

# GEOSIGMA




## **Risicanalys av Uppsala- och Vattholmaåsarnas tillrinningsområde ur grundvattensynpunkt**

### **Slutrapport Måsen Etapp 2**

GRAP 18116

Geosigma AB

2018-04-17

<b>GEOSIGMA</b>				
Uppdragsnummer 605184	Grap nr 18116	Datum 2018-04-17	Antal sidor 73	Antal bilagor Inga bilagor
Uppdragsledare Erik Gustafsson		Beställares referens Hannes Vidmark		Beställares ref nr 77503
		Leveransens diariernr KSN-2018-		
Beställare UVAB / Uppsala Kommun, Stadsbyggnadsförvaltningen				
Rubrik Riskanalys av Uppsala- och Vattholmaåsarnas tillrinningsområde ur grundvattensynpunkt				
Underrubrik Slutrapport Måsen Etapp 2				
Författad av Erik Gustafsson (ed.), Elin Andersson, Sofia Föhlinger, Frida Hammar, Marcus Heinke Tommy Lundberg, Rune Nordqvist, Erik Palmfjord, Johanna Ragvald, Oskar Sjöberg.				Datum 2018-04-17
<b>GEOSIGMA AB</b> www.geosigma.se geosigma@geosigma.se Bankgiro: 5331 - 7020 PlusGiro: 417 14 72 - 6 Org.nr: 556412 – 7735	<b>Uppsala</b> Box 894, 751 08 Uppsala S:t Persgatan 6, Uppsala Tel: 010-482 88 00	<b>Teknik &amp; Innovation</b> Seminariegatan 33 752 28 Uppsala Tel: 010-482 88 00	<b>Göteborg</b> St. Badhusg 18-20 411 21 Göteborg Tel: 010-482 88 00	<b>Stockholm</b> S:t Eriksgatan 113 113 43 Stockholm Tel: 010-482 88 00

Omslagsbild från Uppsala Vatten och Avfall AB hemsida 18-01-11

## Innehåll

<b>1</b>	<b>Inledning</b>	<b>5</b>
1.1	Bakgrund	5
1.2	Projekt mål	6
1.2.1	Projektdirektivet	6
1.2.2	Projekt mål MÅsen Etapp 2	6
<b>2</b>	<b>Projektets genomförande</b>	<b>6</b>
2.1	Projektorganisation	6
2.2	Förutsättningar	7
2.3	Omfattning och avgränsningar	7
2.4	Aktiviteter	8
2.4.1	Beräkningsverktyg för punktbelastning	9
2.4.2	Integration av resultat från Uppsala Vattens funktionsanalys av åsen	9
2.4.3	Riskenventering	10
2.4.4	Markanvändning och diffus belastning	10
2.4.5	Känslighetskarta	10
2.4.6	Steg 2 i riskhanteringsprocessen – riskanalys	11
2.4.7	Steg 3 i riskhanteringsprocessen - riskhantering	11
2.4.8	Riktlinjer för markanvändning	11
2.4.9	Rapport Etapp 2	11
2.5	Projektleveranser	11
<b>3</b>	<b>Översiktlig hydrogeologisk beskrivning</b>	<b>12</b>
3.1	Allmänt	12
3.2	Uppsala- och Vattholmaåsarna	12
3.3	Grundvattenförekomster	13
3.4	Uppsalas vattenförsörjning	15
<b>4</b>	<b>Känslighet för grundvattenförorening</b>	<b>16</b>
4.1	Definition av känslighet	16
4.2	Känslighetsklasser	16
4.3	Känslighetskarta	18
<b>5</b>	<b>Markanvändning och diffus belastning</b>	<b>19</b>
5.1	Markanvändning år 2017 och 2050	19
5.2	Föroreningsbelastning år 2017 och 2050	27
<b>6</b>	<b>Riskenventering</b>	<b>30</b>
6.1	Val av skyddsobjekt	30

<b>6.2</b>	<b>Val av hänsynskrav</b>	<b>30</b>
6.2.1	Miljökvalitetsnormer för grundvatten och gränsvärden för dricksvatten	30
6.2.2	Gränsvärden för PFAS i grundvatten och dricksvatten	31
6.2.3	Okända ämnen ska regleras i takt med att behov uppstår	33
<b>6.3</b>	<b>Val av riskobjekt</b>	<b>33</b>
6.3.1	Markanvändningsytor som riskobjekt	33
<b>6.4</b>	<b>Identifiering av skadehändelser</b>	<b>33</b>
<b>7</b>	<b>Risکاناليس</b>	<b>36</b>
<b>7.1</b>	<b>Generella sannolikheter</b>	<b>36</b>
<b>7.2</b>	<b>Korrigering av sannolikhet utifrån markanvändning</b>	<b>36</b>
<b>7.3</b>	<b>Konsekvenser</b>	<b>37</b>
7.3.1	Modellberäkningar	39
<b>7.4</b>	<b>Risk</b>	<b>42</b>
7.4.1	Okända ämnen	43
7.4.2	Samverkans effekter (dominoeffekter och kumulativa effekter)	43
<b>7.5</b>	<b>Resultat</b>	<b>44</b>
7.5.1	Allmänt	44
7.5.2	Screeningberäkningar	45
7.5.3	Diffus vardagsbelastning	48
7.5.4	Riskernas geografiska distribution	52
<b>8</b>	<b>Riskhantering</b>	<b>60</b>
<b>8.1</b>	<b>Acceptabel risk</b>	<b>60</b>
<b>8.2</b>	<b>Förslag till riskreducerande åtgärder</b>	<b>61</b>
8.2.1	Områden i känslighetsklass extrem	61
8.2.2	Områden i känslighetsklass hög	63
8.2.3	Områden i känslighetsklass måttlig	65
8.2.4	Områden i känslighetsklass låg	66
<b>8.3</b>	<b>Prioriterade åtgärder</b>	<b>67</b>
<b>9</b>	<b>Sammanfattning</b>	<b>67</b>
<b>10</b>	<b>Fortsatt arbete</b>	<b>69</b>
<b>11</b>	<b>Referenser</b>	<b>71</b>

# 1 Inledning

## 1.1 Bakgrund

Uppsala- och Vattholmaåsarna utgör en av Sveriges viktigaste grundvattenförekomster och förser stora delar av befolkningen i kommunen med dricksvatten. Den grundvattenförekomst som Uppsala- och Vattholmaåsarna utgör har en mycket stor potential att långsiktigt försörja en växande befolkning i Uppsala.

Stora delar av åspartierna inom stadsområdet är sedan lång tid bebyggda och den långsiktiga stadsutvecklingen enligt översiktsplanen bygger i hög grad på att stadsområdet förtätas och expanderar utåt i sammanhängande stadsbygd inom Uppsala- och Vattholmaåsarnas tillrinningsområde. Uppsala Kommun vill säkerställa skyddet av Uppsala- och Vattholmaåsarna vid nuvarande markanvändning och framtida exploatering i Uppsala med omnejd. Utöver översiktsplanens vägledning för markanvändningen behövs mer tydliga riktlinjer för stadsutvecklingen på åsen och i dess närhet. Även risker för grundvattenförekomsten som följer av dagens markanvändning och samhällsaktiviteter samt hur dessa förändras med en samhällsutveckling enligt översiktsplanen, behöver identifieras och värderas.

I ÖP 2016 anges prioriteringar i samhällsplanering och byggande och en av de prioriterade insatserna är ett uppdrag att långsiktigt värna Uppsalaåsens grundvatten:

*”Kommunen tillsammans med berörda aktörer gör i ett särskilt uppdrag kopplat till översiktsplaneringen en sammanvägd riskbedömning för hela Uppsalaåsen med en strategi för markanvändning i syfte att bevara åsen som vattenreservoar.”*

För att genomföra denna riskbedömning och strategi för markanvändning har Uppsala kommun initierat projektet:

*”Riktlinjer för markanvändning inom Uppsala- och Vattholmaåsarnas tillrinningsområde ur grundvattensynpunkt”.*

Projektet är indelat i två etapper:

- Etapp 1 av projektet genomfördes i perioden januari – juni 2017.
- Etapp 2 av projektet genomfördes i september 2017 – januari 2018.

I Etapp 1 användes benämningen Markanvändning Åsen Etapp 1 (MÅsen Etapp 1) för projektet. I analogi med det används benämningen MÅsen Etapp 2 i för denna del av projektet.

Etapp 1 omfattade:

- Framtagning av metod för riskhanteringsprocess.
- Riskanalys för programområde Ulleråker.

Etapp 2 har omfattat:

- Tillämpning av riskhanteringsprocessen och översiktlig riskanalys för hela tillrinningsområdet.
- Framtagning av riktlinjer för markanvändning ur grundvattensynpunkt för hela tillrinningsområdet.

Föreliggande rapport redovisar genomförandet och leveranserna från Etapp 2.

Riktlinjer för markanvändning har tagits fram baserat på genomförd riskhanteringsprocess i Etapp 2 bestående av; riskinventering och riskanalys (sannolikhet och konsekvens) samt värdering av riskerna och förslag till riskreducerande åtgärder. Samtliga delar i riskhanteringsprocessen har redovisats i separata PM med tillhörande bilagor, GIS kartor, beräkningsmoduler och underlagsdata. I dessa PM

redovisas mer detaljer än som varit praktiskt att infoga i denna rapport för att behålla rimlig omfattning och läsbarhet. Riktlinjerna redovisas i ett separat dokument.

## 1.2 Projekt mål

### 1.2.1 Projektdirektivet

Projektdirektivet definierar syftet, målet och slutprodukten för projektet.

Enligt projektdirektivet är syftet med projektet att säkra stadens tillväxt samtidigt som grundvattenförekomsten är skyddad och miljökvalitetsnormer (MKN) för grundvattnet uppnås enligt ramdirektivet för vatten samt att grundvattnet uppfyller gränsvärden för dricksvatten enligt Livsmedelsverkets föreskrifter (SLVFS 2001:30). Vidare är syftet att Uppsala kommuns utveckling sker så att risker som påverkar grundvattenkvaliteten i Uppsala- och Vattholmaåsarna beaktas tidigt i planeringen och hanteras.

Målet med projektet har varit att ta fram en sammanvägd riskbedömning för hela Uppsala- och Vattholmaåsarnas vattenkvalitet och kvantitet samt riktlinjer för markanvändning i syfte att bevara åsen som vattenreservoar på kort och lång sikt.

Slutprodukt för projektet är riktlinjer för markanvändning som ska innehålla en karta för tillrinningsområdet för Uppsala- och Vattholmaåsarna med riktlinjer för markanvändning och förhållningssätt. Slutprodukten ska kunna ligga till grund för konkreta handlingsplaner med åtgärder som behöver vidtas. Materialet ska utgöra underlag till ÖP och användas vid bedömning av markens förutsättningar för exploatering och planhandläggning. Materialet ska dessutom fungera som ett underlag för bedömning av behov av åtgärder eller fördjupade utredningar och undersökningar inom befintlig markanvändning, utifrån risker för grundvattnet.

### 1.2.2 Projekt mål MÅsen Etapp 2

Projekt mål för MÅsen Etapp 2 utgörs av de mål som, beaktat det som redan utförts och uppnåtts i Etapp 1, behöver uppnås för att uppfylla det mål och nå den slutprodukt som anges i projektdirektivet.

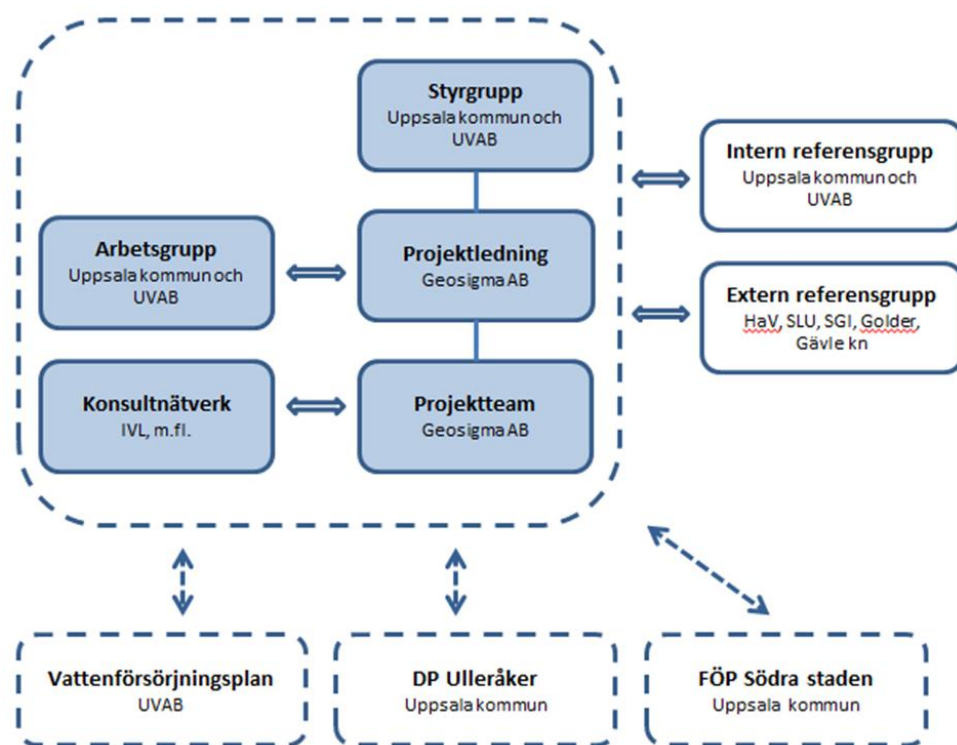
1. En sammanställning av befintlig och framtida, på ÖP-nivå år 2050, planerad markanvändning och markbelastning (diffus belastning) i form av kommenterade GIS-skikt.
2. Känslighetskarta, avseende grundvattenskydd, för hela tillrinningsområdet.
3. Riskanalys (sannolikhet och konsekvens) för valda delar av tillrinningsområdet, baserat på nuvarande och planerad markanvändning år 2050 enligt ÖP2016.
4. Riskhantering (riskvärdering och förslag till riskreducerande åtgärder) för valda delar av de områden som genomgått riskanalys enligt pkt 3.
5. Riktlinjer för markanvändning ur grundvattensynpunkt för hela tillrinningsområdet dvs. karta för tillrinningsområdet med tillhörande riktlinjer och förhållningssätt.

## 2 Projektets genomförande

### 2.1 Projektorganisation

Uppsala kommun är projektägare. Projektorganisationen visas i figur 2-1. En betydande skillnad mot organisationen för den tidigare genomförda Etapp 1 är att Arbetsgruppen inte arbetat produktivt i projektet.

Parallellt med MÅsen Etapp 2 har tre projekt pågått som har starka kopplingar till framtagna riskhanteringsprocess och resultat i Etapp 1 och resultaten i Etapp 2. Dessa tre projekt är Vattenförsörjningsplan (UVAB), DP Ulleråker och FÖP Södra staden.



Figur 2-1. Organisation för MÅsen Etapp 2.

## 2.2 Förutsättningar

Huvudsakliga underlag för genomförande av Etapp 2 har varit.

- Befintliga resultat från MÅsen Etapp 1.
- Samtidigt som Etapp 1 genomförts har UVAB genomfört en funktionsanalys av åsen och SGU har tagit fram en 3D-modell av jordlagerföljden som ingått som underlag i funktionsanalysen. Dessa två utgör tillsammans den hittills bästa beskrivningen av åsens hydrogeologi och utgör viktiga källor till underlagsdata för genomförandet av Etapp 2.
- Riskhanteringsprocessens steg tre Riskhantering (värdering och reducering av risk) har nyligen genomförts för planområde Ulleråker och finns nu rapporterat i form av arbetsmaterial (17-08-09). Framtagen metod utgör viktigt underlag vid genomförande av dessa moment i Etapp 2.

## 2.3 Omfattning och avgränsningar

Etapp 2 har omfattat de aktiviteter, enligt punkt 2.4, som behövt genomföras för att uppnå projektmålen enligt projektdirektivet.

Inom planområdet Ulleråker har riskhanteringsprocessens samtliga tre steg genomförts. Ytterligare utredning inom planområdet Ulleråker har av den anledningen inte utförts inom Etapp 2.

Etapp 2 har genomförts baserat på de data och övriga underlag som finns tillgängliga, eller som med rimlig arbetsinsats kunnat fås fram ur t.ex. UVAB:s Funktionsanalys Åsen. Inga fältundersökningar har gjorts inom Etapp 2.

I leveransen från Etapp 1 ingick bl.a. en databas vars syfte var att kunna uppdatera ingående data vid förändringar i planerad markanvändning eller när bättre underlag finns tillgängligt. Om den databas

med underlag som överlämnats i Etapp 1 ska kunna fungera på detta sätt behöver den kompletteras för att göras lätt tillgänglig för kommunens användare. Denna komplettering har inte ingått i Etapp 2 utan får ske som separat uppdrag om det bedöms vara lämpligt utifrån användarnas behov.

## 2.4 Aktiviteter

Projektet har genomförts i ett antal aktiviteter och varje aktivitet utgör en del i ett sammanhållet underlag för riktlinjer för markanvändning ur grundvattensynpunkt för hela tillrinningsområdet.

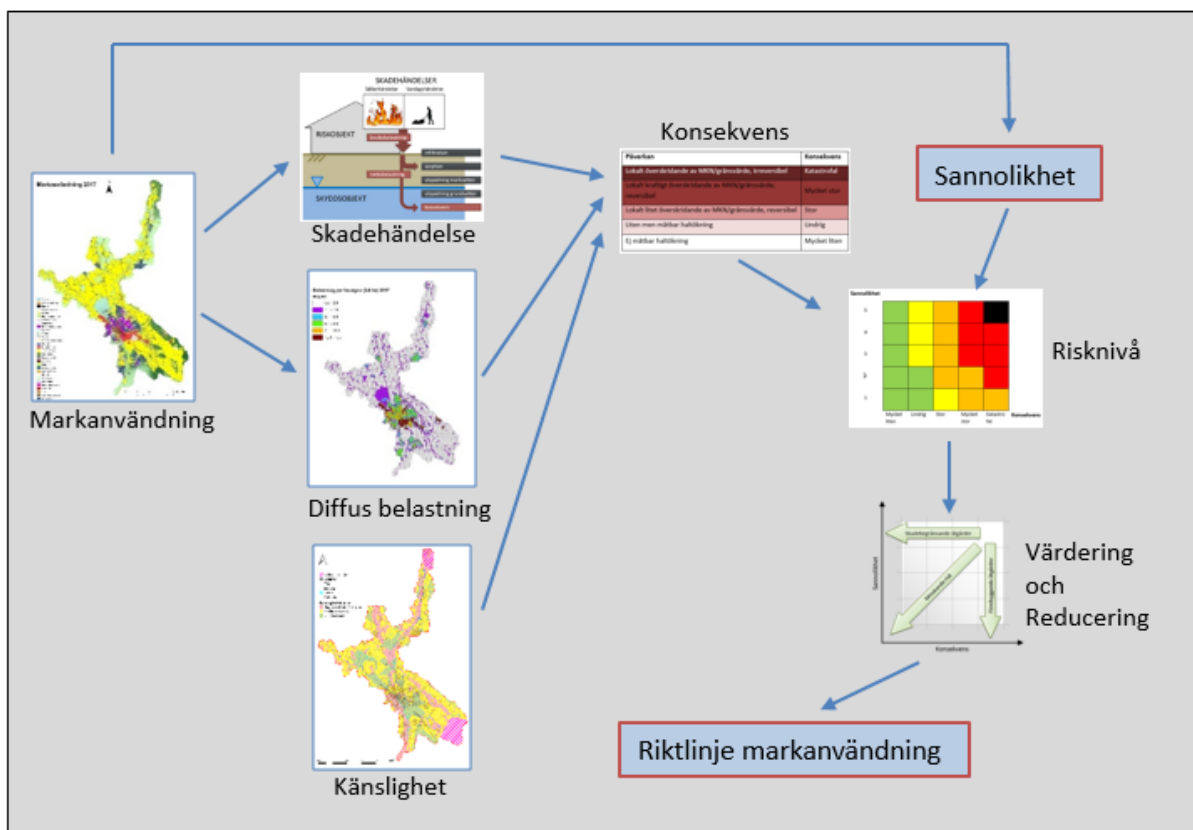
**Tabell 2-1. Aktiviteter**

Leverans/Aktivitet
A.1 Beräkningsverktyg för punktbelastning
A.2 Integration av resultat från UVAB:s funktionsanalys av åsen
A.3 Risker identifiering
A.4 Markanvändning och diffus belastning
A.5 Känslighetskarta
A.6 Steg 2 i riskhanteringsprocessen – riskanalys. Sannolikhet och konsekvens
A.7 Steg 3 i riskhanteringsprocessen – riskhantering. Värdering och reducering
A.8 Utformning av riktlinjer för markanvändning
A.9 Rapport Etapp 2

Vägen fram till slutmålet, dvs riktlinjer för markanvändning inom Uppsala- och Vattholmaåsarnas tillrinningsområde illustreras i Figur 2-2.

- 1) Markanvändningen ger upphov till möjliga skadehändelser och diffus belastning. Detta har dokumenterats i riskinventeringen.
- 2) Konsekvensen av skadehändelse och diffus belastning beror på platsens känslighet för att förorena grundvattenförekomsten.
- 3) Sannolikheten för en skadehändelse och även diffus belastning beror av markanvändningen.
- 4) Sannolikheten tillsammans med konsekvensen för en skadehändelse och diffus belastning ger en risknivå.
- 5) Riskerna har värderats och reducerande åtgärder, tekniska och icketekniska, i form av skadereducerande (minska konsekvens) och förebyggande (minska sannolikhet) har föreslagits.
- 6) Utifrån resultaten av 1) till 5) har riktlinjer för markanvändning utarbetats. Riktlinjerna beskriver, så långt som möjligt, med befintligt underlag, vad som behöver göras i nuläge med befintlig markanvändning och vid utbyggnad av Uppsala mot planerad markanvändning år 2050 enligt ÖP.





Figur 2-2. Aktiviteternas inbördes relation vid framtagning av riktlinjer för markanvändning.

### 2.4.1 Beräkningsverktyg för punktbelastning

Aktivitet A.1 Beräkningsverktyg för punktbelastning, har omfattat följande moment:

- Genomlysning och "second-opinion" av modellen. Detta innefattar bland annat en tydlig och lättförståelig förklaring av modellen och dess ursprung, samt förtydliganden om vad som beräknas med modellen.
- Mer utförlig diskussion och redovisning om modellens för- och nackdelar samt begränsningar. Hur bör modellen utvecklas? Finns det alternativ som kompletterar modellen?
- Motivering till modellens lämplighet för tillämpning för MÅsens projektmål.
- Praktiskt tillvägagångssätt för generell tillämpning för hela åsen med tillrinningsområde. Hur ska modellresultat tolkas i förhållande till riktvärden?
- Utvidgning av beräkningsverktyg för att kunna tillämpa detta även på diffus belastning.

### 2.4.2 Integration av resultat från Uppsala Vattens funktionsanalys av åsen

Aktivitet A.2 Integration av resultat från Uppsala Vattens funktionsanalys av åsen har omfattat följande.

Den funktionsanalys av åsen som UVAB nyligen genomfört har resulterat i en genomgripande uppdaterad förståelse av det hydrogeologiska systemet. Bl.a. är två konkreta resultat en tredimensionell modell av geologisk struktur (jordlagerföljd) samt en tredimensionell kvantitativ

modell för grundvattenströmning. Att införliva sådan "state-of-the-art"-kunskap till MÅsen har haft stor prioritet i ett tidigt skede av Etapp 2. En uppenbar fördel med samordningen är också att det uppnås en överensstämmelse mellan projekten avseende hydrogeologiska tolkningar och ansättande av värden för hydrogeologiska parametrar. Viktiga punkter innefattar bl.a. följande:

- Den tredimensionella strukturmodellen har använts för att få bättre underlag för en känslighetskarta och belastningsberäkningar.
- Den tredimensionella modellen för grundvattenströmning har använts för att ansätta värden för grundvattenflöden i beräkningsverktyg för punktbelastning och diffus belastning.
- Den grundvattenbildning (delvis erhållna som ett resultat av modellkalibrering) som använts inom UVAB:s funktionsanalys har gett bättre indata till beräkningsverktygen för belastning.

### 2.4.3 Riskinventering

Aktivitet A.3 Riskinventering har genomförts för hela tillrinningsområdet.

Endast delar av riskhanteringsprocessen utfördes inom projektets etapp 1, där fokus låg på Ulleråker. I etapp 2 har inventering, analys och riskhantering utvidgats till att omfatta hela Uppsala- och Vattholmaåsarnas tillrinningsområde och kompletterats med ytterligare skadehändelser som inte tidigare beaktats. Riskinventeringen utgör det första steget i riskhanteringskedjan och omfattar en identifiering av riskobjekt och skyddsobjekt. De efterföljande stegen – riskanalys (aktivitet A.6) och riskvärdering (aktivitet A.7)– har utförts med riskinventeringen som grund.

Steg i riskhanteringsprocessen:

1. Inventering av riskobjekt och skyddsobjekt.
2. Analys av risker och konsekvenser.
3. Hantering av risker genom riskvärdering och riskreduktion.

De två sistnämnda stegen har utgjort en viktig del av arbetet inom Etapp 2, och listas som separata aktiviteter nedan.



Figur 2-3. Riskhanteringsprocess som följts i Etapp 1 och 2.

### 2.4.4 Markanvändning och diffus belastning

Aktivitet A.4 markanvändning och diffus belastning var delvis utförd inom ramen för etapp 1 men har i etapp 2 reviderats för befintlig (2017) markanvändning och kompletterats med framtagning och kartredovisning av framtida markanvändning. Inom denna aktivitet har också gjorts en generell beräkning av föroreningsbelastningen på hela grundvattenförekomsten för olika ämnen.

