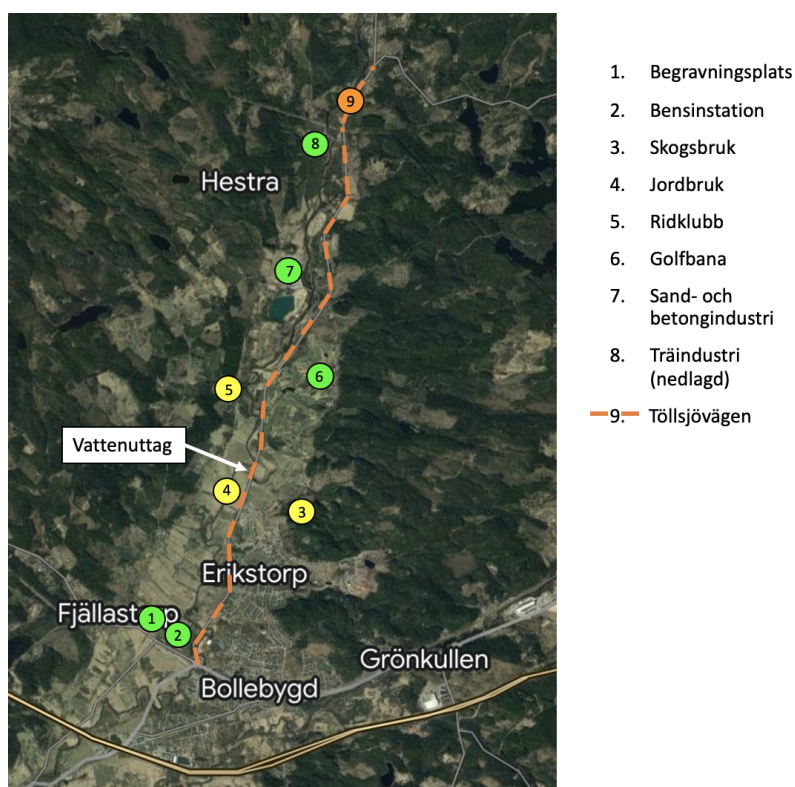
Figur 4.11: Slutlig sårbarhetsklassificering med DRASTIC.

Resultatet av den totala riskpoängen för varje föroreningskälla presenteras i tabell 4.1. Resultatet visar att Töllsjövägen bedöms utgöra störst risk för grundvattentäkten, precis på gränsen till mycket stor risk. Därefter bedöms skogsbruk, jordbruk och ridklubb som medelhög risk. Detta eftersom samtliga förväntas göra kontinuerliga utsläpp samtidigt som sårbarheten är hög och uppehållstiden kort. Golfbanan tilldelas trots sin närhet till grundvattentäkten och sårbara placering endast nio poäng. Den låga poängen baseras på att golfbanan har förbud mot att sprida bekämpningsmedel, vilket leder till låg sannolikhet för utsläpp och försumbart små konsekvenser för dricksvattenkonsumenten. Även den nedlagda träindustrin får en låg riskpoäng då den har en lång uppehållstid och sannolikheten för spridning av föroreningen är svår att bedöma. Eftersom det idag ligger en flaskvattenproducent på platsen får risken bedömas som låg, även om den är markerad med riskklass 1 på EBH-kartan. Sand- och betongindustrin erhåller också relativt låg riskpoäng eftersom uppehållstiden är lång och konsekvensen bedöms vara liten.

Den totala riskpoängen för både begravningsplatsen och bensinstationen blir 0. Detta beror på att båda föroreningskällorna ligger nedströms Backa grundvattentäkt i grundvattenmagasinets strömningsriktning. Trots att de får höga poäng på övriga parametrar anses den sammanlagda risken för grundvattentäkten där med vara försumbar. Figur 4.12 visar de identifierade föroreningskällornas placering samt riskbedömning enligt färgskalan.

Tabell 4.1: Erhållen poäng för varje bedömd parameter samt slutlig riskpoäng för varje föroreningskälla

Föroreningskälla	Sannolikhet (S_1)	Sårbarhet (S_2)	Uppehållstid (U)	Konsekvens (K)	Risk
Begravningsplats	4	3	0	2	0
Bensinstation	4	3	0	4	0
Skogsbruk	3	3	3	3	81
Jordbruk	4	3	4	2	96
Ridklubb	4	3	3	2	72
Golfbana	1	3	3	1	9
Sand och betong	3	4	2	2	48
Nedlagd träindustri	1	4	1	4	16
Töllsjövägen	4	3	4	4	192



Figur 4.12: Översiktsbild över området samt identifierade föroreningskällor med färg enligt tabell 4.1.

Utifrån resultatet presenteras några möjliga åtgärder för att skydda Backa grundvattentäkt.