### 2.4.5 Känslighetskarta

Aktivitet A.5 Känslighetskartan för hela åsen med tillrinningsområde har bl.a. utarbetats med hjälp av den tredimensionella jordlagerföljdsmodell som tagits fram inom UVAB:s funktionsanalys. Denna

baseras, förutom på den vanliga jordartskartan, på ett stort antal jordborrningar och geofysiska profiler vilket ger jordlagerinformation även på större djup. Tillrinningsområdet har indelats i fyra huvudsakliga känslighetsklasser utifrån ett antal kriterier:

- Klass 1: Extrem känslighet
- Klass 2: Hög känslighet
- Klass 3: Måttlig känslighet
- Klass 4: Låg känslighet

I denna aktivitet har också genomförts bedömning av risken för påverkan på grundvattenförekomsten av översvämningar i nivå med beräknat högsta flöde. För detta har den framtagna känslighetskartan sammanfogats med MSB:s (Myndigheten för Samhällsskydd och Beredskap) översvämningsskartering av Fyrisån (2013). Känslighetskartan har även jämförts med en lågpunktskartering för att utreda områden utanför översvämningsområdet.

#### 2.4.6 Steg 2 i riskhanteringsprocessen – riskanalys

Aktivitet A.6 Riskanalys har baserats på de skadehändelser som identifierats i aktivitet A3- Riskinventering och har utförts med utgångspunkt i dagens markanvändning inom tillrinningsområdet. För vissa av skadehändelserna, där så har bedömts relevant, har hänsyn även tagits till planerad markanvändning 2050 enligt ÖP 2016.

Riskerna har distribuerats geografiskt och kan vid behov redovisas i GIS kartor.

#### 2.4.7 Steg 3 i riskhanteringsprocessen - riskhantering

Aktivitet A.7 Riskhantering har inkluderat förslag på riskreducerande åtgärder för de skadehändelser som identifierats i *Aktivitet A.3 – Riskinventering* och som genomgått riskanalys i *Aktivitet A.6 - Riskanalys*. Särskilt fokus på riskreducerande åtgärder har legat på de två områden som genomgått fördjupad riskanalys i *Aktivitet A6*.

Riskreducerande åtgärder redovisas också områdesvis utifrån känslighetsklass; låg, måttlig, hög och extrem. Här har också föreslagna åtgärder delats in utifrån tre olika skeden:

- Planering/projektering
- Bygg- och anläggning
- Drift- och underhåll

Både tekniska och icke tekniska riskreducerande åtgärder har utvärderats och redovisats.

#### 2.4.8 Riktlinjer för markanvändning

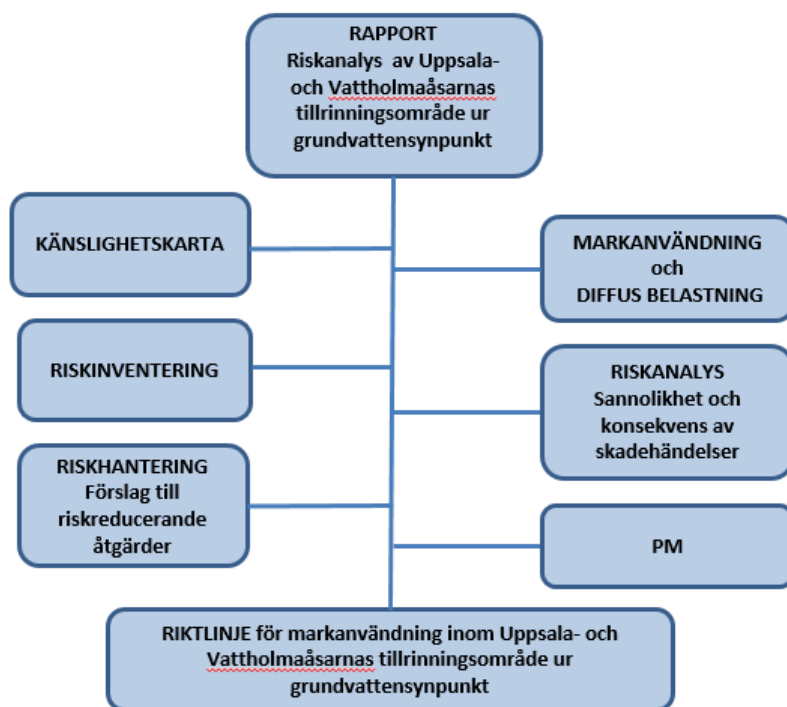
Aktivitet A.8 Utformning av riktlinjer för markanvändning har gjorts utifrån resultaten från ovanstående aktiviteter A.1 till A.7.

#### 2.4.9 Rapport Etapp 2

Aktivitet A.9 Rapport har omfattat framtagning av rapport som sammanfattar omfattning, genomförande, leveranser och resultaten från Etapp 2

### 2.5 Projektleveranser

Figur 2-4 illustrerar de ingående leveranserna och deras inbördes förhållande. Föreliggande rapport (Geosigma rapport 18116) representeras av rutan "Riskanalys av Uppsala- och Vatholmaåsarnas tillrinningsområde ur grundvattensynpunkt". Rapporten sammanfattar projektets genomförande och resultat. Riktlinje för markanvändning inom Uppsala- och Vatholmaåsarnas tillrinningsområde ur grundvattensynpunkt är ett separat dokument som tagit fram enligt Uppsala kommuns mall "Riktlinje". PM finns som separata underlagsdokument.



Figur 2-4. Leveranser från projekt MÅsen Etapp 2.

### 3 Översiktlig hydrogeologisk beskrivning

#### 3.1 Allmänt

De hydrogeologiska förhållandena styr hur känsligt grundvattnet är för förorening och därmed vilka markanvändningar som är lämpliga eller olämpliga för ett visst område. De hydrogeologiska förhållandena och känsligheten styr också vilka skyddsåtgärder som kan behövas för att minska sannolikhet och konsekvens för att en förorening når grundvattnet.

#### 3.2 Uppsala- och Vattholmaåsarna

I Uppsalatrakten förekommer Uppsalaåsen både som topografiskt framträdande åsryggar i dagen och under mer än 50 m djupa lager av finsediment (lera och silt). Genom Uppsala har åsen avlagrats längs en nord-sydlig förkastning i berggrunden.

Av figur 3-1 framgår att större delen av åsen täcks av finsediment av varierande tjocklek. Områdena med åsmaterial i dagen utgör endast ca 15 % av den totala utbredningen av åsens grundvattenmagasin inom tillrinningsområdet. Där åsen går i dagen uppgår den omättade zonen i vissa markerade höjdområden, som exempelvis vid Tunåsen, till mer än 30 m. Huvudåsens vattenförande mäktighet överstiger ställvis 30 m och åsens centrala delar ligger oftast direkt på berg. Den vattenförande mäktigheten i biåsarna i Sävjaåns och Jumkilsåns dalgångar är väsentligt mindre, oftast inte mer än ca 5 m, medan den i Vattholmaåsen ställvis är mer än 10 m.

Den huvudsakliga naturliga grundvattenströmningen i tillrinningsområdet är riktad mot åsarna och mot söder och en utströmning sker till Mälaren, se figur 3-1. I tillrinnings-områdets nordligaste del finns två mindre grundvattenmagasin i åsen, Läby- och Björklinge-Sandbromagasinen, vilka avvattnas

mot Vendelån respektive Långsjön. Dessa delar har inte inkluderats i Måsen Etapp 2, jämför figur 3-1 och 3-2.

I områden där åsmaterialet går i dagen varierar medelgrundvattenbildningen i olika delar av modellområdet mellan knappt 250 till drygt 300 mm/år (Rodhe et al, 2006). Även om grundvattenbildningen per ytenhet är högst i dessa områden bildas dock huvuddelen av det grundvatten som tillförs åsen i den resterande delen av åsens tillrinningsområde.

Vid grundvattendelaren vid Björklinge-Sandbromagasinet södra gräns, i höjd med Drälinge, ligger grundvattennivån på ca +35 m (RH2000). Därifrån sjunker grundvattennivån successivt hela vägen ner till Mälaren där grundvattennivån är knappt +1 m. I Vattholmaåsen, i tillrinningsområdets nordostligaste del, är grundvattennivån ca +23 m. I höjd med Lena kyrka finns ett markant stalp i grundvattennivån, från drygt +22 m till knappt +17 m (ett stalp är ett parti med brant lutande grundvattenyta, "grundvattenfall"). Grundvattennivån i Vattholmaåsen sjunker sedan successivt och är vid sammanflödet med huvudåsen knappt +13 m.

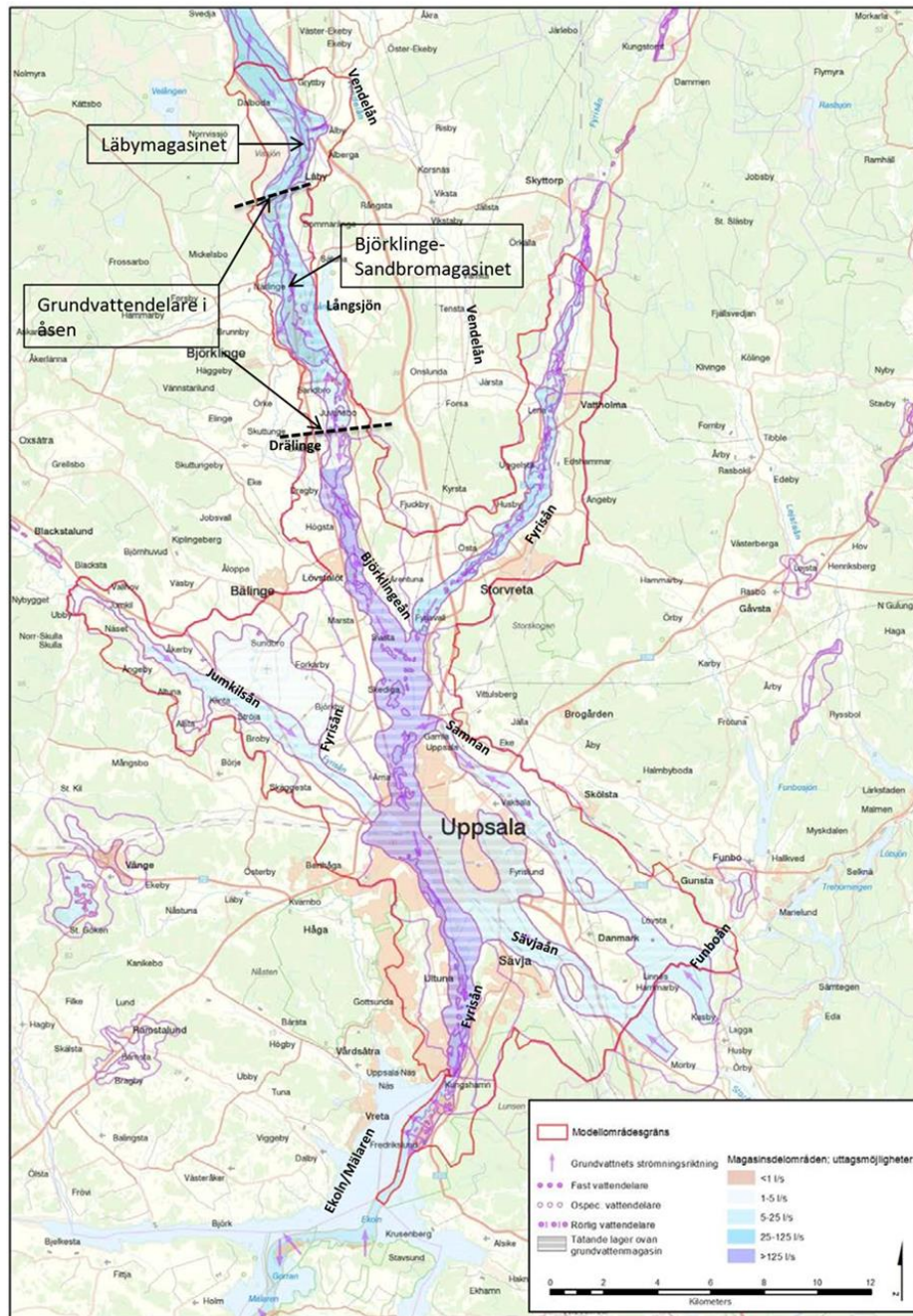
Mälaren är under naturliga förhållanden utströmningsområde för åsens grundvatten. Fyrisån, Sävjaån och Jumkilsån rinner alla på vissa sträckor längs med åsarna eller korsar dem, och utgör där potentiella in- eller utströmningsområden beroende på relationen mellan grundvattennivån och vattendragens nivåer. Jordlagerförhållandena på dessa sträckor är avgörande för om det finns en hydraulisk kontakt av praktisk betydelse.

### 3.3 Grundvattenförekomster

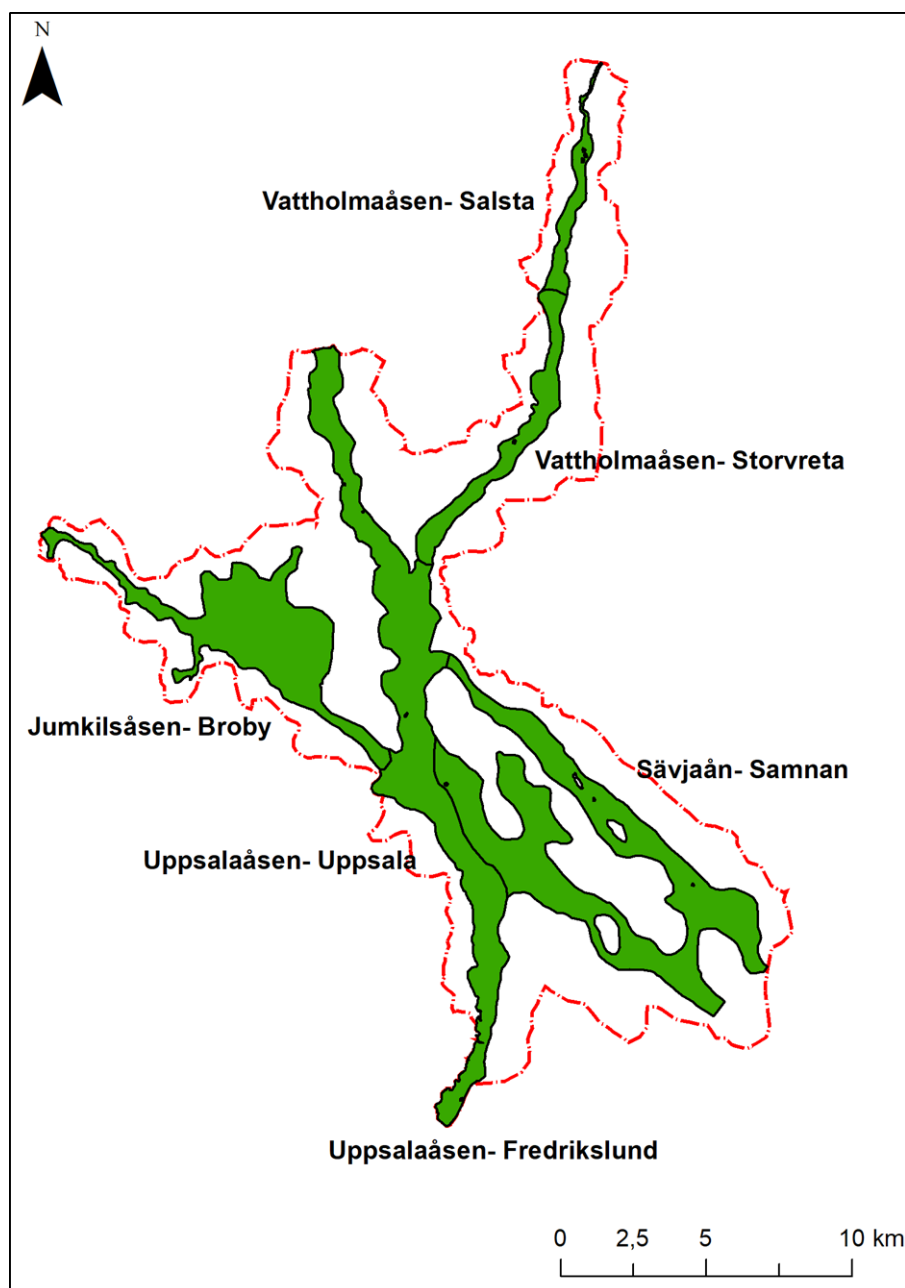
Havs- och Vattenmyndigheten har definierat sex grundvattenförekomster inom tillrinningsområdet för Uppsala- och Vattholmaåsarna (Figur 3-2). Samtliga dessa ska uppfylla miljö kvalitetsnormen (MKN) för grundvatten.

- Uppsalaåsen-Uppsala
- Uppsalaåsen-Fredrikslund
- Vattholmaåsen-Storvreta
- Vattholmaåsen-Salsta
- Jumkilsåsen-Brody
- Sävjaån-Samnan





Figur 3-1. Utbredningen av åsens grundvattenmagasin med tillrinningsområdet markerat (Uppsala Vatten, 2017, med SGUs grundvattenkarta som underlag ©).



**Figur 3-2.** Grundvattenförekomster inom Uppsala- och Vattholmaåsarnas tillrinningsområde. Tillrinningsområdet är markerat med röd linje.

### 3.4 Uppsalas vattenförsörjning

Uppsalas dricksvatten tas från brunnar i Uppsalaåsen. För att kompensera för vattenuttagen infiltreras vatten från Fyrisån i åsen. Vattnet från Fyrisån förbehandlas i filter innan infiltration i dammar. Efter cirka sex månaders passage i åsen har det blivit ett lika bra grundvatten som det naturliga grundvattnet i åsen när det pumpas upp till vattenverken.

Vattenföringen i Fyrisån är under sommarmånaderna ofta inte tillräcklig för att önskad infiltration ska kunna ske samtidigt som minimivattenföringen nedströms uttagpunkterna upprätthålls. För att säkerställa tillgången på infiltrationsvatten finns därför möjlighet att pumpa vatten från sjön Tämnamaren till Fyrisån.

## 4 Känslighet för grundvattenförorening

### 4.1 Definition av känslighet

Som nämnts i kapitel 3 är det de hydrogeologiska förutsättningarna som avgör hur känsligt ett område är för att grundvattnets kvalitet ska påverkas negativt av en förorening.

Målet med föreliggande riktlinjer är att skydda grundvattnet i de grundvattenförekomster som ges i kapitel 3 så att de kan användas för Uppsalas dricksvattenförsörjning idag och i framtiden samtidigt som staden växer. Det har lett till följande definition av känslighet.

*Känslighet är en geografiskt distribuerad egenskap. Med känslighet avses hur känslig en specifik plats är för att en förorening på markytan eller en marknära förorening ska påverka grundvattnet i Uppsala- och Vattholmaåsarna så att det inte kan användas som resurs för dricksvattenförsörjning.*

### 4.2 Känslighetsklasser

Känslighetsklasserna utgår från de geologiska och hydrogeologiska förhållandena i Uppsala- och Vattholmaåsarnas tillrinningsområde. Uppsalaåsen och Vattholmaåsen ligger som långa strängar och till stor del under lera i dalgångar med nord-sydlig eller nordväst-sydostlig riktning. Leran kan vara sprucken och torr i ytan och ha delvis luftfyllda porer (torrskorpelera) ner till ett djup av 2 – 4 m. Grundvattenströmning sker generellt från randområdena och in mot åsarna och söderut i åsarna. Figurer 4-1 exemplifierar de hydrogeologiska förutsättningarna som känslighetsklasserna utgår ifrån.

I Figur 4-2 ges ett konceptuellt exempel av känslighetsklassning av åsen med omgivning kring centrala Uppsala. I exemplet ses åsen i tvärprofil och stegvis klassas ytan efter känslighetskriterierna. Notera att detta är ett förenklat exempel för att beskriva olika känslighetsklasser i ett plan.

#### E. Extrem känslighet

- Isälvsmaterial i dagen (grönt) på jordartskartan + 50 m osäkerhetsmarginal (baserat på SGU's rekommendationer m.a.p. generaliseringar och onoggrannhet i kartgränser).

#### H. Hög känslighet

- Lera med mäktighet mindre än 5 m som överlagrar isälvsmaterial.
- Lera med mäktighet större än 5 m som överlagrar isälvsmaterial och som avvattnas mot områden i klass extrem.
- Lera som överlagrar morän och som avvattnas mot områden i klass extrem.
- Morän och bergområde inom 1000 m från kontaktytan mellan morän och utbredning isälvsmaterial med hydraulisk kontakt med isälvsmaterial.

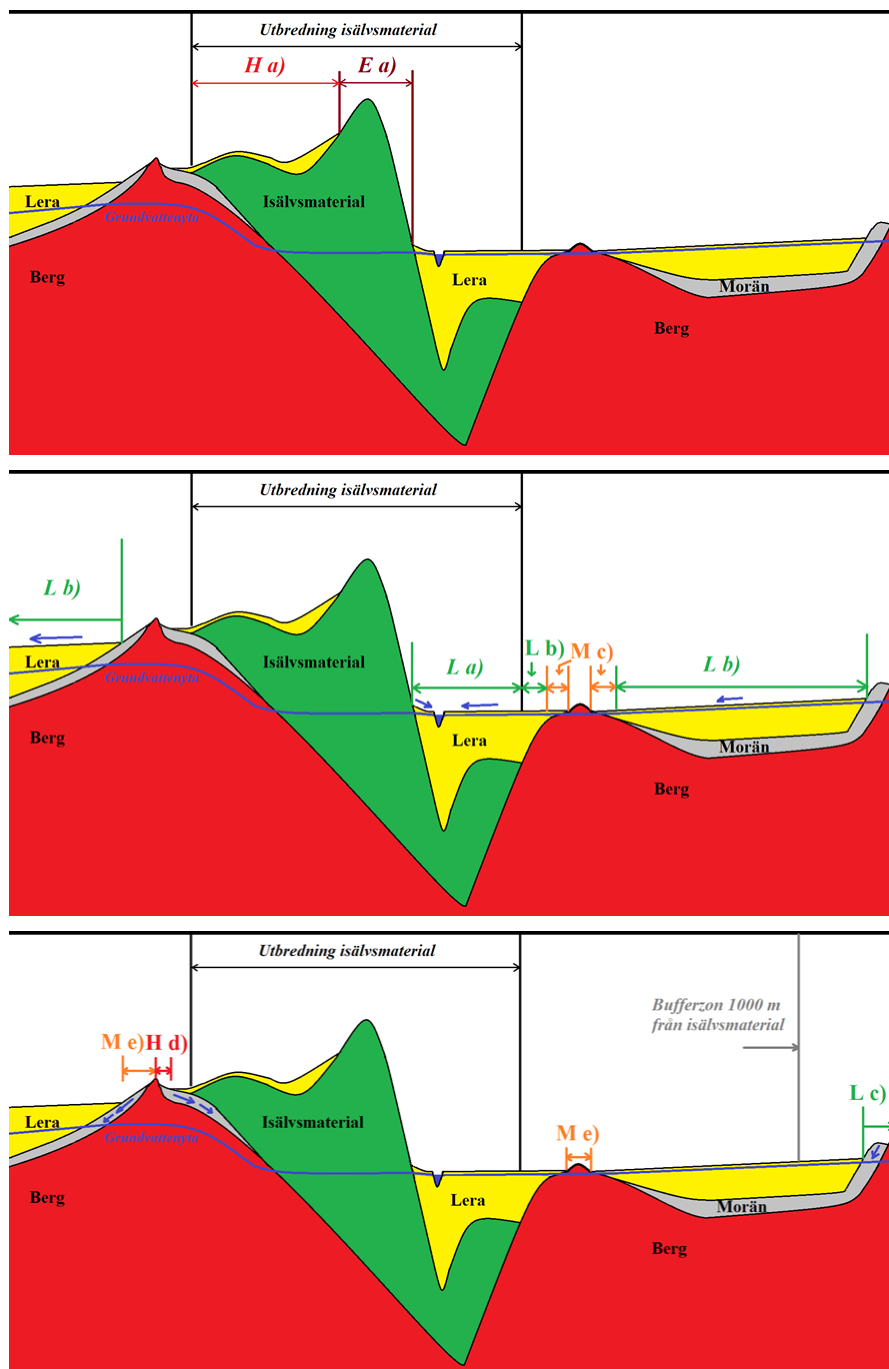
#### M. Måttlig känslighet

- Lera med mäktighet större än 5 m som överlagrar isälvsmaterial och som avvattnas mot klass hög.
- Lera med mäktighet större än 5 m som överlagrar morän och som avvattnas mot klass hög.
- Lera med mäktighet mindre än 5 m som överlagrar morän som inte avvattnas mot områden i klass extrem.
- Morän och bergområde på ett avstånd större än 1000 m från kontaktytan mellan morän och utbredning isälvsmaterial med hydraulisk kontakt med isälvsmaterial.
- Morän och bergområde inom 1000 m från kontaktytan mellan morän och utbredning isälvsmaterial utan hydraulisk kontakt med isälvsmaterial.

#### L. Låg känslighet



- Lera med mäktighet större än 5 m som överlagrar isälvsmaterial och som inte avvattnas mot områden i klass extrem eller hög.
- Lera med mäktighet större än 5 m som överlagrar morän och som inte avvattnas mot områden i klass extrem eller hög.
- Morän- och bergområden på ett avstånd större än 1000 m från kontaktytan mellan morän och isälvsmaterial utan hydraulisk kontakt med isälvsmaterial.

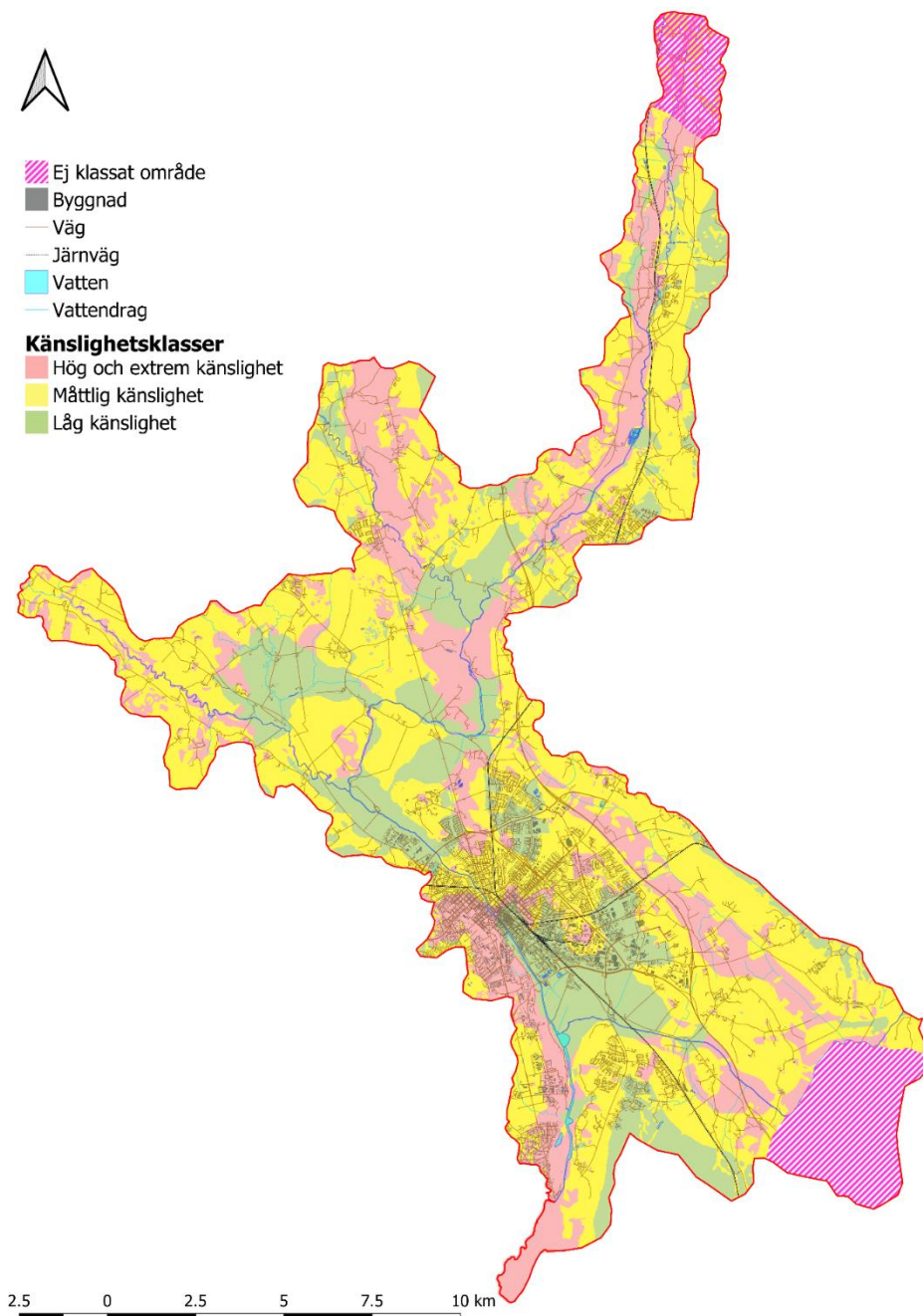


**Figur 4-2.** Konceptuellt exempel av känslighetsklassning, området motsvarar en vertikal tvärprofil av åsen utbredning i centrala Uppsala. A) Först klassas extremt känsliga områden samt tunna lerområden (<5 m) på isälvsmaterial. B) I nästa steg klassas lerområden med måttlig och låg känslighet. C) Till sist klassas morän- och urbergsområden

### 4.3 Känslighetskarta

Känslighetskartan för Uppsala- och Vattholmåsarnas tillrinningsområde visas i figur 4-3. Känslighetskartan är framtagen i GIS och utformad att fungera tillsammans med GIS lager för t.ex. befintlig och planerad framtida markanvändning.

Känslighetskartan tar hänsyn till både vertikala och horisontella strömningen från ett utsläpp. Den baserar sig på en av SGU nyligen framtagen tredimensionell jordlagermodell över tillrinningsområdet integrerat med resultat från en tredimensionell kalibrerad grundvattenflödesmodell för åsarna och tillrinningsområdet som Uppsala Vatten och Avfall AB använt för en funktionsanalys av åsen.



Figur 4-6. Känslighetskarta för Uppsala- och Vattholmåsarnas tillrinningsområde.

## 5 Markanvändning och diffus belastning

Det övergripande syftet med den geografiska analysen av markanvändning och beräkning av diffus belastning har varit att:

- Översiktligt beräkna diffus belastning på grundvattenförekomsterna vid befintlig markanvändning (2017) och vid planerad markanvändning enligt ÖP år 2050.
- Identifiera befintliga verksamheter och markanvändningar som utgör risk för grundvattnet på områden med hög och extrem känslighet.
- Identifiera planerade exploateringar som är placerade i områden med hög och extrem känslighet.

### 5.1 Markanvändning år 2017 och 2050

Markanvändningen ger upphov till möjliga skadehändelser som kan förorena grundvattnet och diffus föroreningsbelastning till grundvattenförekomsten.

Stora ytor inom Uppsala- och Vattholmaåsarnas avrinningsområde utgörs i dagsläget av jordbruksmark, skogsmark och blandat grönområde. Även år 2050 kommer dessa kategorier att utgöra de största markanvändningsområdena trots att ytan kommer att minska till förmån för bostadsbebyggelse, industriområden, tät stadsbebyggelse och parkmark.

Totalareor för samtliga markanvändningsareor år 2017 och 2050 presenteras i tabell 5-1. Observera att tabell 5-1 i första hand ska ses som en redovisning av de areor som använts för beräkning av diffus belastning. Vissa markanvändningar, t.ex. torg och grusyta är ibland redovisade som egna ytor, men kan också vara en del av en annan markanvändning, (torg ingår t.ex. i tät stadsbebyggelse på några platser och grusyta kan vara en del av både skolområde och idrottsplats). En del förenklingar har också gjorts men för ytterligare kommentarer för de olika markanvändningsklasserna.

Geografiska fördelningen av markanvändningen år 2017 visas i figur 5-1 och markanvändning 2050 visas i figur 5-2. Stora delar av centrala Uppsala är beläget på känsliga områden. Inom dessa områden återfinns såväl villabebyggelse, flerfamiljshusområde som tätare stadsbebyggelse och industriområden. Andra delar där bebyggelse i större omfattning ligger inom åsens känsligare delar är kring södra Sunnersta, Vattholma och Lövstalöt. Flera vägar följer eller korsar dessutom åsens mer känsliga delar, detta gäller bland annat E4:an, Dag Hammarskjölds väg, Bärbyleden, väg 290 och väg 600 mot Björklinge

Markförändringarna som planeras fram till 2050, se figur 5-3, ligger till stora delar utanför områdena med extrem eller hög känslighet. Vissa delar av några nya bostadsområden ligger dock mer eller mindre delvis inom åsens mer känsliga områden. I figur 5-4 och tabell 5-2 visas mer i detalj befintlig och planerad markanvändning, enligt ÖP2016, inom områden med hög och extrem känslighet.

**Tabell 5-1: Area per markanvändning år 2017 samt 2050.**

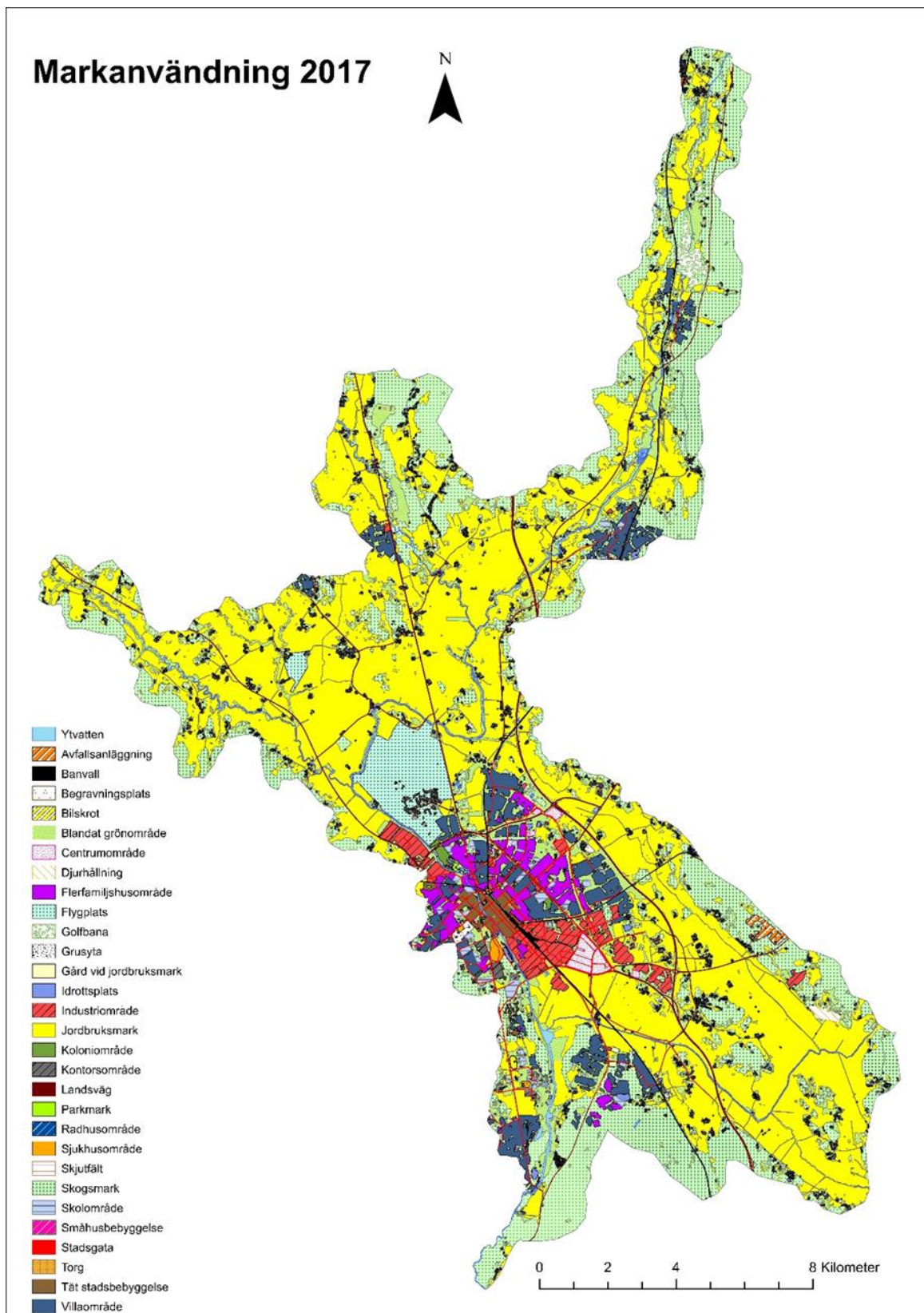
Markanvändning	Area (ha) <sup>1</sup>		Förändring	
	2017	2050	(ha)	(%)
Atmosfärisk deposition, ytvatten	190	190	0	0%
Avfallsanläggning	42	42	0	0%
Banvall	48	48	0	0%
Begravningsplats	28	28	0	0%
Bilskrot	2,5	2,5	0	0%
Blandat grönområde	3300	3200	-100	-3%
Centrumområde	98	190	92	94%
Djurhållning <sup>2</sup>	25	34	9	36%
Flerfamiljshusområde	450	700	250	56%
Flygplats	640	640	0	0%
Gård vid jordbruksmark <sup>2</sup>	6,1	6,1	0	0%
Golfbana	95	95	0	0%
Grusyta <sup>2</sup>	1,8	0	-2	-100%
Idrottsplats	54	59	5	9%
Industriområde	520	1100	580	110%
Jordbruksmark	12 000	11 000	-1000	-8%
Koloniområde	28	27	-1	-4%
Kontorsområde	440	560	120	27%
Landsväg <sup>3</sup>	150	160	10	7%
Parkmark <sup>4</sup>	4,2	130	126	3000%
Radhusområde <sup>4</sup>	2	21	19	950%
Sjukhusområde	28	29	1	4%
Skjutfält	4,6	4,6	0	0%
Skogsmark	6300	5600	-700	-11%
Skolorområde	160	190	30	19%
Småhusbebyggelse; mix av område med villor, kedjehus, parhus och radhus (radhus, villor) <sup>4</sup>	37	550	513	1400%
Stadsgata <sup>3</sup>	130	140	10	8%
Tät stadsbebyggelse. Stenstadens bostads- och arbetsområden	180	490	310	170%
Torg <sup>2</sup>	4,1	5,2	1	27%
Villaområde	1200	1200	0	0%

<sup>1</sup> Avrundade siffror, totalareorna skiljer 1,7 %. Icke avrundade siffror som används i beräkningarna skiljer 0,05 % i totalarea pga delvis överlappande markanvändning.

<sup>2</sup>Sparsamt använt. Det finns fler områden som skulle kunna klassas som denna markanvändning inom tillrinningsområdet som är klassat på annat sätt p.g.a. praktiska skäl och liten skillnad i belastning.

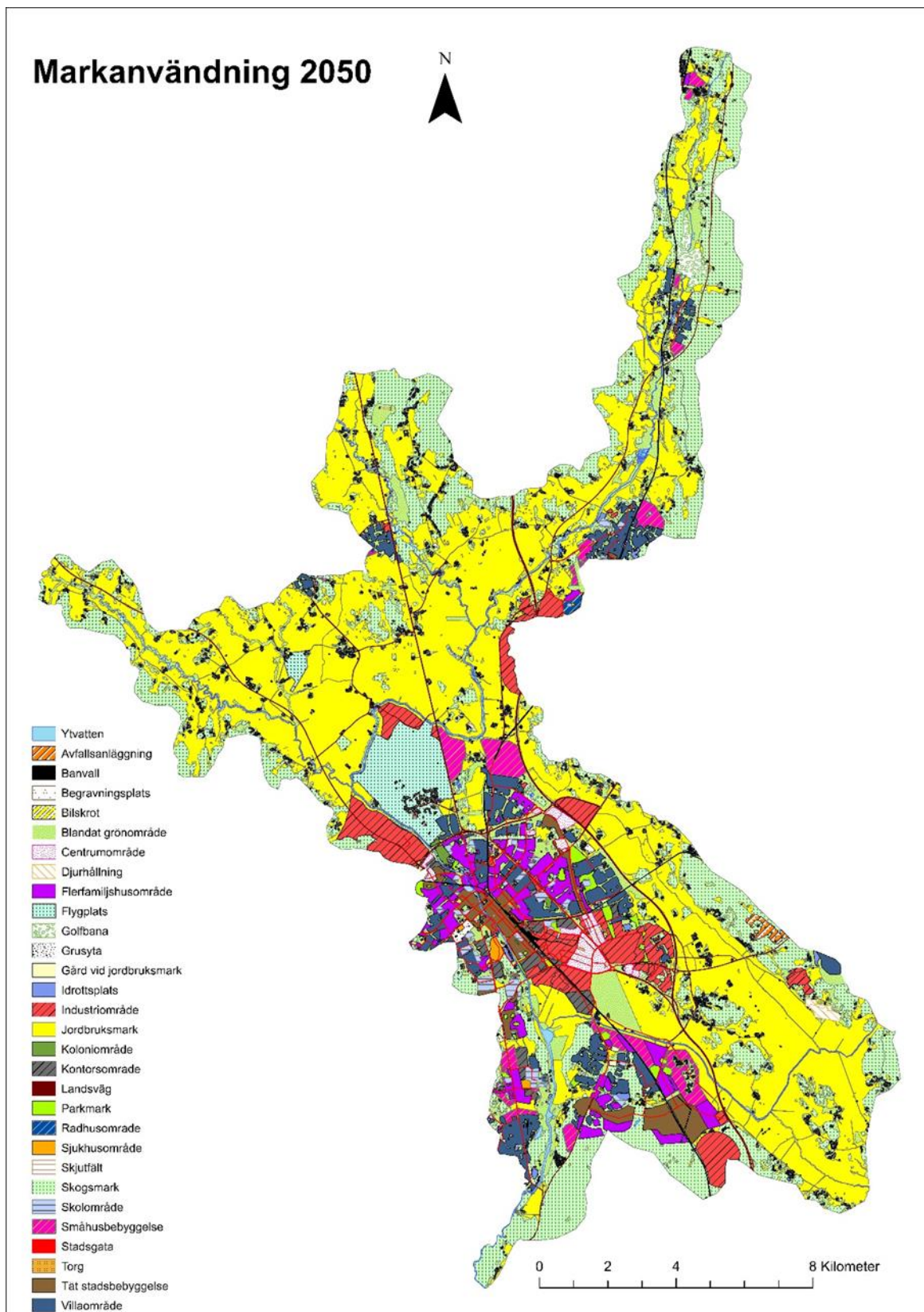
<sup>3</sup>Endast större vägar (ÅDT större än 2000 fordon/dygn) redovisas som vägar. Övriga vägar ingår i annan markanvändning (t.ex. villaområde).

<sup>4</sup> Den stora procentuella ökningen förklaras delvis med att markanvändningsklassen använts i större omfattning för nya områden än i den ursprungliga markanvändningskartan från etapp 1.

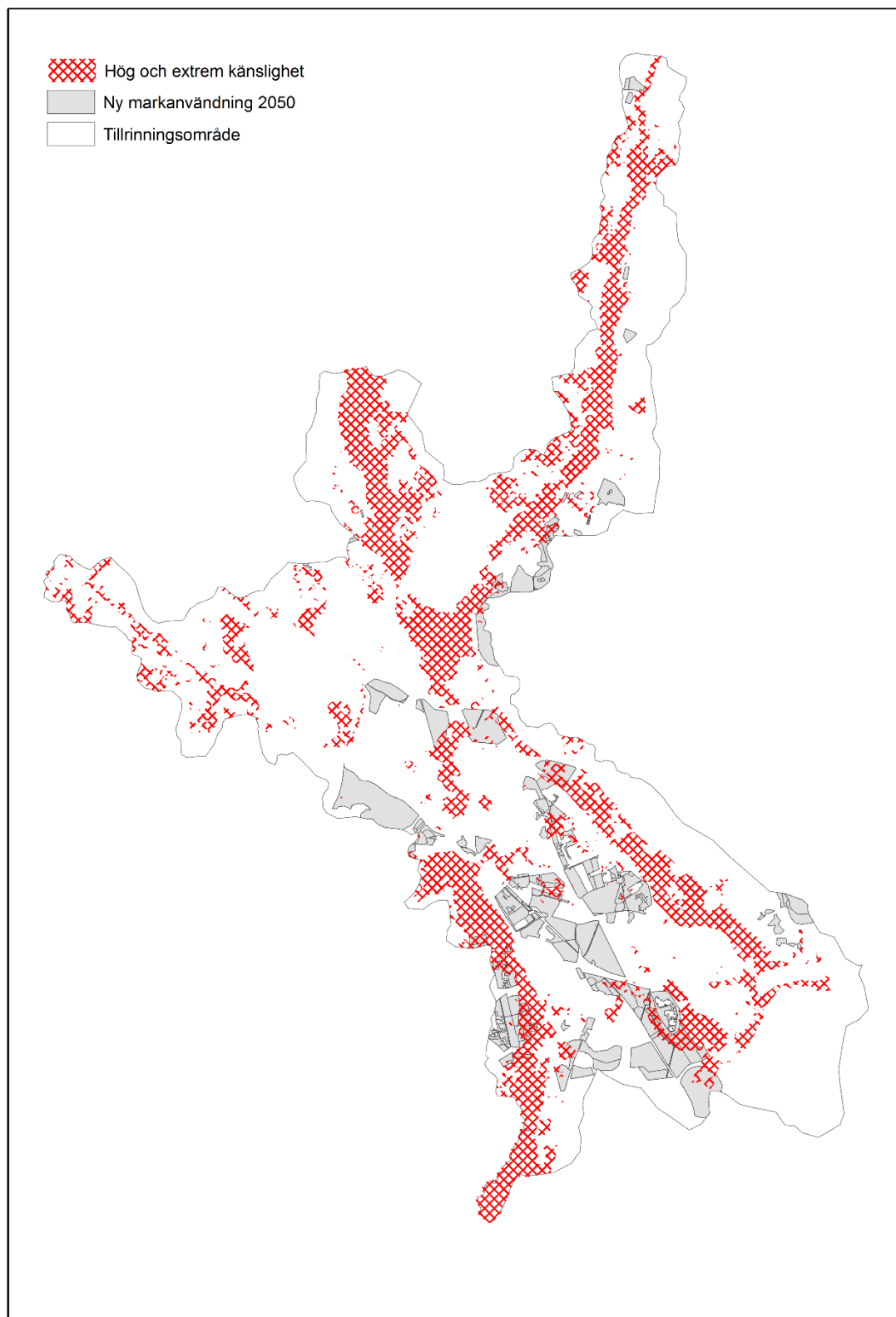


**Figur 5-1. Markanvändning år 2017.**

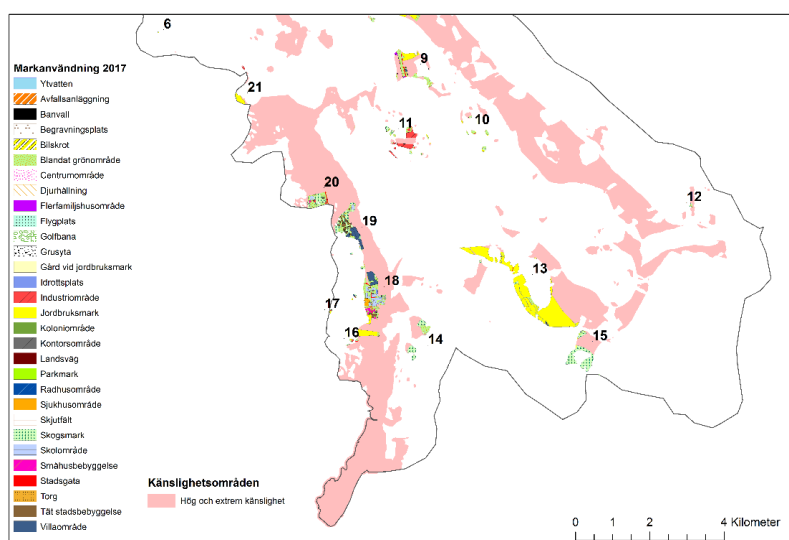
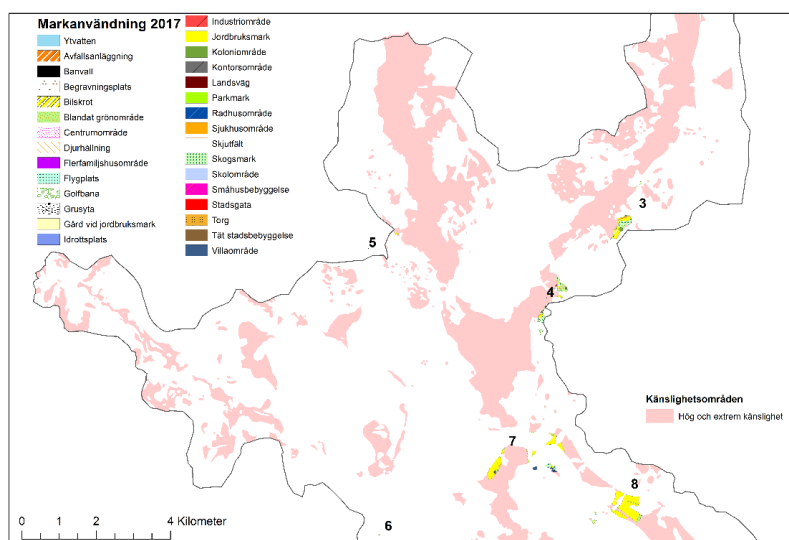
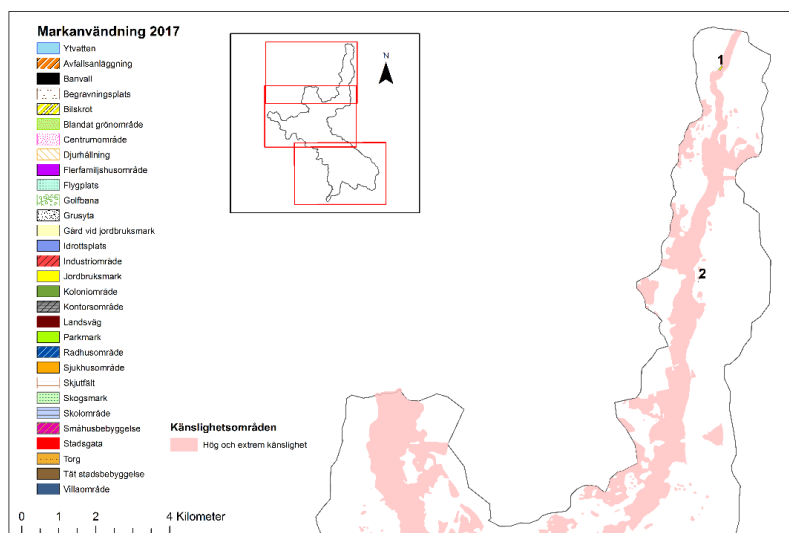




**Figur 5-2.** Markanvändning år 2050 baserat på en tolkning av ÖP 2016. Områden i kartan är indelade i klasser relaterat till dagvattenbelastning i syfte att göra en riskanalys av Uppsala- och Vattholmaåsarnas tillrinningsområde ur grundvattensynpunkt. För riskanalysen behövs en konkretisering i markanvändningstyper och för detta har ett hypotetiskt scenario använts som inte ska läsas som förslag till utveckling.