För att säkerställa att jordbruks- samt ridklubbområdet i anslutning till Backa grundvattentäkt hanterar gödseln på ett lämpligt sätt kan man införa regelbunden tillsyn av gödselhanteringen. Regelbundna inspektioner av gödselhanteringen möjliggör förebyggandet av eventuella utsläpp. På liknande sätt kan kontroller av sand- och grustag implementeras för att säkerställa att isälvsmaterial inte överexploateras och att läckage från fordon förhindras och upptäcks i tid. På så sätt säkerställs god grundvattenbildning och kvalitet även i framtiden.

Vid transport av farligt gods och tunga transporter utsätts grundvattentäkten för föroreningsrisk. Ett sätt att minska risken för utsläpp är att implementera restriktioner för fordonens vikt eller förbjuda transport av farligt gods. Detta är dock inte lika enkelt i praktiken då begränsad transport kan påverka många aktörer som är beroende av detta gods. Begränsning av fordonens vikt skulle dessutom leda till att fler transporter behövs för att transportera samma volym, vilket ökar sannolikheten för utsläpp och kan utsätta grundvattentäkten för större föroreningsrisk.

Med tanke på den stora genomsläppligheten i isälvsavlagringar är en viktig åtgärd att begränsa exploateringen av mark kring Backa grundvattentäkt. Den stora genomsläppligheten gör det enkelt för föroreningar från byggnation att nå grundvattentäkten. Dessutom kan ny bebyggelse öka mängden hårdgjorda ytor vilket kan minska infiltrationen av vatten i marken och därigenom grundvattenbildningen.

Åtgärderna som nämns är i linje med dagens skyddsföreskrifter för Backa grundvattentäkt (Bollebygd kommun, 2021). Förbud mot transporter med mer än 25 liter petorliumprodukter föreligger redan inom primärt skyddsområde, men skulle kunna utvidgas för att gälla hela tillrinningsområdet för grundvattentäkten. Även spridning av växtnäringssämnen är förbjudet inom primär skyddzon, medan bekämpningsmedel och vissa markarbeten är förbjudet inom både primär och sekundär skyddszon. Även detta skulle kunna skärpas och kontrolleras enligt nämnda åtgärdsförslag.

5

Diskussion och Slutsats

5.1 Diskussion

I resultatet av riskbedömningen tilldelas begravningsplatsen och bensinstationen 0 poäng. I appliceringen på Backa grundvattentäkt och med hänsyn till storleken på grundvattenflödet i magasinet och föroreningskällornas långa avstånd från vattentäkten anses resultatet vara rimligt. För generell tillämpning av metoden på andra grundvattentäkter kan det dock vara missvisande att ge alla föroreningskällor som ligger nedströms riskpoäng 0. En möjlig utveckling av metoden för generell tillämpning kan vara att införa ett villkor på flödets storlek för att kunna tilldela en föroreningskälla 0 poäng, eftersom ett högt flöde hindrar föroreningen att vandra uppströms i större utsträckning än ett lågt flöde.

Vid beräkning av uppehållstiden används Darcy´s lag, vilket är en mycket förenklad beräkningmetod över vattens transporttid i mark. Eftersom hydraulisk konduktivitet, gradient och porositet antas vara densamma i hela området förutsätter metoden att alla föroreningskällor ligger inom grundvattenmagasinets isälvsavlagring. För källor som är belägna utanför grundvattenmagasinet blir resultatet därför missvisande. I området kring Backa grundvattentäkt är dock alla bedömda föroreningskällor placerade på isälvsavlagringar i ett sammanhängande grundvattenmagasin. Vid applicering av riskbedömningsmetoden på andra områden behöver dock en avvägning göras huruvida dessa parametrar ska anpassas till varje föroreningskällas unika markförhållanden eller om generella värden kan antas. Uppehållstiden visar också bara den horisontella spridningen i marken. Den måste därför kombineras med en sårbarhetsklassificering, såsom DRASTIC, för att vara relevant eftersom DRASTIC behandlar vertikal spridning.

Jordbruk och skogsbruk är de bedömda verksamheter som är mest utspridda över stora områden. Utsläpp i samband med dessa är sällan punktutsläpp, vilket gör att sårbarhet och uppehållstid är svåra att beräkna. Uppehållstiden har därför baserats på avståndet från vattentäkten till det närmast tänkbara utsläppet. Eftersom vattentäkten ligger i direkt anslutning till brukad åkermark ges en mycket kort uppehållstid och därmed högsta poäng. Detta resultat är något missvisande eftersom utsläpp inom jordbruket kan ske över stora ytor samtidigt som det inte alltid är i direkt anslutning till vattentäkten. Dessutom säger skyddsföreskrifterna för Backa vattenskyddsområde att spridning av bekämpningsmedel och växtnäringssämnen är förbjudet inom den primära skyddszonen. Sårbarhetspoängen baseras på en be-

dömning av verksamheternas huvudsakliga områden, vilket ger en uppskattning av sårbarheten snarare än ett exakt värde.

Metoden är även begränsande vid bedömning av linjekällor, såsom Töllsjövägen. Eftersom linjekällor utgör risk över en längre sträcka kan det vara komplext att fastslå exakta gränser för området som ska bedömas. Dessa typer av källor kan dessutom förorena ett område över en längre period eftersom små utsläpp sker kontinuerligt. Det kan i sin tur leda till svårigheter med att fastställa exakt tid och plats för utsläpp och var åtgärder bör fokuseras. Om linjekällor därutöver har varit verksamma under en längre tid är detta i synnerhet problematiskt just för att föroreningar kan ha färdats långt från den primära källan. Den slutliga riskpoängen för Töllsjövägen, som sträcker sig längs hela grundvattentäkten, blir alltså missvisande då riskbedömningsmetodens bedömning av sårbarhet såväl som uppehållstid inte är anpassad till linjekällor.

Utöver de fyra parametrar som bedöms i riskbedömningsmetoden är vattentäktens värde för omgivningen en viktig aspekt. Ett högt värde kan innebära att det finns många konsumenter eller viktiga verksamheter som är beroende av vattentäkten. Har vattentäkten stor betydelse för omgivningen drabbas många om vattentäkten förorenas eller inte kan producera kvalitativt dricksvatten. En grundvattentäkt med högt värde för omgivningen är i stort behov av att skyddas mot föroreningar. Värdet kan också bedömas utifrån vattentäktens kapacitet att producera vatten. Grundvattentäkter med hög kapacitet har potential att försörja fler konsumenter eller agera reservtäkt för andra samhällen vid förorening eller torka. På så sätt ökar värdet eftersom kapaciteten att nå ut till fler konsumenter finns. Eftersom Backa grundvattentäkt försörjer omkring 4500 personer, arbetsplatser, skolor och verksamheter med vatten dagligen anses den ha ett högt värde för omgivningen.

5.2 Slutsats

Baserat på det genomförda arbetet kan följande slutsatser dras:

- Markens sårbarhet i Bollebygd Backa är hög eftersom den i stor utsträckning består av isälvsmaterial samt befinner sig i en dalgång. Det är dock samma förutsättningar som gör den till en användbar grundvattenresurs eftersom grundvattenbildningen är hög.
- Töllsjövägen, jordbruk och skogsbruk bedöms utgöra störst risk för grundvattentäkten.
- Backa grundvattentäkt har ett högt värde för omgivningen.
- Den framtagna riskbedömningsmetoden anses ha god tillämpbarhet där resultaten kan användas för att öka förståelsen för riskbilden kring en grundvattentäkt. Vidare kan kunskap om riskbilden leda till att relevanta skyddsåtgärder kan föreslås.
- Det krävs mycket kunskap om grundvattenskydd och information om hydrogeologin i ett område för att kunna göra en riskbedömning. I området kring Backa grundvattentäkt finns flera grundliga utredningar som underlättat arbetet med riskbedömningen, vilket inte existerar för alla grundvattentäkter.
- Relevanta åtgärder för att skydda grundvattnet ytterligare är:
 - Regelbundna kontroller av gödselhantering samt sand- och grustag.
 - Minska mängden tunga fordon med farligt gods i trafiken.
 - Begränsa exploatering och ny bebyggelse inom tillrinningsområdet.

Litteratur

- Aller, L., Bennett, T., Lehr, J. H., Petty, R. J., & Hackett, G. (1987). *DRASTIC: A Standardized System for Evaluating Ground Water Pollution Potential Using Hydrogeologic Settings* (tekn. rapport). U.S Environmental Protection Agency.
- Andersson-Sköld, Y., Johannesson, M., Gustafsson, M., Järllskog, I., Lithner, D., Polukarova, M., & Strömvall, A.-M. (2020). *Mikroplast från däck-och vägslitage - En kunskapssammanställning* (tekn. rapport). VTI.
- Barkestedt, A. (2019). *Grundvattenpåverkan kring schakter* (tekn. rapport). Göteborgs Universitet. Göteborg.
- Bollebygd kommun. (2021). Skyddsföreskrifter för Backa vattenskyddsområde.
- Bollebygds Kommun. (2018). *Hulta 3:2 Ansökan om spridning av bekämpningsmedel inom yttre skyddszon för Backa vattentäkt* (tekn. rapport). Bollebygds kommun.
- Bollebygds kommun. (2022). Befolkning. <https://www.bollebygd.se/kommunochpolitik/kommunfakta/befolkning.4.4b88096f14fb4d9accd2b6f2.html>
- Bollebygds Pastorat. (2017). Våra kyrkogårdar. <https://www.svenskakyrkan.se/bollebygd/vara-kyrkogardar>
- Bovin, K., Vikberg, E., & Morén, I. (2015). *Tätande jordlager – en kunskapssammanställning* (tekn. rapport). Sveriges Geologiska Undersökning.
- Camper, P.-A. (2014). *Dräneringsvatten från begravningsplatser* (tekn. rapport). Svenskt Vatten AB.
- Ecotree. (2021). Vad är ett kalhygge och vad har kalhyggen för miljöpåverkan? Positiv eller negativ? <https://ecotree.green/sv/blog/vad-aer-ett-kalhygge-och-vad-har-kalhyggen-foer-miljoepaaverkan-positiv-eller-negativ>
- EE&G Companies. (2020). Groundwater Remediation Techniques. <https://www.eeandg.com/blog-post/groundwater-remediation-techniques/>
- Eklund, H., & Ruderfelt, L. (2020). *Backa vattentäkt - Tekniskt underlag med förslag till vattenskyddsområde och skyddsföreskrifter* (tekn. rapport). Sweco Environment AB. Göteborg.
- Eveborn, D., Vikberg, E., Thunholm, B., Hjerne, C.-E., & Gustafsson, M. (2017). *Grundvattenbildning och grundvattentillgång i Sverige* (tekn. rapport). Sveriges geologiska undersökning. Uppsala.
- Floren, S. (2015). *Grundvattenbildning till berg* (tekn. rapport). Lunds universitet.
- Havs- och Vatten myndigheten. (2019). Övergödning. <https://www.havochvatten.se/miljopaverkan-och-atgarder/miljopaverkan/overgodning.html>