**Figur 5-3.** Områden med förändrad markanvändning mellan år 2017 och 2050 (grå fält). Hypotetisk scenario baserat på ÖP 2016.



Figur 5-4. Befintlig markanvändning inom områden med hög eller extrem känslighet och där ny markanvändning planeras enligt ÖP2016.



**Tabell 5-2. Områden med planerad ny markanvändning inom områden som klassats som hög och extrem känslighet.**

Nr	Namn	Typ av område	Markanvändning 2017	Markanvändning 2050	Kommentar
1	Skyttorp	Prioriterad tätort	Jordbruksmark	Småhusbebyggelse	Osäker skiss, små områden
2	Vattholma	Prioriterad tätort	Jordbruksmark	Småhusbebyggelse	Osäker skiss, små områden
3	Storvreta	Prioriterad tätort	Blandat grönområde Skog Jordbruksmark	Idrottsplats Småhusbebyggelse Skolområde	
3	Storvreta	Prioriterad tätort			
4	Fullerö	Verksamhetsområde	Jordbruksmark	Industriområde	
5	Bälinge och Lövstalöt	Prioriterad tätort	Jordbruksmark Skogsmark	Småhusbebyggelse	Små områden
6	Librobäck	Verksamhetsområde	Jordbruksmark	Industriområde	Litet område
7	Gamla Uppsala och Ärna	Staden övrigt	Jordbruksmark Blandat grönområde Skogsmark	Småhusbebyggelse	Ny småhusbebyggelse överlappar delvis befintligt villaområde på kartan (ej nytt i verkligheten)
8	Nordöstra stadsgränsen	Verksamhetsområde	Jordbruksmark	Industriområde	
9	Gränby	Utvecklingsområde	Blandat grönområde	Tät stadsbebyggelse Småhusbebyggelse	
9	Gränby	Utvecklingsområde	Jordbruksmark Blandat grönområde	Parkmark	
10	Fyrislund	Verksamhetsområde	Jordbruksmark Blandat grönområde Skogsmark	Industriområde Parkmark	
11	Boländerna	Verksamhetsområde	Blandat grönområde Industriområde	Parkmark Kontorsområde	Industriområde ritat nytt över befintligt industriområde (ingen ändring)
12	Lövsta forskningscentrum	Landsbygd övrigt	Blandat grönområde Skogsmark	Djurhållning	Osäker utökning av området
13	Sydöstra stadsdelarna - Bergsbrunna	Utvecklingsområde	Jordbruksmark Blandat grönområde	Tät stadsbebyggelse Flerfamiljshus Småhusbebyggelse Parkmark	

Nr	Namn	Typ av område	Markanvändning 2017	Markanvändning 2050	Kommentar
14	Sydöstra stadsdelarna - Nántuna	Utvecklingsområde	Blandat grönområde Skogsmark	Tät stadsbebyggelse Småhusbebyggelse	
15	Uppsala södra	Verksamhetsområde	Skogsmark	Industriområde	
16	Södra staden - Sydligaste delen	Utvecklingsområde	Jordbruksmark Blandat grönområde Skogsmark	Småhusbebyggelse	Liten del inom extrem känslighet
17	Södra staden - Bäcklösa	Utvecklingsområde	Jordbruksmark Blandat grönområde	Småhusbebyggelse	Litet område
18	Södra staden - Ultuna	Utvecklingsområde	Jordbruksmark Blandat grönområde	Flerfamiljshus Kontorsområde	Mycket av den "nya" markanvändningen i kartan för 2050 är omritad befintlig markanvändning. Ev. kommer förtätning av befintlig bebyggelse göras
19	Södra staden - Ulleråker	Utvecklingsområde	Tät stadsbebyggelse Skogsmark Blandat grönområde Villaområde	Tät stadsbebyggelse Flerfamiljshus Parkmark	Området förtätas
20	Södra staden - Rosendal	Utvecklingsområde	Blandat grönområde Skogsmark Skolområde	Tät stadsbebyggelse Skolområde	
21	Börjetull	Stadsnod	Jordbruksmark	Parkmark	

## 5.2 Föroreningsbelastning år 2017 och 2050

Den diffusa vardagsbelastningen av föroreningar kommer bland annat från ämnen som kontinuerligt frigörs från olika typer av markanvändningar. Det kan ske genom utsläpp av partiklar från bilar och genom atmosfärisk deposition som binds till nederbörd och faller ner på markytan. Föroreningarna kan även frigöras från material (till exempel asfalt) som kontinuerligt släpper ifrån sig föroreningar. Den diffusa vardagsbelastningen sker i små mängder över stora ytor men kontinuerligt över tiden. Tillskottet från dessa föroreningar kan uppskattas genom att beräkna den diffusa föroreningssituationen för respektive markanvändning. Detta har gjorts i dagvattenprogramvaran StormTac för befintlig markanvändning 2017 och för planerad markanvändning år 2050 enligt Översiktsplanen för Uppsala.

Beräkningarna av föroreningsbelastning har gjorts utifrån två olika antaganden.

- I det ena fallet används schablonhalter i basflöde. Då det är rimligt att anta att dessa värden gäller även för det vatten som infiltrerar och perkolerar ner till grundvattnet.
- I det andra fallet har som "worst case" schablonhalterna i dagvatten, dvs det som leds bort i dagvattenledningarna använts för beräkningarna.

Resultatet av beräkningarna redovisas i tabell 5-3 och resultaten kommenteras i följande text. Det finns relativt stora osäkerheter i ingångsdata och schablonhalterna. För flera ämnen i Stormtacs databas ansågs schablonhalterna för osäkra för att en tillförlitlig belastning skulle kunna beräknas. Basflödet har flest ämnen med osäkra halter, se noteringarna i tabell 5-3.

Beräkningarna baserade på halter i basflöde visar att den största förändringen i diffus belastning från dagens situation kommer från ämnena Benso(a)pyren (+55%), nickel (+31%), kvicksilver (+16%) och zink (12%). Vissa ämnen minskar för planerad markanvändning, exempelvis suspenderad substans, fosfor, kväve och bly.

Beräkningarna baserade på halter i dagvatten "worst case" visar att den största förändringen i diffus belastning från dagens situation kommer från ämnen som PAH:er (Polycykliska aromatiska kolväten), (+ 58 – 85%), nickel (+39%), olja (+32%) och krom (+30%). Även kvicksilver, kadmium, zink, koppar, bly och klorid visar markanta höjningar i detta beräkningsfall. Kväve beräknas minska även vid detta "worst case" scenario.

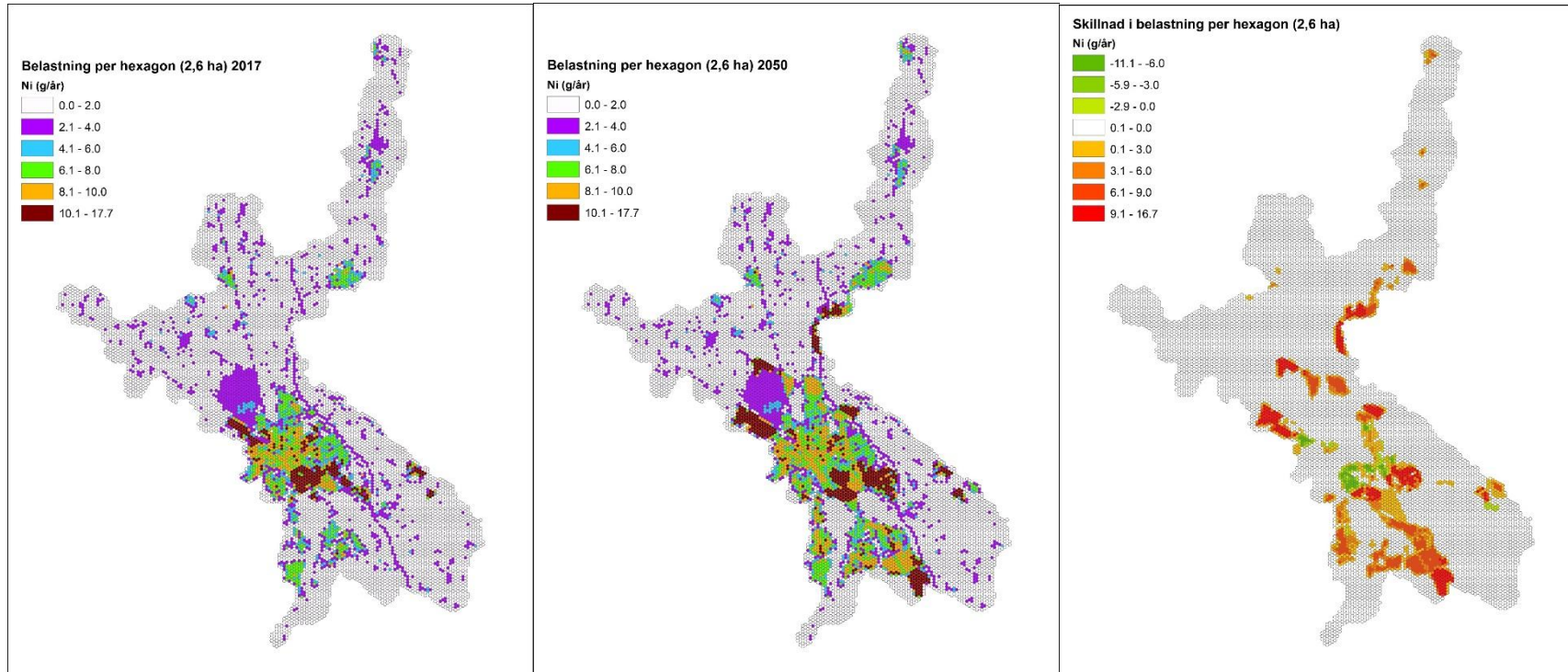
Som exempel på hur den diffusa belastningen fördelar sig över tillrinningsområdet visas fördelningen av nickel (Ni) vid befintlig markanvändning 2017 och planerad markanvändning år 2050 enligt ÖP 2016 i figur 5-5. Nickel är relativt lättörligt och förutom naturlig förekomst tillförs det marken och grundvattnet via mänsklig verksamhet såsom vägtrafik, industriområden och bebyggelse. I figuren visas också skillnaden i belastning mellan år 2017 och 2050

**Tabell 5-3.** Totalbelastning (beräknat utifrån schablonhalter för basflöde resp. dagvatten) samt kvoten dem emellan. Samtliga värden avrundade till två värdesiffror, förändring är beräknad på inte avrundade värden.

Ämne	Totalbelastning (kg/år) 2017 utifrån:			Totalbelastning (kg/år) 2050 utifrån:		
	basflödes-halt	dagvatten-halt	Kvot <sup>1</sup>	basflödes-halt	dagvatten-halt	Kvot <sup>1)</sup>
Fosfor	2 900	3 800	1,3	2 800	3 900	1,4
Kväve	71 000	72 000	1,0	67 000	68 000	1,0
Bly	110	210	1,9	110	230	2,1
Koppar	220	330	1,5	210	360	1,7
Zink	440	810	1,8	490	1 000	2,0
Kadmium	1,6	5,5	3,4	1,6	6,8	4,3
Krom	20	46	2,3	21	60	2,9
Nickel	25	39	1,6	32	54	1,7
Kvicksilver	0,15	0,27	1,8	0,18	0,34	1,9
Suspenderad substans	1 200 000	1 700 000	1,4	1 100 000	1 700 000	1,5
Olja	2 500	5 600	2,2	2500	7400	3,0
Bens(a)pyren	0,043	0,23	5,3	0,066	0,38	5,8
Benso(b)fluoranten	2)	0,56	-	2)	1	-
Benso(k)fluoranten	2)	0,13	-	2)	0,24	-
Benso(ghi)perylene	2)	0,28	-	2)	0,48	-
Inden(1,2,3-cd)pyren	2)	0,41	-	2)	0,65	-
Bensen	2)	2)	-	2)	2)	-
1,2-dikloretan	2)	2)	-	2)	2)	-
Arsenik	2)	91	-	2)	88	-
Klorid	2)	290 000	-	2)	340 000	-

<sup>1)</sup> Kvot = [totalbelastning beräknad utifrån schablonhalt för dagvatten] / [totalbelastning beräknad utifrån schablonhalt för basflöde], d.v.s. kvot = 2 innebär att belastningen blir dubbelt så stor om den beräknas utifrån schablonhalt för dagvatten istället för utifrån schablonhalt för basflöde.

<sup>2)</sup> Schablonhalterna ansågs för osäkra för att en tillförlitlig belastning skulle kunna beräknas



**Figur 5-5.** Diffus belastning år 2017 (vänster) och 2050 (mitten) samt skillnad (höger), för nickel, Ni (beräknad utifrån schablonhalter för basflöde).

## 6 Riskinventering

Riskinventeringen som utförts i etapp 1 har legat till grund för det fortsatta arbetet i etapp 2. De skadehändelser som identifierats avser sådana som kan innebära risk för negativ påverkan på vattenkvalitet- och kvantitet i de studerade åsarna. Det i sin tur kan försämra möjligheterna att nå miljökvalitetsnormerna för grundvattenförekomsterna och att uppnå kraven enligt Livsmedelsverkets gränsvärden för dricksvatten. Skadehändelserna omfattar både punktkällor (exempelvis trafikolyckor) och diffusa belastningar (föroreningar i dagvatten). Många av skadehändelserna är kopplade till framtida exploateringar och befolkningsutvecklingen, både under anläggnings- och driftsfas. Hänsyn har tagits till förväntade framtida förhållanden vid riskidentifieringen genom att förväntad markanvändning 2050 antagits.

Riskanalysen är begränsad till skadehändelsernas risker för vattenkvalitet- och kvantitet i Uppsala- och Vattholmaåsarna. Andra risker som skadehändelserna kan medföra beaktas inte.

### 6.1 Val av skyddsobjekt

Riskhanteringsprocessens målsättning är att Uppsala ska kunna utvecklas på ett sådant sätt att grundvattenförekomsterna har ett fullgott skydd idag och på lång sikt. Uppsala- och Vattholmaåsarna består av fyra grundvattenförekomster. I deras tillrinningsområde ligger ytterligare två grundvattenförekomster. Dessa totalt sex grundvattenförekomster inom Uppsala- och Vattholmaåsarnas tillrinningsområde har valts som skyddsobjekt för riskanalysen.

Grundvattenförekomsterna/skyddsobjekten visas i figur 3-2 och består av:

- Uppsalaåsen-Uppsala
- Uppsalaåsen-Fredrikslund
- Vattholmaåsen-Storvreta
- Vattholmaåsen-Salsta
- Jumkilsåsen-Broby
- Sävjaån-Samnan

Det finns andra grundvattenförekomster som ligger i direkt anslutning till Uppsalaåsen-Uppsalas tillrinningsområde, bland annat Uppsalaåsen-Björklinge direkt norr om Uppsalaåsen-Uppsala. Den huvudsakliga strömningsriktningen i dessa åspartier är riktad bort från Uppsalaåsen-Uppsalas tillrinningsområde och ingår därför inte som skyddsobjekt i riskanalysen.

### 6.2 Val av hänsynskrav

#### 6.2.1 Miljökvalitetsnormer för grundvatten och gränsvärden för dricksvatten

De studerade grundvattenförekomsterna omfattas av både ramdirektivet för vatten (2000/60/EG) och grundvattendirektivet (2006/118/EG). De utnyttjas även som grundvattentäkter för produktion av dricksvatten. Utgångspunkten i projektet är att förhindra att de sex grundvattenförekomsterna hotas av risker som kopplas till försämrade vattenkvalitet- och kvantitet. Som hänsynskrav i riskanalysen används därför miljökvalitetsnormer (MKN) för grundvatten och gränsvärden för dricksvattenkvalitet enligt Livsmedelsverkets föreskrifter om dricksvatten.

Miljökvalitetsnormerna för grundvatten avser både kvalitet och kvantitet. God kvantitativ status innebär att det råder balans mellan grundvattenuttag och grundvattenbildning.

Miljö kvalitetsnormerna för vattenkvalitet uttrycks i halter av olika ämnen som kan ha en påverkan på vattenkvaliteten. De fastställs av vattenmyndigheterna för varje enskild grundvattenförekomst. Bland de ämnen som omfattas av MKN återfinns föroreningar som uteslutande eller i hög grad härrör från mänskliga aktiviteter (exempelvis bekämpningsmedel, klorerade lösningsmedel och polycykliska aromatiska kolväteföreningar). MKN omfattar dock även ämnen som förekommer naturligt (exempelvis närsalter, fluor och arsenik), ibland även i kombination med mänskliga utsläpp (exempelvis metaller, klorid och sulfat). Dessa ämnen kan i högre halter klassas som föroreningar genom att de begränsar möjligheten att använda vattnet som dricksvatten.

MKN anges dels som ett övre riktvärde, dels som en utgångspunkt för att vända trend. Utgångspunkterna ska användas för att i ett tidigt skede identifiera trender som riskerar att leda till att MKN (övre riktvärde) överskrids, så att motverkande åtgärder kan vidtas.

I tabell 6-1 redovisas hänsynskrav i form av miljö kvalitetsnormer och Livsmedelsverkets gränsvärden för dricksvatten för de ämnen som i dagsläget omfattas av MKN/gränsvärden.

### 6.2.2 Gränsvärden för PFAS i grundvatten och dricksvatten

Hänsynskraven kompletteras med riktvärden för PFAS-ämnen som sannolikt kommer att omfattas av MKN inom kort. PFAS är ett samlingsnamn för en grupp ämnen som används bland annat i brandsläckningsskum och impregneringsmedel och vars miljö- och hälsoskadliga effekter upptäckts och fått stor uppmärksamhet under de senaste åren.

Livsmedelverket har tagit fram en åtgärdsgräns för summan av 11 PFAS-ämnen i dricksvatten. Om åtgärdsgränsen överskrids uppfyller vattnet inte kraven på dricksvattenkvalitet. Avseende PFAS-riktvärde i grundvatten fattade vattenmyndigheterna i november 2016 ett inriktningsbeslut som innebär att Livsmedelsverkets åtgärdsgräns i dricksvatten används även i grundvatten. Ett slutgiltigt beslut efter kartläggning (riskbedömning, statusklassificering och åtgärdsbehov) väntas i december 2018 (Vattenmyndigheterna, 2016). SGI har även tagit fram ett preliminärt riktvärde för PFOS i grundvatten. De föreslagna gränsvärdena redovisas i tabell 6-2.

**Tabell 6-1.** Miljökvalitetsnormer (MKN), utgångspunkt för att vända trend (avseende MKN) och Livsmedelsverkets gränsvärden för dricksvatten. Som hänsynskrav i riskanalysen används både MKN och Livsmedelsverkets gränsvärden

Parameter	Enhet	Riktvärde för grundvatten (MKN)	Utgångspunkt för att vända trend	Gränsvärden för dricksvatten (LMV)
1,2-diklorethan	µg/l	3	0,5	3
Bekämpningsmedel Aktiva ämnen inkl. metaboliter, nedbrytnings- och reaktionsprodukter	µg/l µg/l	0,1 (enskilda) 0,5 (totalt)	Detekterat	0,1 (enskilda) 0,5 (totalt)
Ammonium	mg/l	1,5	0,5	
Antimon	µg/l			5
Arsenik	µg/l	10	5	10
Bensen	µg/l	1	0,2	1
Benso(a)pyrene	ng/l	10	2	10
Bly	µg/l	10	2	10
Bor	mg/l			1
Bromat BrO3	µg/l			10
Cyanid	µg/l			50
Fluorid	mg/l			1,5
Fosfat	mg/l	0,6	0,1	
Kadmium	µg/l	5	1	5
Klorid	mg/l	100	50	
Kloroform (triklormetan)	µg/l	100	50	100 (trihalo- metaner totalt)
Konduktivitet	mS/m	150	75	
Koppar	mg/l			2
Krom	µg/l			50
Kvicksilver	µg/l	1	0,05	1
Nickel	µg/l			20
Nitrat	mg/l	50	20	50 (mg/l NO3)
Nitrit	mg/l	0,5	0,1	0,5
Summa 4 PAH:er,	ng/l	100	20	100
Benso(b)fluoranten				
Benso(k)fluoranten				
Benso(ghi)perylen				
Indeno(1,2,3-cd)pyren				
Selen	µg/l			10
Sulfat	mg/l	100	50	
Trikloreten + Tetrakloreten	µg/l	10	2	10
Vinylklorid	µg/l			Beräknat 0,5



**Tabell 6-2. Rekommenderade gränsvärden för PFAS i grundvatten och dricksvatten**

Parameter	Enhet	Föreslaget gränsvärde	Källa
PFAS (summa 11*)	µg/l	0,09	Åtgärdsgräns för dricksvatten (Livsmedelsverket, 2016)
PFOS	µg/l	0,045	Preliminärt riktvärde för grundvatten (SGL, 2015)

\* Perfluorbutansulfonat (PFBS), Perfluorhexansulfonat (PFHxS), Perfluoroktansulfonat (PFOS), Fluortelomersulfonat (6:2 FTS), Perfluorbutanoat (PFBA), Perfluorpentanoat (PFPeA), Perfluorhexanoat (PFHxA), Perfluorheptanoat (PFHpA), Perfluoroktanoat (PFOA), Perfluornonanoat (PFNA), Perfluordekanoat (PFDA)

### 6.2.3 Okända ämnen ska regleras i takt med att behov uppstår

Kriterierna för bedömning av god kemisk grundvattenstatus bygger på riktvärden i form av miljökvalitetsnormer. Eftersom ”nya” ämnen eller kunskap om ämnens effekter ständigt tillkommer kan det komma att upprättas miljökvalitetsnormer för ytterligare ämnen än de som behandlats ovan. Enligt SGU (2013) ska miljökvalitetsnormer tas fram för ”nya” föroreningar när kunskapen om deras effekter är tillräcklig för att utgöra underlag för att fastställa MKN.

I gällande och föreslagna riktvärden för MKN finns tre ämnesgrupper; PFAS, bekämpningsmedel och klorerade lösningsmedel vilka bedömts täcka de egenskaper (toxicitet, persistens, vattenlöslighet) som ett nytt okänt ämne sannolikt kommer att ha. Dessa ämnesgrupper har därför inkluderats i genomförd riskanalys (kapitel 7).

## 6.3 Val av riskobjekt

### 6.3.1 Markanvändningsytor som riskobjekt

Riskhanteringsprocessens målsättning är att Uppsala ska kunna utvecklas på ett sådant sätt att grundvattenförekomsterna har ett fullgott skydd idag och på lång sikt. För att kunna koppla samman bebyggelseutvecklingen med identifieringen av skadehändelser väljs markanvändningsytor som riskobjekt. En markanvändningsyta avser i det här sammanhanget en sammanhängande geografisk yta med en viss markanvändning. Varje markanvändningsyta antas rymma en viss uppsättning av hela den mångfald av aktiviteter som sker i verkligheten.

## 6.4 Identifiering av skadehändelser

Identifieringen av skadehändelser bygger på samma metod som tidigare använts i etapp 1. Metoden innebär att de skadehändelser som potentiellt kan orsaka risker för vattenkvaliteten- och kvantiteten i grundvattenförekomsterna inom tillrinningsområdet identifieras och formuleras. En skadehändelse definieras här som en händelse som kan, men inte nödvändigtvis måste, bidra till att halterna av miljöstörande ämnen i grundvattnet ökar, eller att grundvattenkvantiteten minskar. De identifierade skadehändelserna bygger främst på tidigare erfarenheter av olyckor, incidenter eller riskanalyser. Vid identifieringen av skadehändelserna har hänsyn tagits till de specifika förhållandena (naturgivna förutsättningar, befintliga och planerade verksamheter etc.) inom tillrinningsområdet.

Kompletterande skadehändelser vid nya typer av markanvändning som inte var aktuella i etapp 1 har identifierats utifrån en genomgång av tidigare riskanalyser för liknande projekt. Dessa innefattar bland annat skadehändelser som medför risker för minskad grundvattenkvantitet.

En skadehändelse kan vara en sällanhändelse eller en vardagshändelse. Sällanhändelser är plötsliga och tillfälliga skadehändelser som kan orsakas av olyckor, haverier eller genom uppsåt. Vardagshändelser är vardagliga och tillståndsgivna verksamheter och händelser.

I tabell 6-3 redovisas exempel på identifierade skadehändelser. Näst intill samtliga av dessa är sällanhändelser. De skadehändelser som betraktas som vardagshändelser är:

- Diffus vardagsbelastning .
- Diffust läckage från dagvatten- respektive avloppsvattenledning.
- Förorenings-spridning från snö- och sopsandsupplag.
- Minskad grundvattenbildning p.g.a. ökad andel hårdgjorda ytor.

Vissa skadehändelser skulle kunna betraktas som både sällan- och vardagshändelser beroende på omfattningen. Exempelvis kan en bilbrand betraktas som en vardagshändelse eftersom bilbränder idag sker kontinuerligt. Frekvensen hos skadehändelserna varierar dock i olika delar av tillrinningsområdet och dataunderlaget för inträffade skadehändelser säger ofta ingenting om omfattningen av skadehändelsen. Frekvensen och den geografiska distributionen av skadehändelserna beaktas i samband med sannolikhetsberäkningarna i riskanalysen. På så sätt tas indirekt hänsyn till om skadehändelsen är en sällan- eller vardagshändelse i den aktuella markanvändningsytan.