- Havs- och vattenmyndigheten. (2021). *Vägledning om inrättande och förvaltning av vattenskyddsområden* (tekn. rapport). Havs- och vattenmyndigheten. Göteborg.
- Heda. (2019). Hedareds Sand och Betong. <https://heda.se/om-heda-byggelement/>
- Jordbruksverket. (2013). *Hästgödsel – en naturlig resurs* (tekn. rapport). Jordbruksverket.
- Jönsson, R., & Wikström, A.-S. (2003). *Vattenbehandling genom återinfiltration i filterbäddar med skikt av krossad kalksten* (tekn. rapport). Svenskt Vatten AB.
- Kjellson, H., Lång, L.-O., Maxe, L., & Dahlgren, H. (2017). *Förbättrad hänsyn till grundvattnet inom jordbruket* (tekn. rapport). Sveriges Geologiska Undersökning. Stockholm.
- Lindhe, A. (2010). *Risk Assessment and Decision Support for Managing Drinking Water Systems* (doktorsavhandling). Chalmers university of technology. Göteborg.
- Livsmedelsverket. (2007). *Risk-och sårbarhetsanalys för dricksvattenförsörjning* (tekn. rapport).
- Livsmedelsverket. (2022). Nitrat , nitrit och nitrosaminer. https://www.livsmedelsverket.se/livsmedel-och-innehall/oonskade-amnen/nitrat-nitrit-och-nitrosaminer/#Kan_nitrat_och_nitrit_vara_farligt
- Lång, L.-o., Stejmar Eklund, H., & Graffner, O. (2003). *Utgångspunkter för avgränsning av tillrinningsområden till grundvattenmagasin* (tekn. rapport). Sveriges Geologiska Undersökning.
- Länsstyrelsen Västra Götaland. (u. å). Vattenuttag. <https://www.lansstyrelsen.se/vastra-gotaland/miljo-och-vatten/atgarder-och-verksamheter-i-vatten/vattenuttag.html>
- Länsstyrelserna. (u. å). EBH-kartan. <https://ext-geoportal.lansstyrelsen.se/standard/?appid=ed0d3fde3cc9479f9688c2b2969fd38c>
- Miljöbalken. (2003). Naturvårdsverkets författningssamling.
- Moberg, J.-O., & Burman, J. (2004). *Grundvattenmodellering och sårbarhetsanalys för Utö skjutfält*. (tekn. rapport). TOTALFÖRSVARETS FORSKNINGSSINSTITUT. Umeå.
- Monell, L., & Santesson, B. (2007). *Förorenade områden - Inventering av sågverk, industrier för tillverkning av fiberskivor, massa och papper, samt oorganisk kemisk industri i Stockholms län* (tekn. rapport). Länsstyrelsen i Stockholms län. Stockholm.
- Nationalencyklopedin. (u. å-a). nitrosaminer. <https://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/l%C3%A5ng/nitrosaminer>
- Nationalencyklopedin. (u. å-b). Tillrinningsområde. <https://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/l%C3%A5ng/tillrinningsomr%C3%A5de>
- Naturhistoriska riksmuseet. (2020). Fennoskandias berggrund. https://www.nrm.se/faktaomnaturenochrymden/geologi/sverigesgeologi/fennoskandiasberggrund.1117_se.html
- Naturskyddsföreningen. (2022). Sveriges jordar. <https://www.naturskyddsforeningen.se/faktablad/sveriges-jordar/>

- Naturvårdsverket. (1998). *Förslag till riktvärden för förorenade bensinstationer* (tekn. rapport). Svenska petroleum institutet. Stockholm.
- Naturvårdsverket. (2011). *Naturvårdsverkets handbok 2010:5 om vattenskyddsområde* (tekn. rapport). Naturvårdsverket.
- Ojala, L., & Mellqvist, E. (2004). *Vägsalt-användning och påverkan på grundvattnet* (tekn. rapport). SGU.
- Palmenäs, J. (2018). *Väg 40, Bollebygd: Fördjupad riskbedömning och förslag till åtgärder* (tekn. rapport). Trafikverket.
- Rosén, L. (1991). *Sårbarhetsklassificering av grundvatten - Tillämpningar av standardiserade klassificeringssystem på svenska förhållanden* (tekn. rapport). Chalmers tekniska högskola - Geohydrologiska forskningsgruppen. Göteborg.
- Skogskunskap. (2017). Kort- och långsiktiga effekter av skogsbruk. <https://www.skogskunskap.se/hansyn/vatten-och-mark/skogsbrukets-miljoeffekter/kort--och-langsiktiga-effekter-av-skogsbruk/>
- SMHI. (2023). Hydrologiska ord och begrepp. <https://www.smhi.se/kunskapsbanken/hydrologi/hydrologiska-begrepp-1.29125>
- Sparrenbom, C., & Jeppsson, H. (2022). *Grundvattenboken* (1:1). Studentlitteratur.
- Stendahl, J. (2020). Jordmåner. <http://resource.sgu.se/produkter/regeringsrapporter/2017/RR1709.pdf>
- Sundqvist, U., Graffner, O., Lindblad, T., & Ch Borg, G. (2009). *Undersökning av föroreningar i berggrund* (tekn. rapport). Naturvårdsverket.
- Svenska Golfförbundet. (2018). Miljöfrågor. <https://golf.se/for-klubben/juridiskatt-och-forsakring/golfbanan-miljofragor/>
- Svenskt Vatten. (2016). VA-organisationen. <https://www.svensktvatten.se/va-chefens-verktygslada/va-organisationen/>
- Sveriges Geologiska Undersökning. (u. å-a). Dioxin och sågverk. <https://www.sgu.se/samhallsplanering/forenadede-omraden/dioxin-och-sagverk/>
- Sveriges Geologiska Undersökning. (u. å-b). Sveriges berggrund. <https://www.sgu.se/om-geologi/berg/sveriges-berggrund/>
- Sveriges Geologiska Undersökning. (2020). Vattenskyddsområden. <https://www.sgu.se/grundvatten/vattenskyddsomraden/>
- Sveriges Geologiska Undersökning. (2022). Stora och små grundvattenmagasin. <https://www.sgu.se/grundvatten/grundvattennivaer/om-grundvattennivaer/stora-och-sma-grundvattenmagasin/>
- Sveriges Geologiska Undersökning. (2023a). Beskrivning av grundvattenförekomster. <https://www.sgu.se/anvandarstod-for-geologiska-fragor/vattenforvaltning-av-grundvatten/sgus-foreskrifter-om-kartlaggning-och-analys-sgu-fs-2013-1/inledande-kartlaggning/beskrivning-av-grundvattenforekomster/>
- Sveriges Geologiska Undersökning. (2023b). Kartvisaren. <https://apps.sgu.se/kartvisare/kartvisare-genomslapplighet.html>
- Sveriges geologiska undersökning. (2014). *Vattenförvaltning av grundvatten* (tekn. rapport). Sveriges geologiska undersökning. Uppsala.
- Sveriges Vattenmiljö. (2021). Övergödning. <https://www.sverigesvattenmiljo.se/samar-vara-vatten/2021/sammanfattningar/83/0/4>

- Trafikverket. (2020a). 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. (2020b). *Yt- och grundvattenskydd. Metodik för riskhantering och riskanalys samt principer för åtgärdsval* (tekn. rapport).
- Trafikverket. (2023). Trafikinformation Vägkarta. <https://www.trafikverket.se/trafikinformation/vag/?TrafficType=commercialTraffic&map=13%2F354544.91%2F6397431.66%2F&Layers=RestrictedBearing%2BDangerousGoods%2B>
- Vatteninformationssystem Sverige. (2021). Bollebygd Norra. <https://viss.lansstyrelsen.se/Waters.aspx?waterMSCD=WA21229235>
- Üçisik, A. S., Rushbrook, P., Waste Management, WHO Regional Office of Europe, European Centre for Environment and Health & Nancy Project Office. (1998). *THE IMPACT OF CEMETERIES ON THE ENVIRONMENT AND PUBLIC HEALTH - AN INTRODUCTORY BRIEFING* (tekn. rapport). WHO. Köpenhamn.
- Östlund, L., Adelsköld, T., Sandberg, P., Mattson, J., Wenke, C., Hammerman, M., & Wikström, A. (2019). *Kunskaps-och planeringsunderlag för NOLÅNS DALGÅNG, BOLLEBYGD ÖVERSIKTLIG LANDSKAPSKARAKTÄRSANALYS* (tekn. rapport). Bollebygds kommun.