Det som egentligen är intressant för riskanalysen är huruvida konsekvensen blir lång- eller kortvarig. Exempelvis kan ett utsläpp vara ett punktutsläpp som sker under en kort tid eller ett kontinuerligt utsläpp. Beroende på vilken förorening det handlar om kan den finnas kvar i grundvattnet under en längre eller kortare tid. Även korta punktutsläpp kan ha en långvarig påverkan på grundvattenförekomsten. Resonemanget gäller även för skadehändelser som inte genererar ett utsläpp men som innebär risk för negativ påverkan på MKN (inträngning av saltvatten, ökad förorenings-spridning m.fl.).

**Tabell 6-3. Exempel på identifierade skadehändelser**

Skadehändelse	Kommentar
Diffus vardagsbelastning. Nuläge	Föroreningsbelastning från dagvatten
Diffus vardagsbelastning 2050	Föroreningsbelastning från dagvatten. Hänsyn till ändrad markanvändning och ökad andel hårdgjorda ytor. Hänsyn till förhållanden enligt ÖP.
Utsläpp av drivmedel från trafikolycka	Konsekvens gäller även spill i byggnad, inklusive källare, som läcker till grundvattnet.
Utsläpp av flytande farligt gods från trafik- eller Järnvägsolycka	
Släckvatten från husbrand och annan byggnad (industri)	
Släckvatten från bil- och tågbrand	
Utsläpp av hydraulolja vid läckage från fordon eller tank	
Spridning och spill av bekämpnings- och gödningsmedel	
Utsläpp av byggdagvatten	

Diffust läckage och brott på dagvatten- och avloppsvattenledning	
Utsläpp från enskilda avlopp	
Spridning/ökad spridning från kända förorenade områden	Spridning vid schaktarbeten/pålning i, eller sanering av, förorenad mark/byggnad
Spridning på grund av olycka vid miljöfarlig verksamhet	Konsekvens gäller även spill i byggnad, inklusive källare, som läcker till grundvattnet.
Olycka med halkbekämpningsfordon som orsakar spridning av salt till grundvattnet	Diffus/kontinuerlig spridning av salt från halkbekämpning till grundvattnet ingår i skadehändelse 1
Borrningar. Spill och förändrade spridningsvägar	Otäta borrhål som öppnar spridningsväg för förorening eller salt. Läckage av köldbärande vätska och/eller termisk obalans vid energiborrhål.
Katastrofer. Tekniska haverier, skadegörelse	
Katastrofer. Naturkatastrofer	<p>Skyfall och högt vattenstånd som leder till översvämning. Översvämning i förorenat område kan leda till förorenings-spridning.</p> <p>Onormalt höga temperaturer och torka som leder till bränder</p> <p>Åskoväder som leder till strömbrott och okontrollerade utsläpp eller bränder</p> <p>Vattenbrist som leder till överuttag och dålig kvalitet och kvantitet</p>
Förorenings-spridning från snö- och sopsandsupplag	Föroreningar, salt
Minskad grundvattenbildning p.g.a. ökande andel hårdgjorda ytor	
Inträngning av relik saltvatten	Till följd av överuttag.
Försämrad grundvattenkvalitet p.g.a. utbyte mellan grundvattentäkt och ytvatten som normalt inte har kontakt	Skadehändelsen förutsätter att det sker ett utbyte mellan en grundvattentäkt och ett ytvatten som blivit förorenat. Ej riskanalys. Resonemang
Försämrad grundvattenkvalitet p.g.a. förorenat ytvatten för infiltration	Ex. läkemedelsrester som inte går att rena, okända ämnen.
Grundvattenbrist p.g.a. inte möjligt att infiltrera ytvatten	Till följd av dålig ytvattenkvalitet.

## 7 Riskanalys

Markanvändningen har i riskanalysen främst en inverkan på sannolikheten att en skadehändelse inträffar. Särskilda bedömningar har gjorts för de fall där en förändrad markanvändning bedömts kunna innebära en förändrad sannolikhet för skadehändelsens inträffande.

Det generella upplägget för riskanalysen bygger delvis på riskanalysen som utförts i projektets etapp 1 och på handböcker från MSB (2011) och Trafikverket (2013).

I etapp 1 omfattade riskanalysen Ulleråker, som är ca 1 km<sup>2</sup> och utgör ca 0.4 % av hela tillrinningsområdets area på ca 270 km<sup>2</sup>. I etapp 2 har riskanalysen gjorts för hela tillrinningsområdet.

I etapp 2 har riskerna distribuerats geografiskt över hela tillrinningsområdet efter den markanvändning som med sannolikhet kan ge upphov till viss typ av skadehändelse. I etapp 1 gjordes inte denna distribution eftersom Ulleråkerområdet är så begränsat i areal och endast omfattade två sårbarhets-/känslighetsklasser.

I etapp 2 har riskanalysen utvecklats mot mer kvantitativa beräkningar av risk i tre steg med en beräkningsmodul i Excel.

Riskerna med skadehändelserna beräknas genom en sammanvägning av sannolikhet och konsekvens. Sannolikheter bestäms utifrån statistiskdata eller expertbedömningar och med hänsyn till markanvändning. Konsekvenser bedöms utifrån mängd och farlighet hos den aktuella föroreningen och med hänsyn till områdets känslighet. Förutsättningarna och resultaten av riskanalysen har sammanställts i excelformat. På så sätt kan de parametrar och avvägningar som riskanalysen baseras på revideras. Excelmodellen möjliggör även en geografisk distribution av riskerna utifrån befintlig och planerad markanvändning och känsligheten i respektive markanvändningsyta.

### 7.1 Generella sannolikheter

De generella sannolikheterna baseras så långt möjligt på statistiska beräkningar utifrån dataunderlag inom tillrinningsområdet. Där underlagsdata inte finns tillgängligt görs kvalitativa bedömningar. Sannolikheterna klassificeras i enlighet med tabell 7-1 där en indelning i sannolikhetsklass (1-5) görs utifrån skadehändelsernas frekvens.

**Tabell 7-1. Indelning av generella sannolikheter utifrån skadehändelsernas frekvens**

Frekvens	Sannolikhet
> 1 gång per dag – 1 mån	5
1 gång per 1 mån – 1 år	4
1 gång per 1 år – 10 år	3
1 gång per 10 år – 100 år	2
1 gång per 100 år – 1000 år	1

### 7.2 Korrigering av sannolikhet utifrån markanvändning

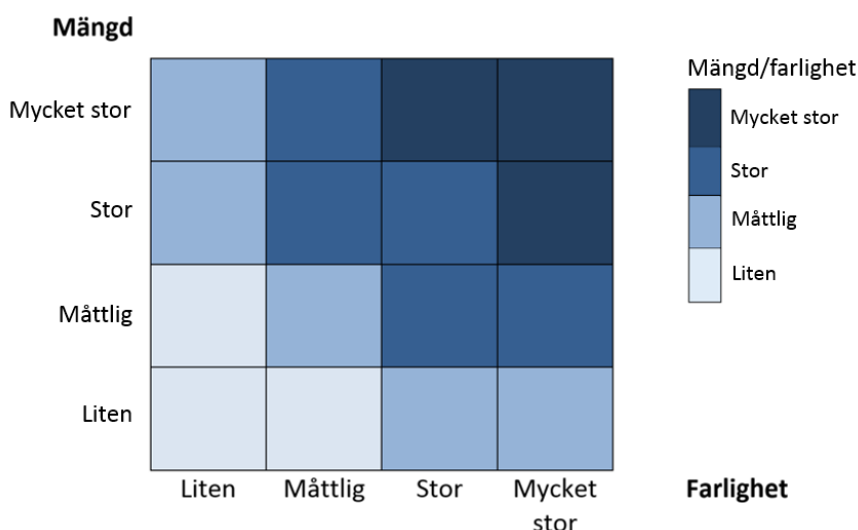
För att anpassa sannolikheten till befintlig och planerad markanvändning görs vid behov en korrigering av de generella sannolikheterna, som bestämts utifrån tabell 7-1, med hänsyn till markanvändningen. Den generella sannolikheten för en viss skadehändelse skalas således upp eller ner en eller flera nivåer i tabell 7-1. Korrigeringen innebär exempelvis att för markanvändning som

inte berörs av en viss skadehändelse sätts sannolikheten för denna skadehändelse till noll och beaktas därmed inte i den fortsatta riskanalysen.

### 7.3 Konsekvenser

De generella konsekvenserna av skadehändelserna avgörs genom en bedömning av skadehändelsernas påverkan på möjligheten att uppnå hänsynskraven enligt kapitel 6.2., det vill säga miljökvalitetsnormerna (MKN), Livsmedelsverkets gränsvärden för dricksvatten och de föreslagna gränsvärdena för PFAS-ämnen. I ett första steg görs en bedömning av mängden och farligheten hos den aktuella föroreningen som en skadehändelse ger upphov till.

Mängd och farlighet bedöms specifikt för respektive skadehändelse med hjälp av mängd-farlighetsmatrisen i figur 7-1. Genom användande av denna matris tas hänsyn till att vissa föroreningar är farliga redan i mycket små mängder eller låga halter, medan andra blir farliga först i stora mängder.



Figur 7-1. Mängd-farlighetsmatris.

Med ett ämnes farlighet avses här en sammanvägd bedömning utifrån ämnets toxicitet, persistens och vattenlöslighet. Översiktliga bedömningar har gjorts för hela ämnesgrupper, inklusive deras ingående komponenter och nedbrytningsprodukter. I realiteten finns variationer i egenskaper hos olika ämnen inom samma ämnesgrupp. Dessutom påverkas farligheten även av de platsspecifika förhållandena (exempelvis pH-värde) och andra ämnesspecifika egenskaper. Klassificeringen baseras främst på expertbedömningar utifrån Geosigmas erfarenheter av undersökningar och saneringar av förorenade områden, men även på information som inhämtats via Kemikalieinspektionens, Länsstyrelsernas och Naturvårdsverkets hemsidor, samt kanadensiska statens hemsida (Government of Canada, 2017).

Klassificeringen av farlighet har anpassats utifrån ämnenas uppträdande i och spridningsförutsättningar till just grundvatten. Information om vad som är styrande för ett ämnes farlighet har hämtats ifrån Naturvårdsverkets riktvärdesmodell. Fokus har legat på de ämnen vars riktvärden i första, andra eller tredje hand styrs av intag av dricksvatten eller spridning (skydd av grundvatten).

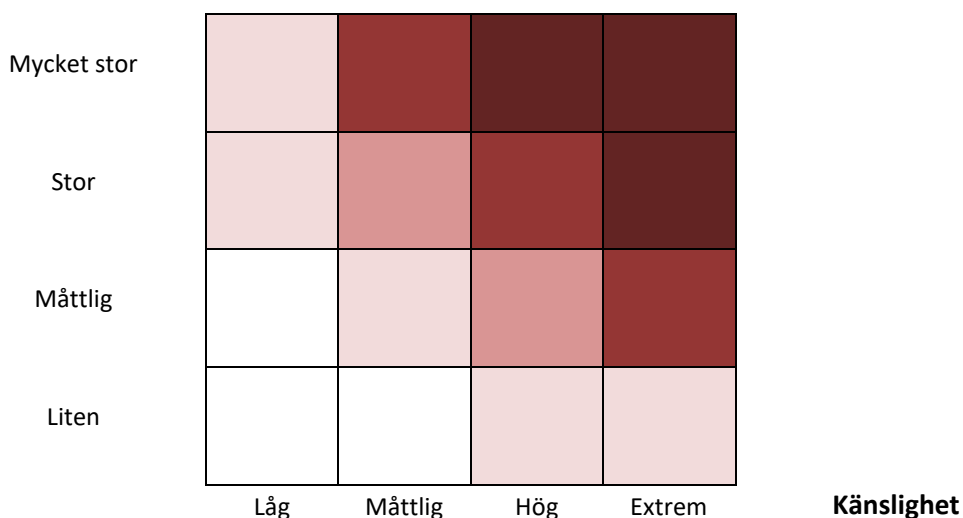
Vid klassificeringen av mängden av en förorening beaktas att många ämnen inte förekommer i fri fas utan ingår i någon form av produkt eller uppstår som en restprodukt vid en process. Mängderna av sådana ämnen är svåra att både uppskatta och klassificera. Det finns även en skillnad i

skadehändelser där en förorening sker som ett tillfälligt punktutsläpp och skadehändelser där en förorening läcker ut under en längre tid.

Bedömningen av konsekvensen av en skadehändelse relativt MKN görs utifrån konsekvensmatrisen i figur 7-2. I matrisen bestäms konsekvensen utifrån föroreningsmängd- och farlighet och känsligheten i det aktuella området. Mängd/farlighet (vertikala axeln i figur 7-2) bestäms med figur 7-1 ovan. Känsligheten (horisontella axeln i figur 7-2) beror enbart av skadehändelsens geografiska utbredning. Klassificeringen av känslighet beskrivs i kapitel 4.

Bedömningen av konsekvensen relativt MKN görs enligt en indelning i fem klasser enligt färgkodningen i matrisen i figur 7-2. Klasserna kan beskrivas enligt tabell 7-4. Det är inte möjligt att göra kvantitativa bedömningar av vad konsekvenserna i form av ökade föroreningshalter i grundvattentäkterna blir utan att utföra mycket omfattande modelleringar. Därför har inga definitioner gjorts av vilka halter av olika ämnen som antas inom respektive påverkansklass. En kvalitativ bedömning har gjorts i riskanalysen och stämts av med formuleringarna i tabell 7-2 för att säkerställa att riskbedömningen är väl avvägd för de olika skadehändelserna sinsemellan.

**Mängd/farlighet**



**Figur 7-2.** Konsekvensmatris.

**Tabell 7-2.** Indelning av konsekvenser utifrån skadehändelsernas bedömda påverkan på möjligheten att uppnå MKN/gränsvärden enligt hänsynskraven

Påverkan	Konsekvens
Lokalt överskridande av MKN/gränsvärde, irreversibel	Katastrofal
Lokalt kraftigt överskridande av MKN/gränsvärde, reversibel	Mycket stor
Lokalt litet överskridande av MKN/gränsvärde, reversibel	Stor
Liten men mätbar haltökning	Lindrig
Ej mätbar haltökning	Mycket liten

Med irreversibel påverkan avses en påverkan på grundvattenförekomsten som innebär att denna inte kan användas för dricksvattenändamål inom en överskådlig framtid. Det är inte möjligt att med tekniskt och ekonomiskt rimliga medel utföra efterhandsåtgärder för att åter kunna använda grundvattenförekomsten för dricksvattenändamål. Med reversibel påverkan avses en påverkan på grundvattenförekomsten som genom rimliga medel och/eller naturlig nedbrytning kan åtgärdas så att grundvattenförekomsten fortsatt kan användas för dricksvattenändamål.

### 7.3.1 Modellberäkningar

#### 7.3.1.1 Naturvårdsverkets screeningmodell för föroreningsspredning

Som stöd till de kvalitativa bedömningarna har konsekvensen, uttryckt som halt jämfört MKN, beräknats med en utvecklad version av Naturvårdsverkets modell (screeningberäkningar) för några skadehändelser inom områden med hög och extrem känslighet. I modellen har plats-specifika ingångsvärden på hydrogeologiska parametrar hämtats från Uppsala Vattens kalibrerade grundvattenmodell för tillrinningsområdet (Grundvattengruppen, 2017). Resultat från några beräkningar presenteras översiktligt i kapitel 7.5.2.

Modellen beräknar föroreningsens rörlighet i markzonen genom jämviktsberäkningar av sorptions- och förångningsprocesser. Att beräkningarna förutsätter jämvikt innebär att allt är konstant med tiden, vilket ger en överskattning av föroreningspredningen. Ett argument att förutsätta jämvikt är att föroreningar i mark ofta minskar långsamt över tid och att endast en liten del försvinner som löst fas med perkolerande vatten. Detta beror förstås mycket på föroreningsens egenskaper och över lång tid minskar förstås även den totala mängden förorening i marken. Modellen innehåller inte heller någon nedbrytning, vilket ger en överskattning av nedbrytbara föroreningar eftersom nedbrytning påskyndar en minskning av den totala mängden förorening i marken.

I första steget (det röda rätblocket i figur 7-3) fördelas ett utsläpp genom att anta den totala mängden förorening fördelas homogent över en specificerad area och jorddjup. Detta beräknas då enligt:

$$C_s = \frac{m_{bel}}{W \cdot L \cdot Z \cdot \rho_b} \quad (1)$$

där

$m_{bel}$  = belastad mängd förorening

$W$  = föroreningskällans bredd [L]

$L$  = föroreningskällans längd [L]

$Z$  = vertikal mäktighet av omättad zon [L]

$\rho_b$  = torrdensitet [M/L<sup>3</sup>]

Man kan notera att torrdensiteten avser jord + porer, dvs. inte bara själva jordmaterialet, därav suffixet b som står för engelskans "bulk".

I första steget antas således att den belastade föroreningsmängden fördelas homogent inom hela jordvolymen. Det innebär t.ex. att ju mäktigare den omättade zonen är desto lägre blir beräknad  $C_s$ , vilket i sin tur innebär lägre  $C_{w\_mob}$  och mindre belastning på grundvattnet.

I steg två beräknas koncentrationen i porvattnet,  $C_w$ .

$$C_w = C_s / \left[ K_d + \frac{(\theta_w(1+K_{DOC}DOC) + \theta_a H)}{\rho_b} \right] \quad (2)$$

där

$K_d$  = fördelningskoefficient mellan jord och vatten [ $L^3/M$ ]

$\theta_w$  = vattenhalt [ $L^3/L^3$ ]

$\theta_a$  = jordens lufthalt [ $L^3/L^3$ ]

$H$  = Henrys konstant [dimensionslös]

$\rho_b$  = torrdensitet [ $M/L^3$ ]

$DOC$  = halt löst/mobilt organiskt kol i vatten [ $M/L^3$ ]

$K_{DOC}$  = fördelningskoefficient mellan löst/mobilt organiskt kol och vatten [ $L^3/M$ ]

När man sedan beräknar halten mobil förorening som kan sprida sig till grundvattnet tar man även hänsyn till att föroreningen kan bindas till löst organiskt kol (som i sin tur är mobilt och tar med sig förorening).

Koncentration av mobil (rörlig) förorening som tillförs grundvattnet beräknas då enligt:

$$C_{w\_mob} = C_w(1 + K_{DOC}DOC) \quad (3)$$

Det är  $C_{w\_mob}$  som används för vidare beräkning av spridning med grundvatten.

I steg tre beräknas utspädning i grundvattenzonen vilket innebär att man skattar en koncentration i grundvattnet på ett visst avstånd nedströms, genom att beräkna hur mycket  $C_{w\_mob}$  späds ut. Utspädningen hanteras genom en utspädningsfaktor kallad  $DF_{gw-well}$  ( $DF$  står för "Dilution Factor") på följande sätt:

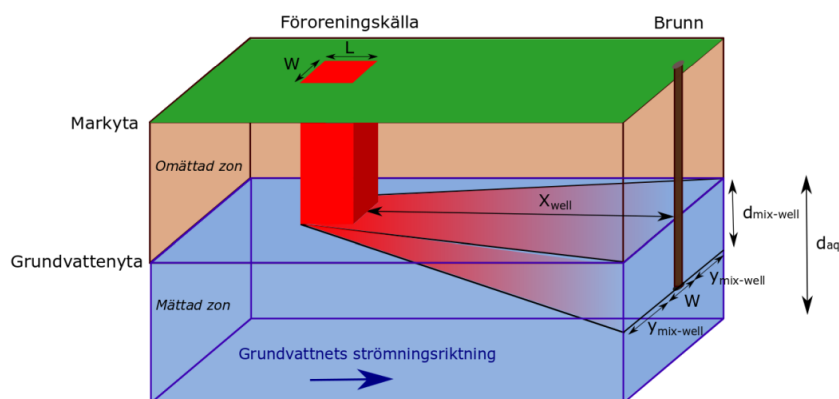
$$C_{gw-well} = DF_{gw-well} \cdot C_{w\_mob} \quad (4)$$

$$DF_{gw-well} = Q_i / Q_{gv} \quad (5)$$

där

$Q_i$  = vertikalt grundvattenflöde genom föroreningen som tillförs grundvattnet

$Q_{gv}$  = totalt grundvattenflöde inom en tvärsnitt på ett visst avstånd nedströms föroreningen



**Figur 7-3.** Illustration av screeningmodellen.



I etapp 2 har ingångsvärden, så som grundvattenflöde, djup på omättad zon och flödesriktning tagits från den kalibrerade grundvattenflödesmodellen för hela tillrinningsområdet (Grundvattengruppen, 2017). I etapp 1 gjordes skattningar av dessa parametrar då det inte fanns andra data att tillgå.

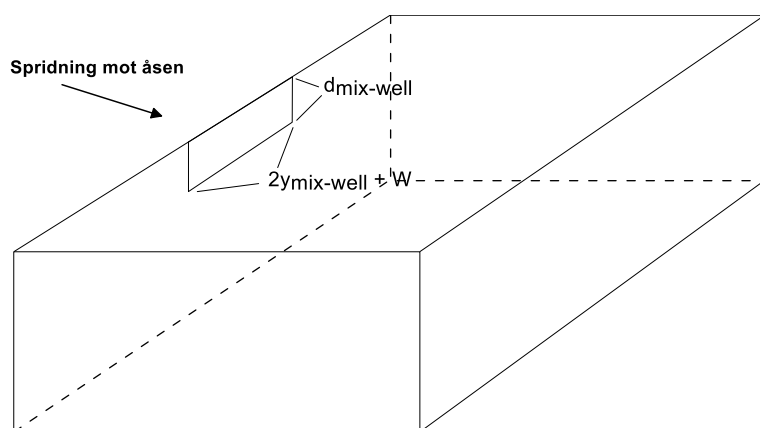
### 7.3.1.2 Förorening på ett visst avstånd från centralt åsmaterial

I de fall då en förorening sker på sidan (på ett visst avstånd) av den huvudsakliga åsen och därefter strömmar in mot åsen och på så sätt förorenar denna kan koncentrationen i grundvattnet beräknas genom en "seriekoppling" av utspädningsdelen av modellen.

Inom MÅsen etapp 2 tillämpas en modifierad beräkningsprocedur för detta fall jämfört med etapp 1, även om själva grundidén kan betraktas som likartad.

Principerna för beräkningarna illustreras i figur 7-4 och är följande:

- Den första plymen (dvs. den som rör sig in mot den huvudsakliga åsen) antas träffa sidan av den huvudsakliga åsen.
- Den första plymens utbredning när den träffar åsen blir källdimensioner för den andra plymen (dvs. den som bildas i själva åsen). Det innebär att  $d_{mix-well}$  och  $2y_{mix-well} + W$  från den första plymen bildar en rektangel i sidan av den grundvattenförande delen av åsen, där föroreningar strömmar in i åsen.
- Utspädningen för den fortsatta spridningen i åsen beräknas på analogt sätt som den första plymen men med ändrade roller för ingående beräkningsparametrar. Bredden på den första plymen blir t.ex. längden av föroreningskällan för den andra plymen, och på motsvarande sätt blir djupet på den första plymen bredden på föroreningskällan i den andra plymen. Viss modifiering krävs även när man sedan beräknar dimensionerna för hur föroreningen sprids ut i själva åsen.
- För att massflödet in i åsen från den första plymen ska bli konsekvent används helt enkelt det specifika flödet (darcy hastighet) (från plym 1) istället för grundvattenbildning.



**Figur 7-4.** Schematisk figur för att illustrerar beräkningsprincipen för en förorening som tillförs åsen från sidan. Det stora rättblocket föreställer åsen och föroreningen "träffar" åsen i sidan i form av en rektangel med dimensioner som visas i figuren. Figurens övre begränsning representerar grundvattenytan.

### 7.3.1.3 Diffus belastning

Även för diffus vardagsbelastning har beräkningar gjorts för kvantitativ bestämning av konsekvens jämfört MKN. Resultaten presenteras i avsnitt 7.5.3.

## 7.4 Risk

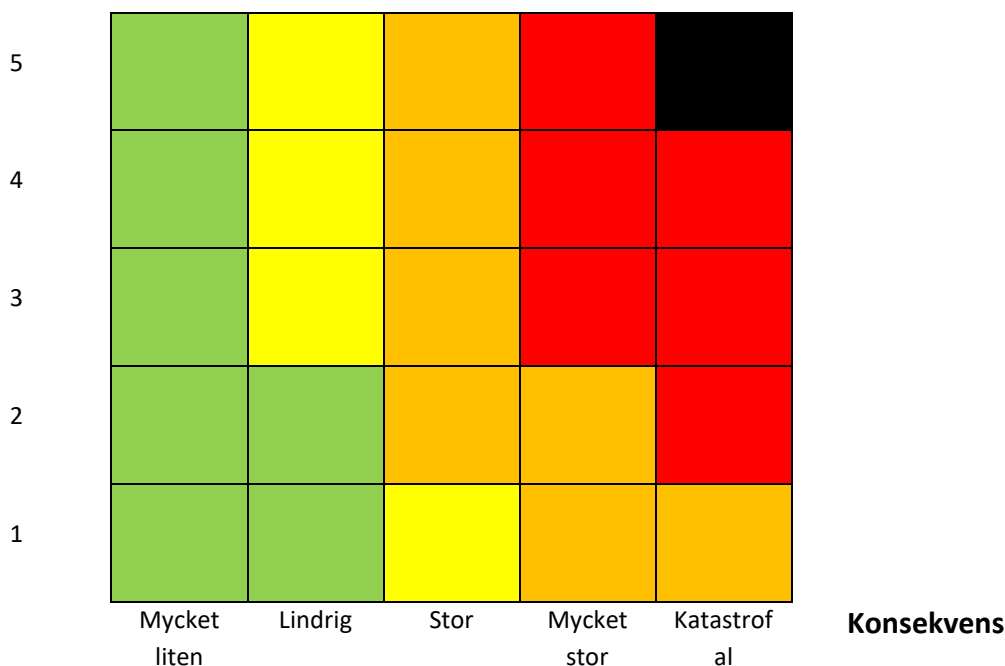
Riskerna för skadehändelserna bestäms genom en sammanvägning av sannolikhet och konsekvens enligt riskmatrisen i figur 7-5. I matrisen har en viktning gjorts så att konsekvensen värderas något högre än sannolikheten. Därigenom motiveras riskreducerande åtgärder alltid där konsekvensen är mycket stor eller katastrofal, trots att sannolikheten är liten.