6

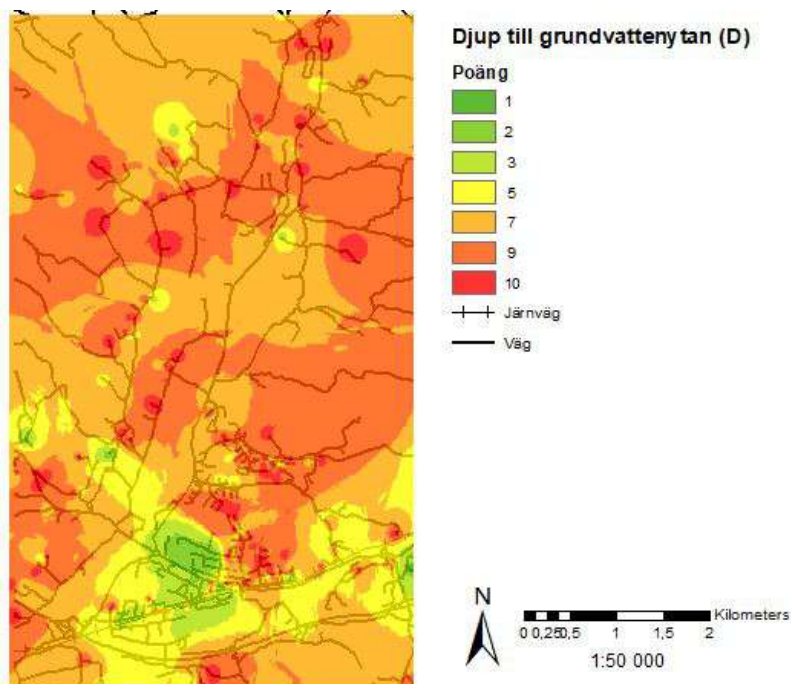
Appendix

6.1 Appendix 1

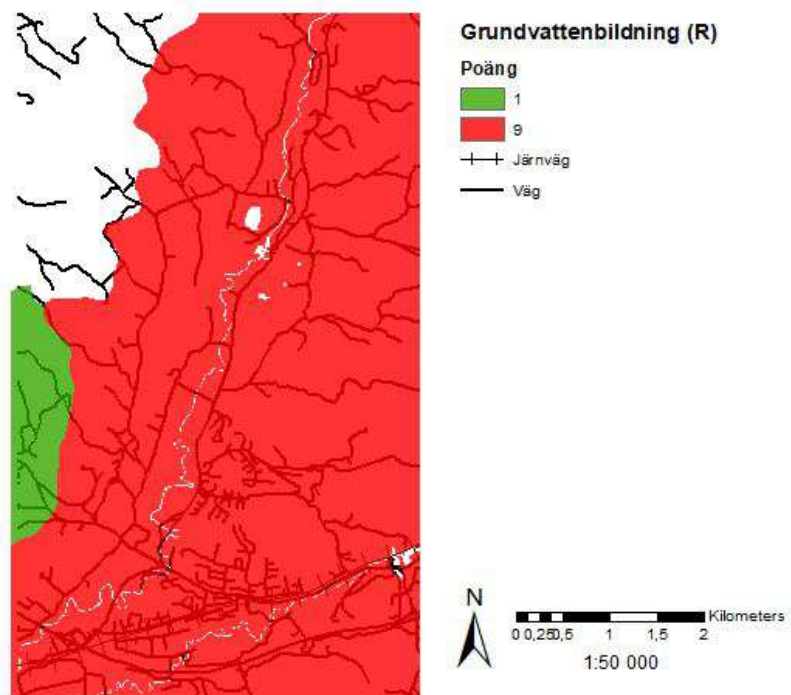
Tabell 6.1: Indata för beräkning av uppehållstid

Föroreningskälla	k [m/s]	i [%]	v [m/s]	n_e [-]	v_e [m/s]	L [m]	t [dag]
Begravningsplats	$2,7 \cdot 10^{-3}$	0,2	$5,4 \cdot 10^{-6}$	0,15	$3,6 \cdot 10^{-5}$	-	-
Bensinstation	$2,7 \cdot 10^{-3}$	0,2	$5,4 \cdot 10^{-6}$	0,15	$3,6 \cdot 10^{-5}$	-	-
Skogsbruk	$2,7 \cdot 10^{-3}$	0,2	$5,4 \cdot 10^{-6}$	0,15	$3,6 \cdot 10^{-5}$	430	138
Jordbruk	$2,7 \cdot 10^{-3}$	0,2	$5,4 \cdot 10^{-6}$	0,15	$3,6 \cdot 10^{-5}$	50	16
Ridklubb	$2,7 \cdot 10^{-3}$	0,2	$5,4 \cdot 10^{-6}$	0,15	$3,6 \cdot 10^{-5}$	630	203
Golfbana	$2,7 \cdot 10^{-3}$	0,2	$5,4 \cdot 10^{-6}$	0,15	$3,6 \cdot 10^{-5}$	400	129
Sand och betong	$2,7 \cdot 10^{-3}$	0,2	$5,4 \cdot 10^{-6}$	0,15	$3,6 \cdot 10^{-5}$	1555	500
Nedlagd träindustri	$2,7 \cdot 10^{-3}$	0,2	$5,4 \cdot 10^{-6}$	0,15	$3,6 \cdot 10^{-5}$	3420	1100
Töllsjövägen	$2,7 \cdot 10^{-3}$	0,2	$5,4 \cdot 10^{-6}$	0,15	$3,6 \cdot 10^{-5}$	50	16

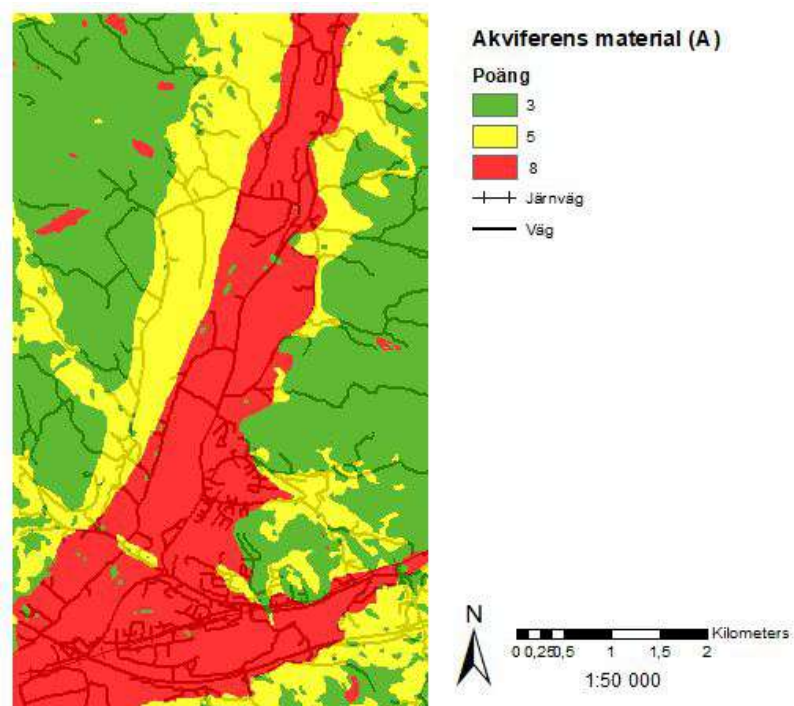
6.2 Appendix 2



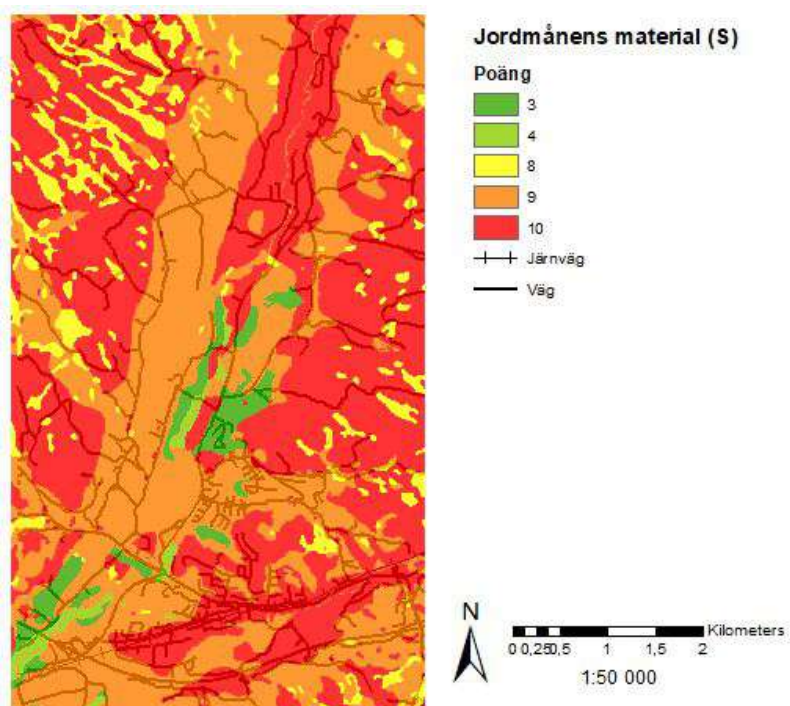
Figur 6.1: Djup till grundvattenytan, klassificerat i ArcMap.



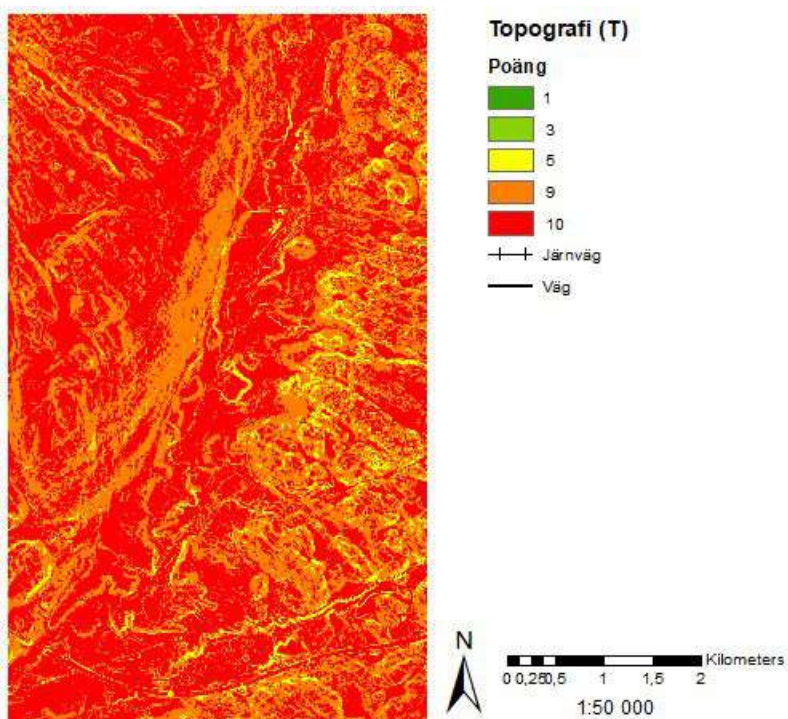
Figur 6.2: Grundvattenbildning, klassificerat i ArcMap.