Riskklasser:

- A. Mycket stor risk (svart)
- B. Stor risk (röd)
- C. Måttlig risk (orange)
- D. Förhöjd risk (gul)
- E. Liten risk (grön)

Omfattningen hos åtgärderna bör avgöras för respektive fall beroende på förutsättningarna i det aktuella området. För riskklasserna C och D antas att enkla förebyggande åtgärder kan utföras som inte innebär några större kostnader. Detta kan till exempel innebära särskilda anpassningar av dagvattenhanteringen eller restriktioner i markanvändningen inom områden med extrem känslighet. Riskklasserna A och B innebär så stora konsekvenser att långtgående förebyggande, riskreducerande åtgärder är motiverade. Detta kan till exempel innebära att planerade anläggningar inom områden med hög eller extrem känslighet utformas med extra säkerhetsanordningar eller att stränga restriktioner i markanvändning implementeras inom dessa områden.

Sannolikhet



Figur 7-5. Riskmatrix. Riskklasser utifrån färgkodningen beskrivs i ovanstående text.

7.4.1 Okända ämnen

Risker kopplade till okända ämnen har hanterats genom att fokusera på egenskaper hos de potentiella föroreningarna. Genom att titta på kända ämnen som man vet kan förorena grundvattnet kan man identifiera egenskaper som särskilt kan kopplas till föroreningsrisker.

I riskanalysen har hela ämnesgrupper så som PFAS, Bekämpningsmedel och klorerade lösningsmedel inkluderats, vilka bedöms täcka de egenskaper (toxicitet/giftighet, persistens/stabilitet, vattenlöslighet) som ett nytt farligt "okänt" ämne sannolikt kommer att ha.

För PFAS11 har modellsimulering gjorts som visar att PFAS kan spridas och ge relativt höga koncentrationer över långa sträckor nedströms skadeplatsen, Se avsnitt 7.5.2.4. Resultatet av denna simulering ingår som en del i riskanalysen för denna typ av ämnen.

7.4.2 Samverkans effekter (dominoeffekter och kumulativa effekter)

Vid riskanalysen har potentiella samverkans effekter för skadehändelserna beaktats. Detta innefattar så kallade dominoeffekter och kumulativa effekter. Enligt MSB (2015) kan en dominoeffekt definieras som "En händelsekedja där en primär olycka fortplantas till närliggande system eller verksamheter och därigenom orsakar en eller flera sekundära händelser vars effekter förvärrar de totala konsekvenserna av den ursprungliga olyckan."

Med kumulativa effekter avses den effekt som enskilda skadehändelser tillsammans med andra pågående och framtida skadehändelser samtidigt kan ge upphov till. Effekterna kan vara additiva, synergistiska (förstärkande) eller antagonistiska (motverkande). Med kumulativ effekt följer också kumulativ risk.

Där riskanalysen baseras på empiriska data och statistik ingår skadehändelser med domino- och kumulativa effekter i underlaget. Underlaget säger dock inte något om den geografiska distributionen av skadehändelserna och sannolikheten att domino- och kumulativa effekter uppstår.

Samverkans effekterna bedöms därför kvalitativt i riskanalysen och har hanterats som separata poster för de skadehändelser där det är aktuellt.

Kumulativa effekter hanteras även genom att konsekvensen viktats högre än sannolikheten i riskanalysen. Därigenom motiveras riskreducerande åtgärder alltid där konsekvensen är mycket stor eller katastrofal, trots att sannolikheten är liten.

Genom att sannolikheter och utsläppsmängder har bedömts åt det högre hållet i riskanalysen får den enskilda skadehändelsen en buffert som rymmer flera samtida eller efterföljande skadehändelser av samma typ, dvs kumulativa effekter.

För några skadehändelser har en screeningmodell använts för beräkning av skadans konsekvens. I denna modell förutsätts att föroreningen läcker över tid med konstant mängd och halt från utsläppspunkten och därmed överskattas föroreningsspridningen för många skadehändelser och ger en buffert för flera efterföljande eller samtida utsläpp.

## 7.5 Resultat

### 7.5.1 Allmänt

Riskanalysen har genomförts i en serie länkade bedömningar och beräkningar i Excel. Exempel på sammanställning av resultat från riskanalysen presenteras i tabell 7-3.

De största riskerna för vattenkvaliteten genereras av markanvändning och annan verksamhet i känsliga områden.

Resultat av screeningberäkningarna presenteras i avsnitt 7.5.2 och resultaten av riskanalysen av diffus belastning presenteras i avsnitt 7.5.3.

Riskernas geografiska distribution presenteras i avsnitt 7.5.4 och de största riskerna för grundvattenförekomsterna presenteras i avsnitt 7.5.5.

**Tabell 7-3. Exempel på sammanställning av resultat från riskanalys**

			<b>Låg och Måttlig känslighet</b>		<b>Hög och Extrem känslighet</b>	
<b>Skadehändelse</b>	<b>Sannolikhet</b>	<b>Mängd/farlighet</b>	<b>K</b>	<b>R</b>	<b>K</b>	<b>R</b>
Trafikolycka med turist-, stads- eller linjebuss.	3	Måttlig	Mycket liten till Lindrig	Liten till Förhöjd	Stor till Mycket stor	Måttlig till Stor
Spridning/ökad spridning från kända förorenade områden enligt nedan						
a,d,e	3	Måttlig	Mycket liten till Lindrig	Liten till Förhöjd	Stor till Mycket stor	Måttlig till Stor
b,c	3	Stor	Lindrig till Stor	Förhöjd till Måttlig	Mycket stor till Katastrofal	Stor
<p>a. Betning av säd, betong- och cementindustri, färgindustri, förbränning, garveri, gasverk, gummiproduktion, hamn, impregnering, läkemedelsindustri, skjutbana, sågverk, tillverkning av tegel och keramik, transformatorstation, tungmetallgjutier</p> <p>b. Brandövningsplats, flygplats, kända platser där PFAS hanterats, kemtvätt, varv eller verkstad med klorerade lösningsmedel/TBT, ytbehandling, plantskola</p> <p>c. Deponi, gruva, järn-, stål- och manufakturindustri</p> <p>d. Grafisk industri, skrothantering, textilindustri, tillverkning av plast</p> <p>e. Bilverkstad, drivmedelshantering, oljegrus- och asfaltverk, varv eller verkstad utan klorerade lösningsmedel/TBT</p>						
Borringar. Spill vid borring/förändrade spridningsvägar/läckage köldmedium	3	Måttlig	Mycket liten till Lindrig	Liten till Förhöjd	Stor till Mycket stor	Måttlig till Stor
Förorenings-spridning från snö- och sopsandupplag	4	Måttlig	Mycket liten till Lindrig	Liten till Förhöjd	Stor till Mycket stor	Måttlig till Stor

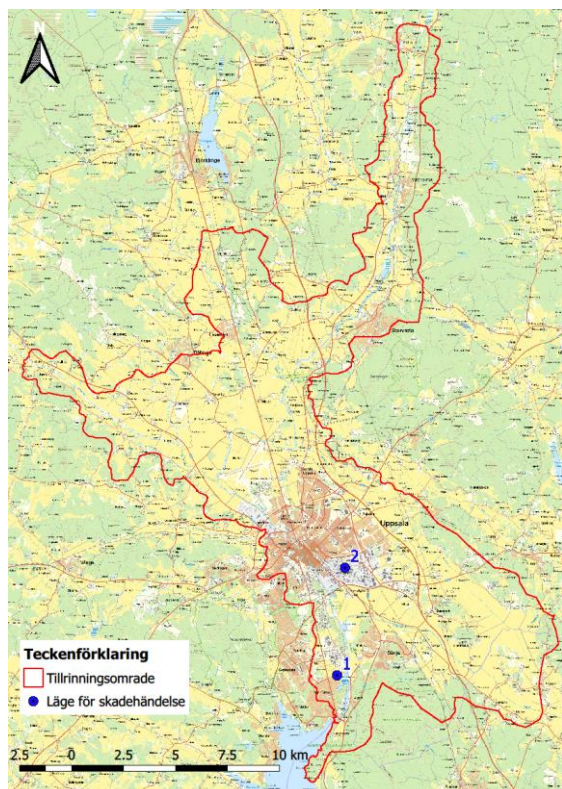
### 7.5.2 Screeningberäkningar

Med utgångspunkt från känslighetskartan (kapitel 4) valdes ett antal platser ut för kvantitativa beräkningar av konsekvenser av olika skadehändelser. Beräkningsfallen valdes ut dels som särskilt intressanta platser men också för att täcka in olika typer av skadehändelser och spridningsförutsättningar. Konsekvensberäkningar gjordes med den screeningmodell som beskrivs i avsnitt 7.3.1 och som baserar sig på Naturvårdsverkets riktvärdesmodell för förorenad mark (NV 5076). I modellen har platsspecifika ingångsvärden på hydrogeologiska parametrar hämtats från Uppsala Vattens kalibrerade grundvattenmodell för tillrinningsområdet (Grundvattengruppen, 2017).

I nedanstående text presenteras två exempel:

1. Södra staden, strax norr om Sunnersta. Planerad bostadsbebyggelse. Läge nära åsen.
2. Boländerna, industriområde. Läge på relativt långt avstånd från centrala delar av åsen men där hydraulisk förbindelse finns.

Platsernas lägen visas på översiktskarta i figur 7-6.



**Figur 7-6.** Platser för presenterade exempel på beräkning av föroreningsspredning till följd av skadehändelse.

### 7.5.2.1 Södra staden

Följande skadehändelser har beaktats i detta fall:

1. Husbrand: 1 st.
2. Bilbrand: 1 st.

I detta fall har man en kombination av relativt högt grundvattenflöde i åsen och relativt låg grundvattenbildning (dock ej extremt låg). Man kan därför förvänta sig relativ stor utspädning i grundvattnet.

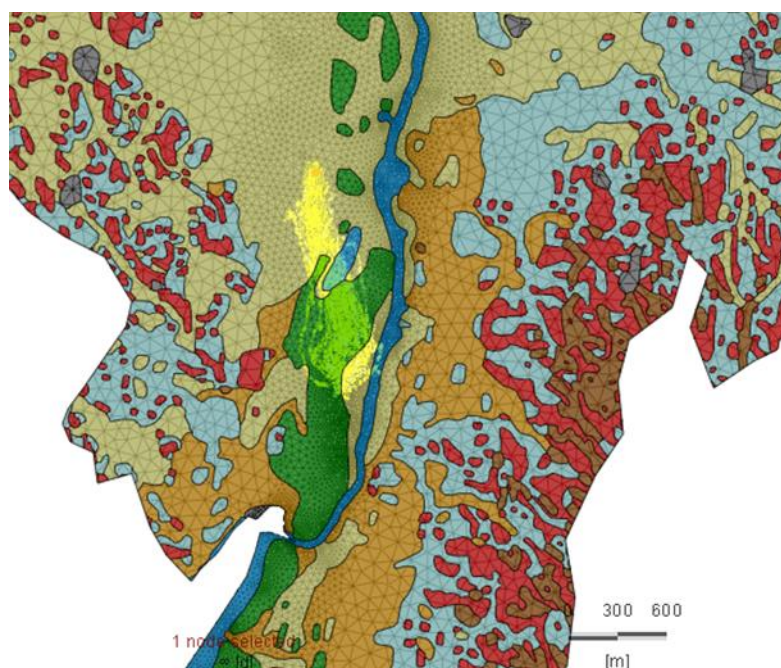
Resultaten i tabell 7-4 indikerar också låga halter, under MKN, i grundvattnet för båda skadehändelserna. Spridningen från skadeplatsen illustreras i geologiska plankartan i figur 7-7. Den antagna skadeplatsen visserligen ovanpå isälvsmaterial (grön färg) men åtskiljs av ett lager med relativt tätare sediment (gul/brun färg). Normalt antas att grundvattenbildningen i tätare sediment är lägre, vilket i screeningberäkningen innebär att den totala föroreningsbelastningen också blir mindre, jämfört om skadeplatsen varit belägen direkt på isälvsmaterial.



**Tabell 7-4.** Konsekvenser av skadehändelser Södra staden.

Skadehändelse	Avstånd (m)	Koncentration (mg/L)	Gränsvärde <sup>1</sup> (mg/L)	Ämne
1	20	$2,6 \times 10^{-7}$	0,001	Bensen
	100	$2,4 \times 10^{-8}$	0,001	Bensen
	200	$7,8 \times 10^{-9}$	0,001	Bensen
2	20	$1,5 \times 10^{-7}$	0,04	Bensen
	100	$1,4 \times 10^{-8}$	0,04	Bensen
	200	$4,5 \times 10^{-9}$	0,04	Bensin

<sup>1</sup> Gränsvärde (SLV) för dricksvatten och riktvärde (MKN) för grundvatten.



**Figur 7-7.** Jordartskarta med illustration av föroreningstransport från Södra staden strax norr om Sunnersta baserat på kalibrerad stationär modell från Uppsala vattens beräkningsmodell. Plats för skadehändelse visas med gul-orange punkt och föroreningens spridning i grundvattenzonen med gul färg. I jordartskartan är isälvsmaterial (grönt), morän (blått), sand (orange), berg (rött), lera (gulgrönt) och fyllning (grått). Vattendrag är markerade med mörkblått. Observera att föroreningen transporteras i isälvsmaterial under leran.

### 7.5.2.2 Boländerna

Följande skadehändelser beaktas i detta fall:

1. Läckage brandsläckningsmedel: läckage av 100 kg PFAS11.

Grundläggande resultat relaterat till utspädning i grundvattnet visas i Tabell 7-11. Tabellen kan betraktas bestå av två delar. Första tabellraden anger resultat för transport från Boländerna fram till den egentliga åsformationen. Denna visar på hög utspädning, dvs. låg utspädningsfaktor, vilket beror på en kombination av det långa avståndet samt att masstillförseln av förorening är relativt liten på grund av låg grundvattenbildning vid den antagna skadeplatsen.

Den beräknade plymbredden respektive plymmäktigheten för första sträckan av beräkningen antas träffa den huvudsakliga åsen ”i sidan”, och därefter strömmar längs åsens riktning. Eftersom den förta plymen träffar åsen med så stor bredd hinner inte utspädningen i åsen bli särskilt stor. De utspädningsfaktorer som ges för de olika avstånden i åsen visar alltså den ytterligare utspädning som fås i åsen, inte den totala utspädningen från Boländerna; för att få detta måste talen multipliceras. Beräknade konsekvenser av skadehändelse ges i Tabell 7-5.

**Tabell 7-5. Grundresultat för utspädning i grundvatten; Boländerna.**

Avstånd föroreningskälla (m)	Plymbredd (m)	Plymmäktighet (m) <sup>1</sup>	Utspädningsfaktor (dimensionslös)
2000 (sidan om ås)	429	5,0	5,4 x 10 <sup>-6</sup>
20 (i åsen)	47,6	20,0	0,83
100 (i åsen)	56,0	20,0	0,70
200 (i åsen)	66,6	20,0	0,59

<sup>1</sup> Räknat från grundvattenytan och nedåt

**Tabell 7-6. Konsekvenser av skadehändelser; Boländerna.**

Skadehändelse	Avstånd (m)	Koncentration (mg/L)	Gränsvärde (mg/L) <sup>1</sup>	Ämne
1	20	1,9 x 10 <sup>-4</sup>	9 x 10 <sup>-5</sup>	PFAS11 <sup>1</sup>
	100	1,6 x 10 <sup>-4</sup>	9 x 10 <sup>-5</sup>	PFAS11
	200	1,4 x 10 <sup>-4</sup>	9 x 10 <sup>-5</sup>	PFAS11

<sup>1</sup> Föreslaget gränsvärde

Resultaten får betraktas som mer osäkra p.g.a. den långa flödesvägen till åsen (ca 2 km) och mer komplexa hydrogeologiska förhållanden. Ansättande av värden från UVAB:s grundvattenmodell blir mer osäkra eftersom det är ofrånkomligt med större subjektivitet vid val av representativa värden för respektive transportväg.

Det antagna utsläppet är relativt stort, men har dock förekommit i denna storleksordning tidigare inom just detta område. Trots låg grundvattenbildning och relativt stort avstånd indikerar dock screeningmodellen att halter omkring och över föreslaget gränsvärde PFAS 11 i åsens grundvatten vid Sunnersta.

### 7.5.3 Diffus vardagsbelastning

Halterna som jämförts med gränsvärdena för MKN är beräknade som ett genomsnitt för hela åsen. I närheten av områden med större diffusa utsläpp kan lokalt högre halter förekomma. Beräkningssättet som använts ovan ger inte svar på rumslig variation av halterna och risk för gränsöverskridning i olika delar av åsen. Således är det utifrån detta inte möjligt att dra slutsatser huruvida exempelvis ett industriområde påverkar vattenkvaliteten i en specifik närbelägen dricksvattenbrunn så pass att gränsvärdet överskrids. Kvalitativa resonemang om dessa risker går dock att föra utifrån den rumsliga fördelningen av belastningen, se figur 5-5.

### 7.5.3.1 Befintlig situation (år 2017)

Den diffusa belastningen som sker idag ligger på en nivå som bedöms motsvara en liten till förhöjd risk. Detta baseras på att grundvattentäkten idag inte kan påvisas vara påverkad av den diffusa belastningen utifrån de mätningar av kemisk grundvattenkvalitet som funnits tillgängliga samtidigt som föroreningar från diffus belastning beräknat som medelvärde för hela grundvattenförekomsten pekar på att bly och bens(a)pyrene ger halter som är i nivå med MKN eller lägre beroende på beräkningsmetod, se tabell 7-13 och 7-14. Den främsta risken idag bedöms dock utgöras av punktutsläpp från föroreningar. En kontinuerlig belastning innebär dock att ämnen som inte bryts ner kan ansamlas i åsen vilket kan innebära en ökad risk med tiden.

### 7.5.3.2 Planerad framtida markanvändning (år 2050)

Föroreningar från diffus belastning beräknat som medelvärde i grundvattnet för hela grundvattenförekomsten pekar på att bly, bens(a)pyrene och summa PAH:er (BbF, BkF, BgP, IND) ger halter som är i nivå med MKN eller något högre beroende på beräkningsmetod, dvs halt i basflöde eller dagvatten se tabell 7-7 och 7-8.

I och med exploateringarna inom Uppsalaåsens tillrinningsområde kommer den diffusa föroreningsbelastningen öka om traditionell dagvattenhantering tillämpas, vilket beräkningarna i StormTac visar. Detta ger dock inte hela riskbilden eftersom det i och med exploateringarna även kommer att ställas krav på implementering av dagvattenlösningar som genom fördröjning och rening ska reducera föroreningshalterna till under de befintliga utsläppsmängderna. Detta bör då innebära att risken för Uppsalaåsen minskar baserat på den diffusa vardagsbelastningen trots den ändrade markanvändningen. Hur detta kommer att utvecklas är dock inte helt säkert. Risken bedöms därför att vara liten till förhöjd.

**Tabell 7-7.** Diffus belastning beräknad utifrån schablonhalt för basflöde i förhållande till total omsättning i åsen jämfört med riktvärden för grundvatten. MKN avser riktvärden för grundvatten på nationell nivå enligt SGU:s föreskrifter om miljö kvalitetsnormer och statusklassificering för grundvatten. LMV avser gränsvärde för dricksvatten enligt Livsmedelsverket.

Ämne	Enhet	Rikt- och gränsvärde		2017		2050	
		MKN	LMV	Värde <sup>1</sup>	% av gränsvärde <sup>2</sup>	Värde <sup>1</sup>	% av gränsvärde <sup>2</sup>
Fosfor	P	0,6 <sup>3</sup>		0,12	21%	0,12	20%
Fosfat		0,6					
Kväve	N	52 <sup>3</sup>	50,5 <sup>3</sup>	3,0	6%	2,8	5%
Nitrat		50	50				
Nitrit		0,5	0,5				
Ammonium		1,5					
Bly	Pb	10	10	4,8	48%	4,5	45%
Koppar	Cu		2	0,0092	0%	0,0090	0%
Zink	Zn			0,019		0,021	
Kadmium	Cd	5	5	0,067	1%	0,067	1%
Krom	Cr		50	0,84	2%	0,89	2%
Nickel	Ni		20	1,0	5%	1,4	7%
Kvicksilver	Hg	1	1	0,0065	1%	0,0075	1%
Suspenderad substans	SS			51		48	
Olja	Oil			0,11		0,11	
Bens(a)pyrene	BaP	10	10	1,8	18%	2,8	28%

<sup>1</sup> Värde = [total diffus belastning] / [vattenomsättning i åsen]

<sup>2</sup> I första hand har riktvärde för MKN, men där det endast finns gränsvärde enligt LMV har detta använts. För de flesta ämnen är de två riktvärdena lika.

<sup>3</sup> För fosfor och kväve anges summan för gränsvärdena för fosfat respektive nitrat, nitrit och ammonium. Observera att gränsvärde för ammonium enbart finns angivet för MKN och därför skiljer sig de summerade gränsvärdena för totalkväve.

**Tabell 7-8.** Diffus belastning beräknad utifrån schablonhalt för dagvatten i förhållande till total omsättning i åsen jämfört med riktvärden för grundvatten. MKN avser riktvärden för grundvatten på nationell nivå enligt SGU:s föreskrifter om miljö kvalitetsnormer och statusklassificering för grundvatten. LMV avser gränsvärde för dricksvatten enligt Livsmedelsverket.

Ämne	Enhet	Rikt- och gränsvärde		2017		2050		
		MKN	LMV	Värde <sup>1</sup>	% av gränsvärde <sup>2</sup>	Värde <sup>1</sup>	% av gränsvärde <sup>2</sup>	
Fosfor	P	mg/l	0,6 <sup>2</sup>		0,16	27%	0,17	28%
Fosfat			0,6					
Kväve	N	mg/l	52 <sup>3</sup>	50,5 <sup>3</sup>	3,0	6%	2,9	6%
Nitrat		mg/l	50	50				
Nitrit		mg/l	0,5	0,5				
Ammonium		mg/l	1,5					
Bly	Pb	µg/l	10	10	9,0	90%	9,9	99%
Koppar	Cu	mg/l		2	0,014	1%	0,0	1%
Zink	Zn	mg/l			0,034		0,0	
Kadmium	Cd	µg/l	5	5	0,24	5%	0,29	6%
Krom	Cr	µg/l		50	2,0	4%	2,6	5%
Nickel	Ni	µg/l		20	1,6	8%	2,3	11%
Kviksilver	Hg	µg/l	1	1	0,011	1%	0,014	1%
Suspenderad substans	SS	mg/l			71,9		72	
Olja	Oil	mg/l			0,24		0,31	
Bens(a)pyrene	BaP	ng/l	10	10	10	100%	16	161%
Summa 4 PAH:er	(BbF,BkF, BgP,IND)	ng/l	100	100	59	59%	102	102%
Benso(b)fluoranten	BbF	ng/l			23,8		44	
Benso(k)fluoranten	BkF	ng/l			5,7		10	
Benso(ghi)perylen	BgP	ng/l			11,8		20	
Indeno(1,2,3-cd)pyren	IND	ng/l			17		28	
Arsenik	As	µg/l	10	10	3,9	39%	3,8	38%
klorid	Cl	mg/l	100	100	12	12%	14	14%

<sup>1</sup> Värde = [total diffus belastning] / [vattenomsättning i åsen]

<sup>2</sup> I första hand har riktvärden för MKN, men där det endast finns gränsvärde enligt LMV har detta använts. För de flesta ämnen är de två riktvärdena lika.

<sup>3</sup> För fosfor och kväve anges summan för gränsvärdena för fosfat respektive nitrat, nitrit och ammonium. Observera att gränsvärde för ammonium enbart finns angivet bland MKN och därför skiljer sig de summerade gränsvärdena för totalkväve.

## 7.5.4 Riskernas geografiska distribution

Riskanalysen har gjorts utifrån en indelning av marken i olika känslighetsklasser. Skadehändelserna har sedan distribuerats geografiskt inom tillrinningsområdet i de fall där en skadehändelse kan kopplas till en viss typ av markanvändning eller geografisk plats. Att så långt det är möjligt distribuera riskerna geografiskt bidrar till en tydligare bild av var inom tillrinningsområdet som de största riskerna för grundvattenförekomsterna finns och vilken inverkan olika typer av markanvändning har på riskerna. I följande text beskrivs den geografiska distributionen för några av de mer utmärkande riskerna.

### 7.5.4.1 Gator och vägar

Den geografiska analysen visar på ett flertal områden med gator och vägar där det är stor risk för grundvattnets kvalitet om det sker en olycka med utsläpp av drivmedel och flytande farligt gods, där sådana transporter är tillåtna enligt lokal trafikstadga. I dessa områden är det också stor risk för grundvattnet med släckvatten vid brand i fordon. Den största risken finns på de vägavsnitt där trafikintensiteten är hög och om grundvattenskyddet är bristfälligt eller saknas helt.