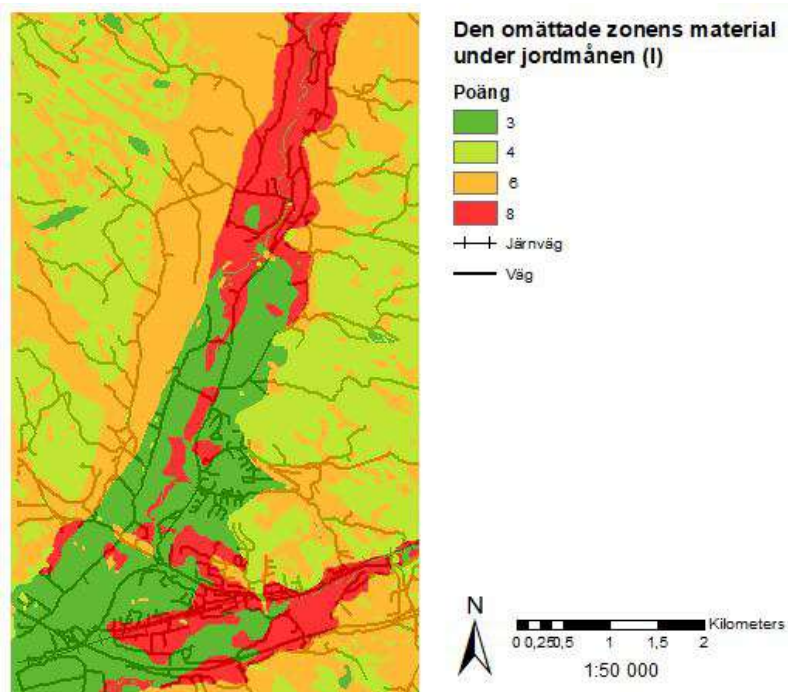
Figur 6.3: Akviferens material i området, klassificerat i ArcMap.



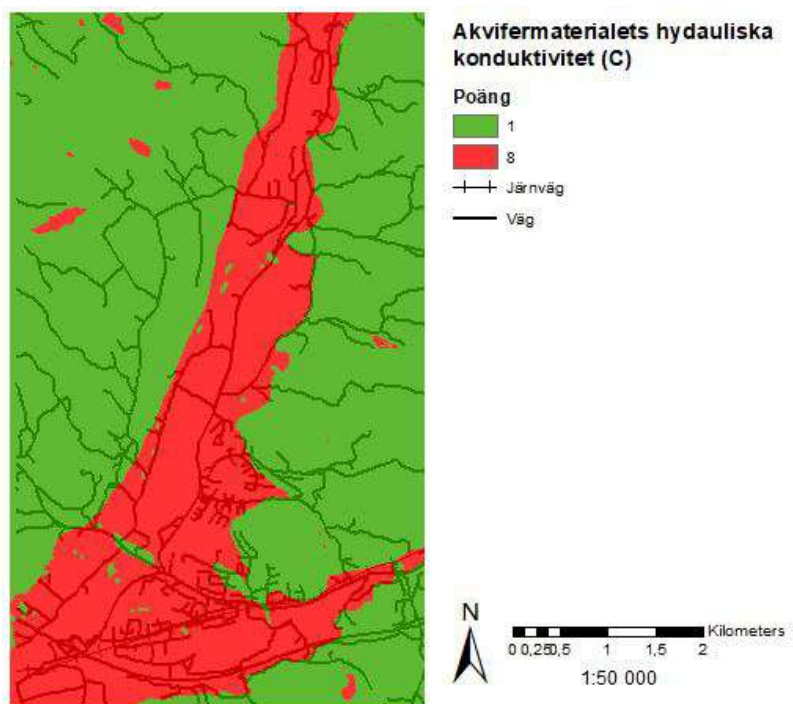
Figur 6.4: Jordmånens material, klassificerat i ArcMap.



Figur 6.5: Topografin i området kring Backa, klassificerat i ArcMap.



Figur 6.6: Den omättade zonens material under jordmånen, klassificerad i ArcMap.



Figur 6.7: Akvifermateriallets hydrauliska konduktivitet, klassificerad i ArcMap.



CHALMERS