Gator och vägar med stor risk presenteras i figur 7-8.

### 7.5.4.2 Järnvägar

Den geografiska analysen visar på ett par järnvägsavsnitt där det är stor risk för grundvattnets kvalitet om det sker en olycka med utsläpp av flytande farligt gods. På dessa sträckor är det också stor risk för grundvattnet med släckvatten vid brand i tågsätt. Den största risken finns på spåravsnitt om grundvattenskyddet är bristfälligt eller saknas helt.

Järnvägsavsnitt med stor risk presenteras i figur 7-9.

### 7.5.4.3 Brand i bostadshus och annan byggnad

Områden med stor risk att påverkas av släckvatten från brand i hus och industribyggnader finns spridda över stora delar av tillrinningsområdet med känslighetsklass hög och extrem.

### 7.5.4.4 Bekämpningsmedel

Den geografiska analysen visar att områden med stor risk att påverkas av daglig användning och spill av bekämpningsmedel finns spridda över stora delar av tillrinningsområdet.

### 7.5.4.5 Förorenade områden

Den geografiska analysen visar att det finns ett stort antal kända förorenade områden inom känslighetsklass hög och extrem, totalt 227 stycken. Av dessa har 128 bedömts ha stor risk att förorena grundvattnet.

Samtliga förorenade områden med stor risk presenteras i figur 7-10 och 7-11.

### 7.5.4.6 Miljöfarlig verksamhet

Den geografiska analysen visar att det finns ett stort antal miljöfarliga verksamheter inom känslighetsklass hög och extrem, totalt 81 stycken. Av dessa har 25 bedömts ha stor risk att förorena grundvattnet.

Samtliga miljöfarliga verksamheter med stor risk presenteras i figur 7-12.

#### 7.5.4.7 Översvämning

För att få fram geografisk distribution av översvämmade områden vid högsta beräknat flöde (BHF) har Känslighetskartan, höjddata och MSB översvämningskartering samkörts. Resultatet visas översiktligt i figur 7-13.

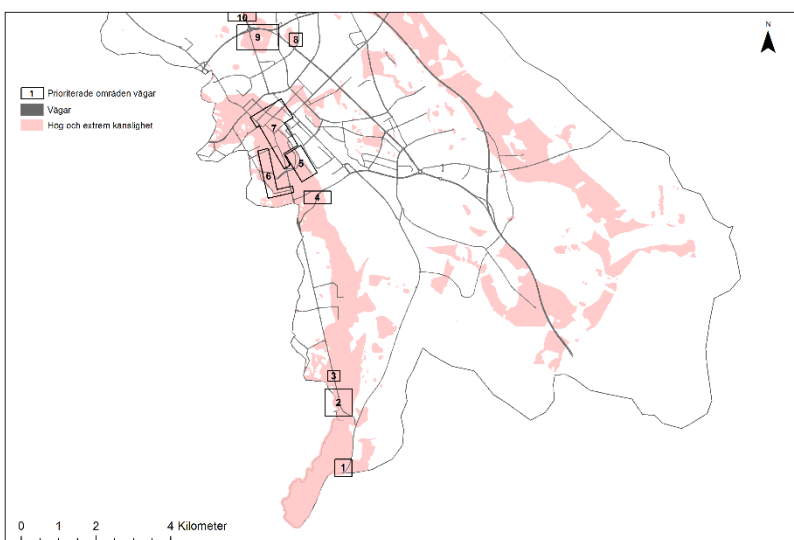
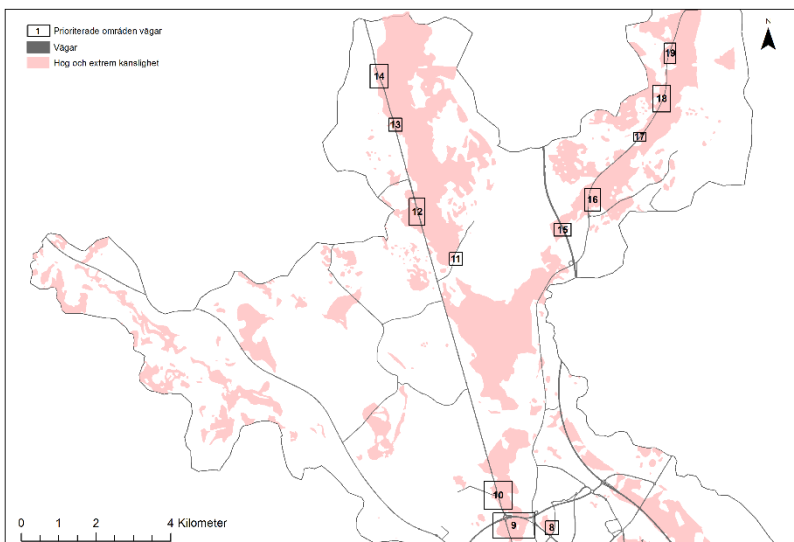
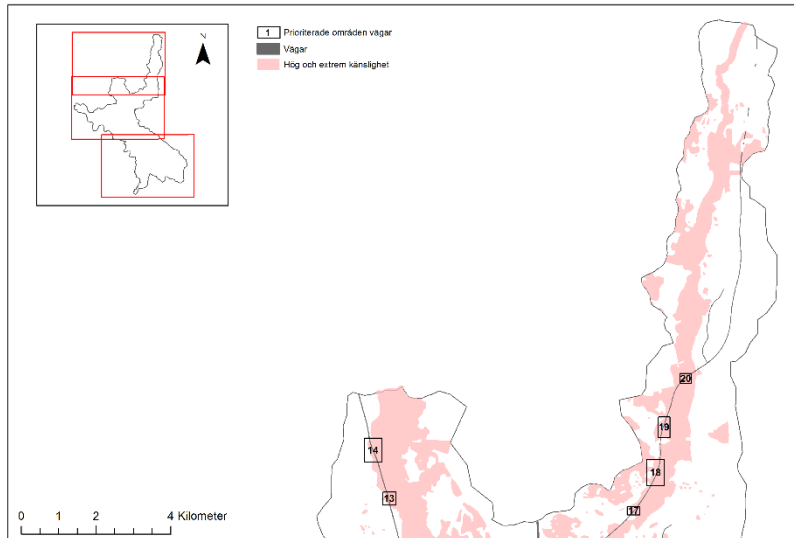
Längs med Fyrisån från Södra Vattholma, förbi Storvreta och hela vägen ner till Ensta norr om Gamla Uppsala finns känsliga områden som riskeras att översvämmas vid BHF-flöde och därmed finns risk att förorenat ytvatten infiltrerar i grundvattenförekomsterna.

Längs med sträckan Vattholma-Storvreta är det framförallt området på den västra banken av Fyrisån som är mest känslig för översvämningar. I området runt Fullerö och Ensta passerar Fyrisån och dess översvämningsområde flera känsliga områden.

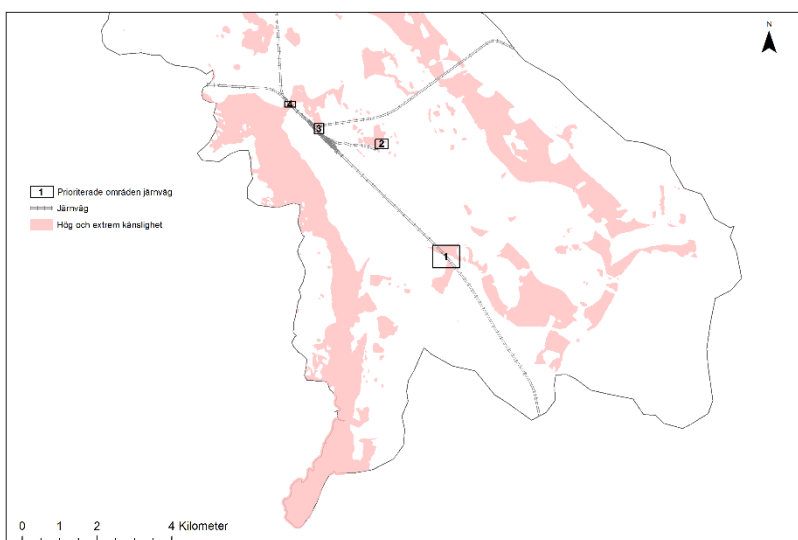
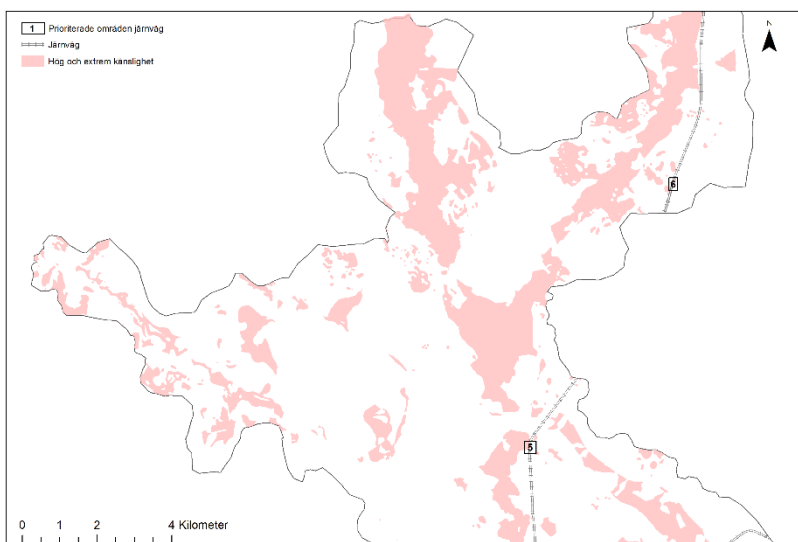
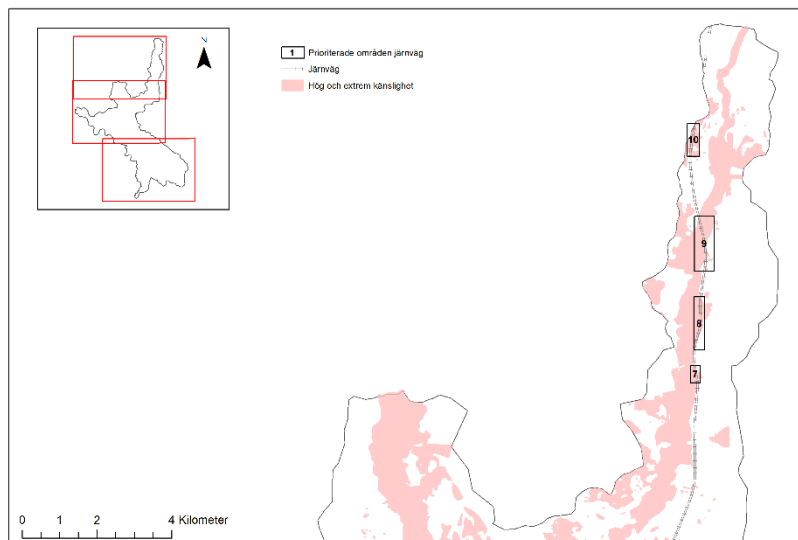
I Centrala Uppsala finns risk att känsliga områden vid Luthagen och vid kvarnfallet översvämmas.

Söder om Uppsala översvämmas områden längs med Ulleråker-Sunnerstaåsen, samt känsliga lerområden öster om Fyrisån nära Nántuna.

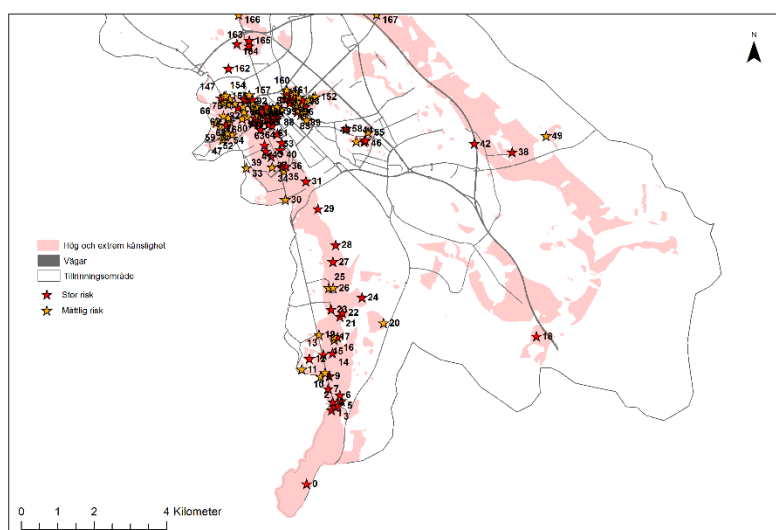
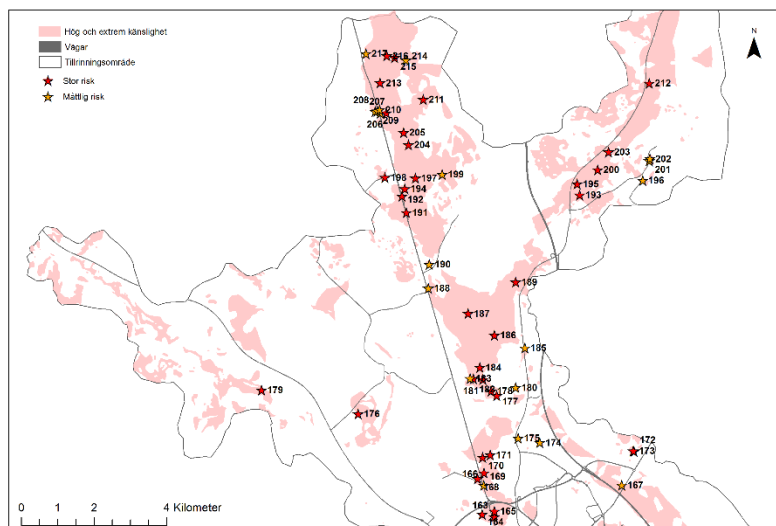
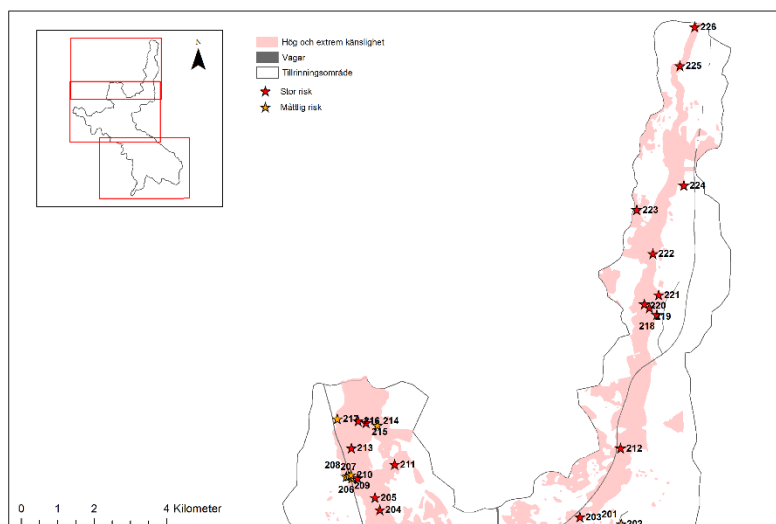




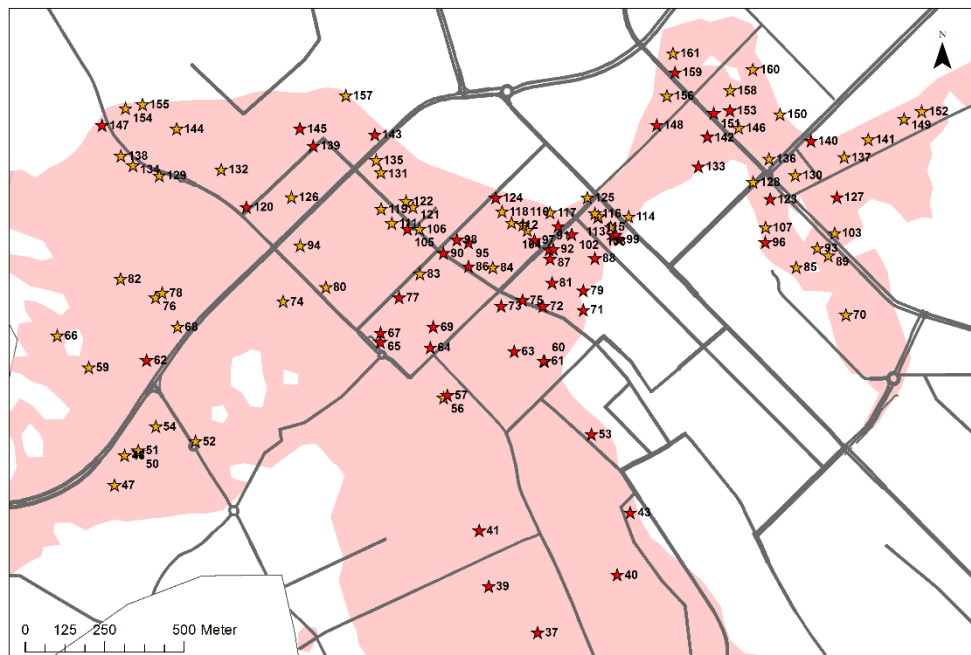
**Figur 7-8.** Gator och vägsträckor med stor risk för grundvattenförorening.



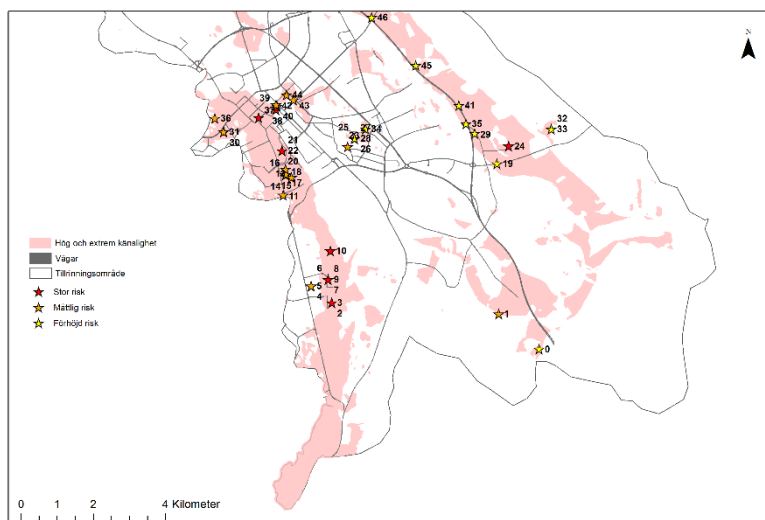
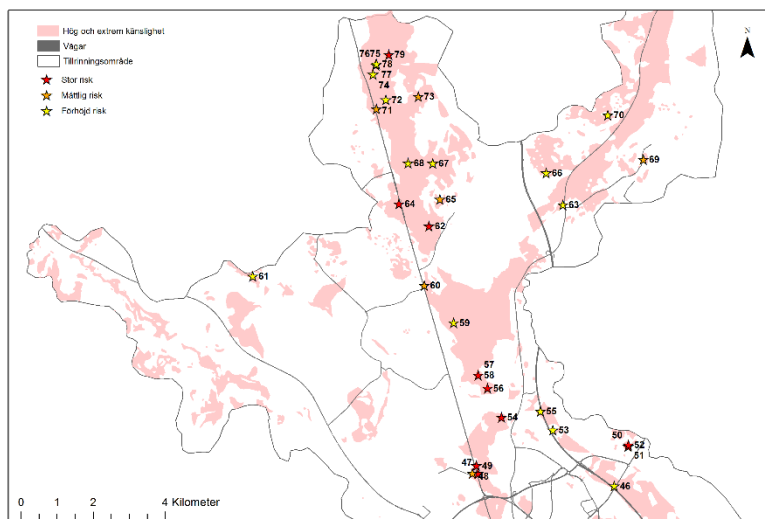
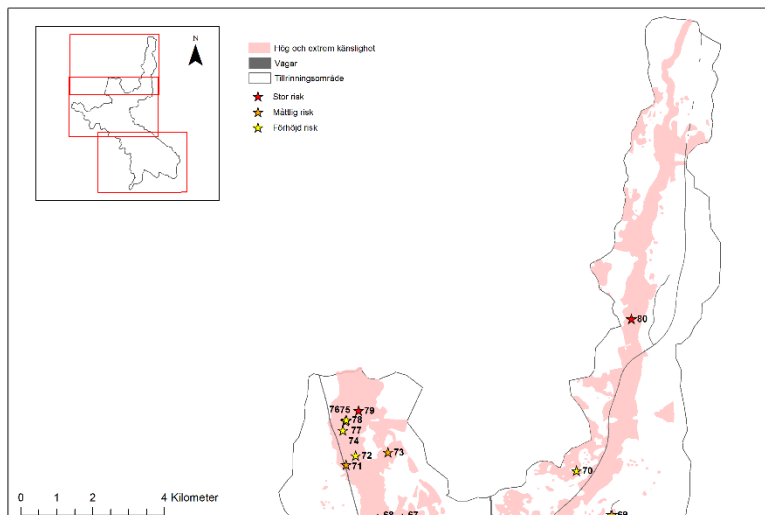
Figur 7-9. Järnvägssträckor med stor risk för grundvattenförorening



**Figur 7-10.** Områden inom hög och extrem känslighet med stor risk för grundvattenförorening vid spridning från förorenade områden.

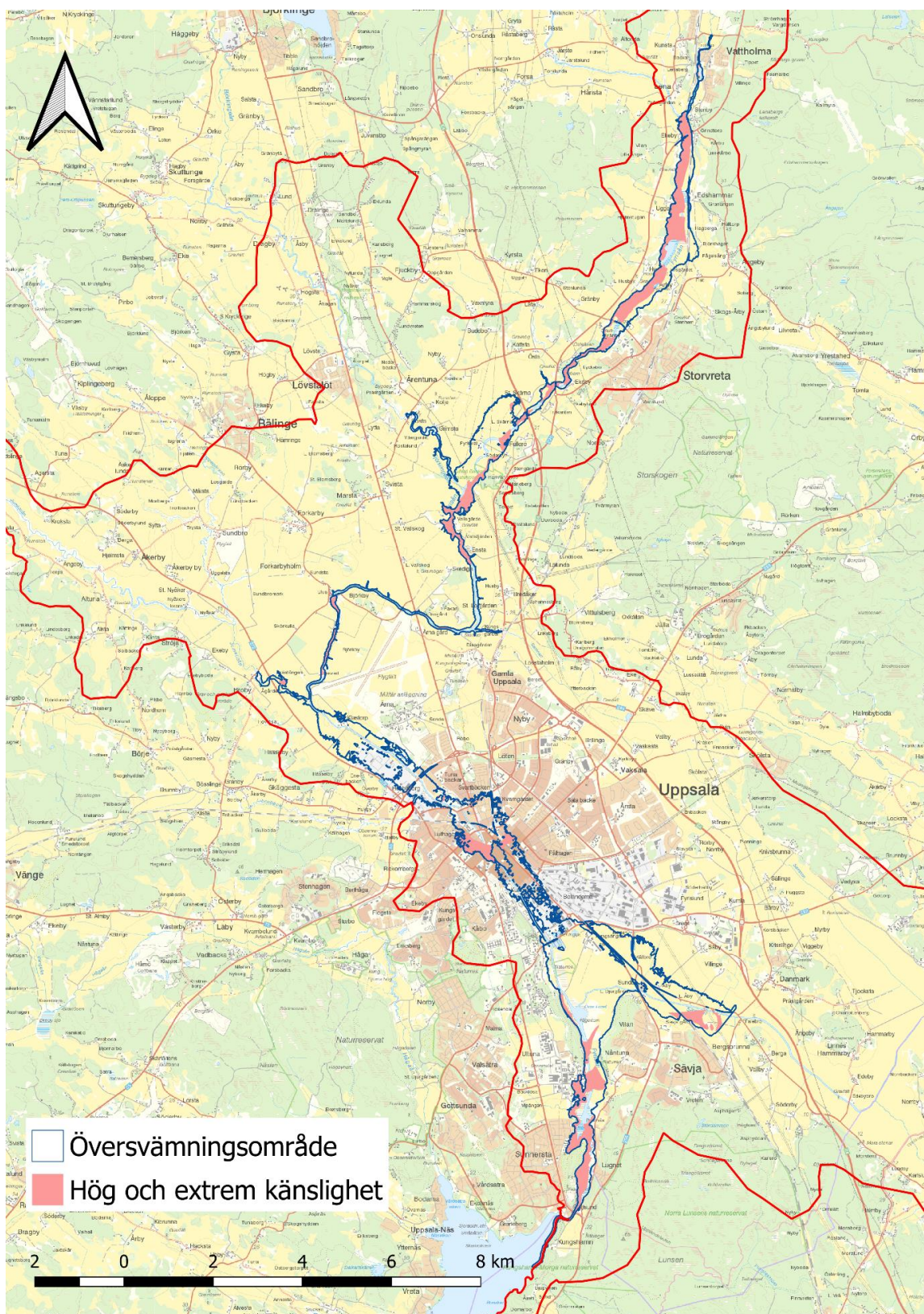


**Figur 7-11.** Områden inom hög och extrem känslighet med stor risk för grundvattenförorening vid spridning från förorenade områden centralt i Uppsala.



**Figur 7-12.** Områden inom hög och extrem känslighet med stor risk för grundvattenförorening vid spridning från olycka vid miljöfarlig verksamhet.





**Figur 7-13.** Översvämningskartering vid BHF-flöde i Uppsala- och Vattholmaåsarnas tillrinningsområde.

## 8 Riskhantering

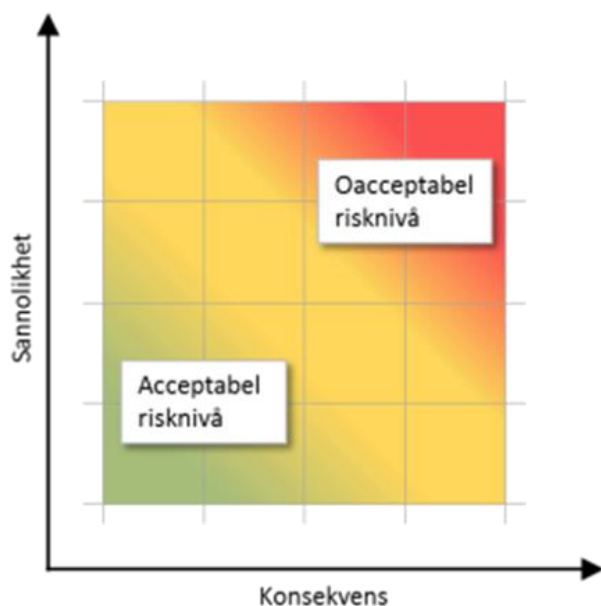
### 8.1 Acceptabel risk

Risken som är förknippad med en specifik skadehändelse är en kombination av sannolikhet och konsekvens. Konsekvensen beror på de geografiska förutsättningarna (framför allt känsligheten) där skadehändelsen inträffar och hur stor mängd/farlighet av ett visst ämne som skadehändelsen ger upphov till. Risken är indelad i följande riskklasser:

- A. Mycket stor risk (svart)
- B. Stor risk (röd)
- C. Måttlig risk (orange)
- D. Förhöjd risk (gul)
- E. Liten risk (grön)

Enligt indelningen ska riskreducerande åtgärder vidtas om risken är måttlig eller större, se figur 8-1. Vid förhöjd risk kan förebyggande riskreducerande åtgärder vara motiverade, men då bör dessa vägas mot kostnaden för efterbehandlingsåtgärder samt hur stor den bedömda konsekvensen är vid ett skadetillfälle. Vid liten risk har bedömningen gjorts att inga riskreducerande åtgärder, utöver vad som normalt tillämpas, är motiverade.

Vilka riskreducerande åtgärder som normalt tillämpas styrs av lagar, förordningar och lokala föreskrifter, till exempel vattenskyddsområdets föreskrifter. Även normala riskreducerande åtgärder kan innebära omfattande åtgärder för att förhindra en skadehändelse. Att konsekvensen av en skadehändelse kan vara stor eller mycket stor samtidigt som sannolikheten för skadehändelsen är liten behöver beaktas. I den föregående riskanalysen (kapitel 7) har konsekvensen viktats högre än sannolikheten vid bedömningen av risken för en given skadehändelse. I riskhanteringen som presenteras nedan är det därför konsekvensen snarare än risken som styr skyddsåtgärderna. Många av åtgärderna har en riskreducerande effekt på flera av de behandlade skadehändelserna.

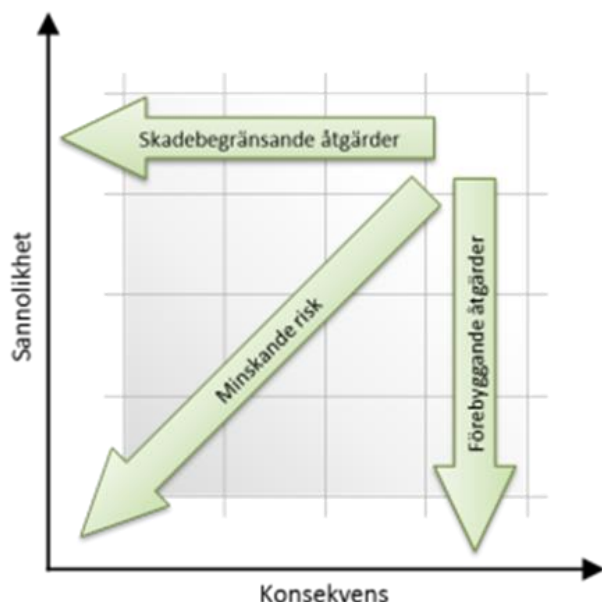


Figur 8-1. Val av acceptabel risk.



## 8.2 Förslag till riskreducerande åtgärder

Riskreducerande åtgärder riktas antingen mot att reducera sannolikheten att en viss skadehändelse ska inträffa eller mot att reducera konsekvensen om en skadehändelse inträffar. I vissa fall är det tänkbart att en riskreducerande åtgärd minskar både sannolikhet och konsekvens för en skadehändelse, se figur 8-2.



**Figur 8-2.** Riskreducerande åtgärd kan minska både sannolikhet och konsekvens.

Fokus i riskhanteringen som presenteras nedan ligger på förebyggande åtgärder. Efterhandsåtgärder för att minska konsekvensen av inträffade skadehändelser behandlas inte. Exempel på sådana efterhandsåtgärder kan vara hur räddningstjänsten ska hantera spill av farliga ämnen i ett område med extrem känslighet.

De riskreducerande åtgärderna som föreslås nedan är rekommendationer som behöver kompletteras och vidareutvecklas. De presenteras uppdelat enligt markområdets känslighetsklass; låg, måttlig, hög och extrem.

### 8.2.1 Områden i känslighetsklass extrem

Utgångspunkten ska vara att all typ av exploatering och verksamhet på extrem känslighet ska undvikas i mesta möjliga mån eftersom flera av de identifierade skadehändelserna kan ge upphov till mycket stora konsekvenser med stora risker som följd. Områden med extrem känslighet viktiga med avseende på grundvattenbildningen (grundvattnets kvantitet). Grundvattenbildningen är viktig att upprätthålla i största möjliga mån för att fortsatt kunna ha ett hållbart uttag av grundvatten från Uppsala- och Vattholmåsarna. Ökad hårdgöring och bortledning av dagvatten minskar grundvattenbildningen inom dessa områden

Vissa verksamheter ska inte vara tillåtna:

- Nyetablering av miljöfarliga verksamheter inom eller i nära anslutning till områden med extrem känslighet.
- Upplag med sopsand och snö från snöröjning.

- Enskilda avlopp som bygger på infiltration av spillvatten.
- Användning av bekämpningsmedel utöver vad som krävs för normal trädgårdsskötsel.

Utöver detta bör det finnas krav på hur framtida verksamheter, infrastruktur och entreprenader ska bedrivas/vara utformade inom områden med extrem känslighet:

### **Infrastruktur**

#### *Planering/projektering*

- Utgångspunkten bör vara att vägar ska undvikas i mesta möjliga mån på områden med extrem känslighet.
- Vägar och vägdken förses med täta underliggande skikt som förhindrar spill av farliga ämnen, t.ex. drivmedel vid olyckor att nå grundvattnet.
- Infiltration av dagvatten från vägar och gator ska inte tillåtas.

### **Dag- och spillvatten**

#### *Planering/projektering*

- Endast infiltration av dagvatten från "rena" ytor, till exempel gräsytor och parkmark ska tillåtas. Detta under förutsättning att ytorna inte gödslas eller behandlas med kemiska bekämpningsmedel. Om det finns risk för markföroreningar bör inte infiltration av dagvatten vara tillåten. Infiltration av byggdagvatten ska inte tillåtas.
- Dag- och spillvattenledningar ska vara helt täta. Detta säkerställs genom att till exempel svetsa ledningarna. Detta ska gälla även på områden där VA-huvudmannen inte har rådighet. Detta kan regleras genom kravställning i detaljplaner. Om dag- och spillvattenledningen går i väggkropp där det finns ett tätskikt ska dag- och spillvattenledningen gå ovanför tätskiktet.
- "Bra materialval" vid ny- och ombyggnation för att minska den diffusa belastningen.

#### *Bygg- och anläggning*

- Befintliga ledningars täthet kontrolleras och eventuella brister åtgärdas. Här måste hänsyn tas till att läckage från ledningar kan spridas via ledningsgraven och infiltrera längre nedströms.

### **Brandbekämpning**

#### *Planering/projektering*

- Parkeringsplatser ska undvikas/inte vara tillåtna för att minska sannolikheten för bilbränder.

#### *Bygg- och anläggning*

- Vid nybyggnation/omfattande ombyggnation ska släckvattenzoner införas.

#### *Drift- och underhåll*

- Brandbekämpning ska i mesta möjliga mån utföras med vatten. Släckvatten ska i största möjliga mån samlas upp och ytavrinning av släckvatten mot icke hårdgjorda ytor ska förhindras.

## Markarbeten

### Planering/projektering

- Entreprenörer bör utbildas i de risker som är förknippade med att arbeta i område med extrem känslighet att förorena grundvattnet. Samtliga på arbetsplatsen ska vara insatta i de rutiner som gäller.
- Kontrollprogram för grundvattennivåer och grundvattenkemi ska finnas på plats vid risk för påverkan på grundvattnet. Kontrollprogrammet startas i god tid innan markarbetenas start för att kunna upprätta en baseline för grundvattennivåerna och grundvattenkemin.
- Innan byggstart undersöks området för markföroreningar. Vid behov genomförs efterbehandlingsåtgärder av förorenad mark.

### Bygg- och anläggning

- Inför markarbeten behöver entreprenörerna informeras om att avbryta arbetena och tillkalla miljökontrollant vid misstanke (lukt, färg, avvikande material) om eventuell förorening. Detta gäller även om tidigare utförda provtagningar inte påvisat föroreningsförekomst.
- Uppställning av arbetsfordon ska ske på tät platta eller liknande som förhindrar spill att nå grundvattnet.
- Kontroll av hydraulslangar och kopplingar till dessa för att kunna upptäcka skador och läckage i tid.

### Drift- och underhåll

- Drivmedels- och kemikalieförvaring/hantering bör ske utanför områden med extrem känslighet. Eventuella farmartankar med drivmedel eller liknande för den dagliga driften ska ställas upp på tätt invallat område som rymmer hela volymen.

## 8.2.2 Områden i känslighetsklass hög

Utgångspunkten ska vara att all typ av exploatering på hög känslighet ska utföras med stora försiktighetsmått eftersom några av de identifierade skadehändelserna kan ge upphov till mycket stora konsekvenser med stora risker som följd. Ökad hårdgöring och bortledning av dagvatten minskar grundvattenbildningen inom dessa områden. Grundvattenbildningen är viktig att upprätthålla i största möjliga mån för att kunna fortsätta med ett hållbart uttag av grundvatten från Uppsala- och Vattholmåsarna.

Vissa verksamheter ska inte vara tillåtna:

- Nyetablering av miljöfarliga verksamheter.

Utöver detta bör det finnas krav på hur framtida verksamheter, infrastruktur och entreprenader ska bedrivas/vara utformade inom områden med hög känslighet:

### Infrastruktur

#### Planering/projektering

- Plankorsningar förses med täta diken eller annan tät uppsamling för att kunna ta hand om spill av t.ex. drivmedel vid olyckor.
- Infiltration av dagvatten från vägar och gator ska inte tillåtas.

## Dag- och spillvatten

### Planering/projektering

- Infiltration av dagvatten från körbara ytor såsom gator, vägar, lastzoner och parkeringsytor ska inte tillåtas. Takvatten kan tillåtas infiltrera om det först genomgår rening i till exempel växtbäddar. Om det finns risk för markföroreningar bör inte infiltration av dagvatten vara tillåten. Byggdagvatten ska inte tillåtas infiltrera.
- Dag- och spillvattenledningar ska vara helt täta. Detta säkerställs genom att till exempel svetsa ledningarna. Detta ska gälla även på områden där VA-huvudmannen inte har rådighet. Detta kan regleras genom kravställning i detaljplaner.
- "Bra materialval" vid ny- och ombyggnation för att minska den diffusa belastningen.
- Befintlig rutin att MIF remitterar UVAB vid ansökan om anläggning av enskilt avlopp inom en buffertzona runt inre skyddszon bör utökas till att gälla samtliga områden med hög känslighet, för att säkerställa att anläggningen utformas så att MKN uppfylls.

### Drift- och underhåll

- Befintliga ledningars täthet kontrolleras och eventuella brister åtgärdas. Här måste hänsyn tas till att läckage från ledningar kan spridas via ledningsgraven och infiltrera längre nedströms.
- Åtgärda enskilda avlopp som inte uppfyller dagens krav på rening/utformning.

## Brandbekämpning

### Planering/projektering

- Parkeringsplatser ska undvikas för att minska sannolikheten för bilbränder med efterföljande släckvattenrisker. Höjdsättningen av parkeringen ska vara sådan att avrinning sker mot dagvattenbrunnar eller liknande.

### Drift- och underhåll

- Brandbekämpning ska i mesta möjliga mån utföras med vatten. Släckvatten ska i största möjliga mån samlas upp och ytavrinning av släckvatten mot icke hårdgjorda ytor ska förhindras.

## Markarbeten

### Planering/projektering

- Entreprenörer bör utbildas i de risker som är förknippade med att arbeta i område med hög känslighet att förorena grundvattnet. Samtliga på arbetsplatsen ska vara insatta i de rutiner som gäller.
- Kontrollprogram för grundvattennivåer och grundvattenkemi ska finnas på plats vid risk för påverkan på grundvattnet. Kontrollprogrammet startas i god tid innan markarbetenas start för att kunna upprätta en baseline för grundvattennivåerna och grundvattenkemin.
- Innan byggstart undersöks området för markföroreningar. Vid behov genomförs efterbehandlingsåtgärder av förorenad mark.

### Bygg- och anläggning

- Inför markarbeten behöver entreprenörerna informeras om att avbryta arbetena och tillkalla miljökontrollant vid misstanke (lukt, färg, avvikande material) om eventuell förorening. Detta gäller även om tidigare utförda provtagningar inte påvisat föroreningsförekomst.

- Uppställning av arbetsfordon ska ske på tät platta eller liknande som förhindrar spill att nå grundvattnet.
- Kontroll av hydraulslangar och kopplingar till dessa för att kunna upptäcka skador och läckage i tid.

#### *Drift- och underhåll*

- Eventuella farmartankar med drivmedel eller liknande för den dagliga driften ska ställas upp på tätt invallat område som rymmer hela volymen.
- Begränsa användningen av bekämpningsmedel.

#### **Snöupplag**

##### *Planering/projektering*

- Upplag med snö från snöröjning ska ha tät avledning av smältvatten mot sedimentationsdamm som vid behov förses med oljeavskiljare. Snöupplag som är av mer varaktig karaktär kan medföra tillstånds- eller anmälningsplikt (Josefsson & Johansson, 2014).

### **8.2.3 Områden i känslighetsklass måttlig**

Utgångspunkten ska vara att exploateringar på måttlig känslighet ska utföras med vissa försiktighetsmått.

Det bör finnas krav på hur framtida verksamheter, infrastruktur och entreprenader ska bedrivas/vara utformade inom områden med måttlig känslighet:

#### **Miljöfarlig verksamhet**

##### *Samtliga faser*

- Hänsyn måste tas till grundvattnet vid utformning av de skyddsåtgärder som krävs för verksamhetens tillåtlighet.
- Särskilt risker som är förknippade med läckage av farliga ämnen och släckvattenhantering ska uppmärksammas.
- Dagvattenhanteringen ska inte utföras så att den riskerar att bidra till infiltration av farliga ämnen i samband med läckage.

#### **Dag- och spillvatten**

##### *Planering/projektering*

- Dagvatten från körbara ytor såsom gator, vägar, lastzoner och parkeringsytor ska genomgå rening i t.ex. växtbäddar innan det tillåts infiltrera.
- Pumpstationer för spillvatten ska utformas så att bräddningar inte medför infiltration av avloppsvatten i område med hög eller extrem känslighet.

#### **Markarbeten**

##### *Planering/projektering*

- Innan byggstart undersöks området för markföroreningar. Vid behov genomförs efterbehandlingsåtgärder av förorenad mark.

### *Bygg- och anläggning*

- Inför markarbeten behöver entreprenörerna informeras om att avbryta arbetena och tillkalla miljökontrollant vid misstanke (lukt, färg, avvikande material) om eventuell förorening. Detta gäller även om tidigare utförda provtagningar inte påvisat föroreningsförekomst.
- Anlitade entreprenörer ska ha en intern miljöplan där bland annat hantering av byggdagvatten redovisas. Samtliga på arbetsplatsen ska vara insatta i de rutiner som gäller.

### **Snöupplag**

#### *Drift- och underhåll*

- Mark som används regelbundet för snöupplag ska provtas efter varje säsong så att ansamling av föroreningar kan kontrolleras och åtgärdas.

### **8.2.4 Områden i känslighetsklass låg**

Utgångspunkten ska vara att exploateringar på låg känslighet ska utföras med normala försiktighetsmått som standardmässigt tillämpas vid planering och markarbeten. I vissa fall kan det dock vara motiverat att använda något större försiktighetsmått, motsvarande de som angivits för måttlig känslighet ovan. Detta kan till exempel vara aktuellt där den specifika platsen/verksamheten medför att något större risker kan förutspås.

Det bör finnas krav på hur framtida verksamheter, infrastruktur och entreprenader ska bedrivas/vara utformade inom områden med låg känslighet:

#### **Miljöfarlig verksamhet**

##### *Samtliga faser*

- Hänsyn måste tas till grundvattnet vid utformning av de skyddsåtgärder som krävs för verksamhetens tillåtlighet.
- Dagvattenhanteringen ska inte utföras så att den riskerar att bidra till infiltration av farliga ämnen i samband med läckage.

#### **Markarbeten**

##### *Planering/projektering*

- Innan byggstart undersöks området för markföroreningar om det finns anledning att föroreningar kan misstänkas. Vid behov genomförs efterbehandlingsåtgärder av förorenad mark.

##### *Bygg- och anläggning*

- Inför markarbeten behöver entreprenörerna informeras om att avbryta arbetena och tillkalla miljökontrollant vid misstanke (lukt, färg, avvikande material) om eventuell förorening. Detta gäller även om tidigare utförda provtagningar inte påvisat föroreningsförekomst.
- Anlitade entreprenörer ska ha en intern miljöplan. Samtliga på arbetsplatsen ska vara insatta i de rutiner som gäller.

### 8.3 Prioriterade åtgärder

De prioriterade åtgärderna är att:

1. Utföra utredningar i ett tidigt skede inför planering av förändrad markanvändning för att avgöra om den planerade markanvändningen är lämplig för platsen med avseende på risken att förorena grundvattnet.
2. Undvika exploatering i områden med extrem känslighet.
3. Exploatering ska utföras med långtgående skyddsåtgärder i områden med hög känslighet.
4. Kartlägg risker och vidta riskreducerande åtgärder vid befintlig verksamhet och bebyggelse i områden med hög och extrem känslighet.
5. Kontrollera grundvattenskyddet och åtgärda vid behov där befintliga vägar med hög trafikbelastning passerar områden med hög eller extrem känslighet.
6. Kontrollera grundvattenskyddet där befintlig järnväg passerar områden med hög eller extrem känslighet. Åtgärda vid behov.
7. Kontrollera (tillsyn) att det finns ett fungerande grundvattenskydd vid de miljöfarliga verksamheter som har bedömts ha stor risk att förorena grundvattnet.
8. Begränsa spridning och hantering av bekämpningsmedel i områden med hög och extrem känslighet.
9. Prioritera undersökning och efterbehandling av de förorenade områden som ligger inom områden med extrem känslighet och har bedömts ha stor risk att förorena grundvattnet.
10. Kontrollera befintliga och planerade dagvattenlösningar inom områden med extrem känslighet och åtgärda vid behov så att dagvatten från körytor (vägar, gator, lastzoner och parkeringar) inte infiltreras.

## 9 Sammanfattning

Utgångspunkten för riskanalysen har varit att miljö kvalitetsnormer (MKN) för grundvatten och gränsvärden för dricksvatten enligt Livsmedelsverkets föreskrifter (SLVFS 2001:30) ska uppnås och bibehållas för samtliga grundvattenförekomster i Uppsala- och Vattholmaåsarnas tillrinningsområde samtidigt som Uppsala växer. Föreskrifter och vägledningar ger stort utrymme för tolkning när MKN är uppfyllt, sett till en hel grundvattenförekomst. I genomförd riskanalys har ansatsen varit att MKN ska uppfyllas efter en blandningszon på 20 m från utsläppspunkten, sett som ett medelvärde över ett tvärsnitt av hela föroreningsplymen.

Sammanfattningsvis visar riskanalysen att det med befintlig markanvändning finns ett antal stora risker som behöver undersökas i detalj och åtgärdas anpassat till området känslighetsklass och de lokala förhållandena för att långsiktigt säkerställa att miljö kvalitetsnormerna (MKN) för grundvatten kan uppnås i grundvattenförekomsterna inom Uppsala- och Vattholmaåsarnas tillrinningsområde. Vidare visar riskanalysen att exploatering, verksamhet eller åtgärder som riskerar att påverka grundvattenförekomsterna negativt i mesta möjliga mån ska undvikas att lokaliseras i områden med extrem känslighet för grundvattenförorening.

Genomförd riskhanteringsprocess bygger på riskanalysen som utförts i projektets etapp 1 samt handböcker från MSB (2011) och Trafikverket (2013) och har omfattat hela tillrinningsområdet för Uppsala- och Vattholmaåsarna, en area på ca 270 km<sup>2</sup>. I etapp 1 omfattade riskanalysen Ulleråker, som är ca 1 km<sup>2</sup> och ca 0,4 % av hela tillrinningsområdets area.

Den känslighetskarta som tagits fram i GIS-lager har varit ett helt avgörande underlag för genomförd riskanalys. Den baserar sig på en av SGU nyligen framtagna tredimensionell jordlagermodell över tillrinningsområdet integrerat med resultat från en tredimensionell kalibrerad grundvattenflödesmodell för åsarna och tillrinningsområdet som Uppsala Vatten och Avfall AB



använt för en funktionsanalys av åsen. Det gör att helhetsbilden av känslighet för förorening av grundvattenförekomsterna inom tillrinningsområdet avsevärt har förbättrats mot tidigare tillgängliga underlag. Den har också gjort det möjligt att klassa markområdets känslighet för grundvattenförorening från ett utsläpp med hänsyn till både vertikal och horisontell strömning. Känslighetskartan visar att även perifera områden är känsliga för att förorena centrala delar av åsarna.

Känslighetskartan är ett storskaligt planeringsverktyg och har den upplösning och noggrannhet som ingående underlagsdata medger vilket innebär att den inte ger all information om de verkliga förhållandena på en specifik plats. Inför förändrad markanvändning eller genomförande av andra åtgärder bör de lokala geotekniska och geohydrologiska förutsättningarna utredas vidare. Den information som framkommer vid sådana utredningar bör användas som indata till en löpande uppdatering av känslighetskartan och riskanalysen.

Markanvändningen har i riskanalysen främst en inverkan på sannolikheten att en skadehändelse inträffar och har tagits fram i GIS-lager för befintlig situation 2017 och planerad framtida markanvändning år 2050. Genom att kombinera markanvändningen med känslighetskartan har riskerna kunnat distribuerats geografiskt över hela tillrinningsområdet efter den markanvändning som med sannolikhet kan ge upphov till viss typ av skadehändelse. Som stöd till de kvalitativa bedömningarna har konsekvensen, uttryckt som halt jämfört MKN, beräknats med en utvecklad version av Naturvårdsverkets modell (screeningberäkningar) för några skadehändelser inom områden med hög och extrem känslighet. I modellen har plats specifika ingångsvärden på hydrogeologiska parametrar så som grundvattenflöde, grundvattenbildning, djup på omättad zon och flödesriktning hämtats från Uppsala Vattens kalibrerade grundvattenmodell för tillrinningsområdet. Detta har givit säkrare resultat av beräknad konsekvens jämfört med om ingångsvärden i stället behövt uppskattas.

Riskanalysen har i etapp 2 utvecklats mot mer kvantitativa beräkningar av risk i tre steg (mängd/farlighet, konsekvens, risk) med en beräkningsmodul i Excel. På så sätt kan de parametrar och avvägningar som riskanalysen baseras på revideras. Riskerna med skadehändelserna beräknas genom en sammanvägning av sannolikhet och konsekvens och sannolikheter bestäms utifrån statistiskdata eller expertbedömningar och med hänsyn till markanvändning. Konsekvenser bedöms utifrån mängd och farlighet hos den aktuella föroreningen och med hänsyn till områdets känslighet.

Kriterierna för bedömning av god kemisk grundvattenstatus bygger på riktvärden i form av miljökvalitetsnormer. Eftersom ”nya okända” ämnen eller kunskap om ämnens effekter ständigt tillkommer kan det komma att upprättas miljökvalitetsnormer för ytterligare ämnen än de som behandlats ovan. Enligt SGU (2013) ska miljökvalitetsnormer tas fram för ”nya” föroreningar när kunskapen om deras effekter är tillräcklig för att utgöra underlag för att fastställa MKN. Ett exempel på det är PFAS och PFOS där förslag till riktvärden finns och ett beslut väntas inom kort. I genomförd riskanalys har okända ämnen hanterats genom att inkludera tre ämnesgrupper; PFAS, bekämpningsmedel och klorerade lösningsmedel vilka bedömts täcka de egenskaper (toxicitet, persistens, vattenlöslighet) som ett nytt okänt ämne sannolikt kommer att ha. För dessa ämnesgrupper finns nu gällande och föreslagna riktvärden för MKN. Okända ämnen hanteras också genom att de riskreducerande åtgärder som förslås är utformade att även reducera risken för ”okända” ämnen att förorena grundvattenförekomsterna.

I riskanalysen beaktas kumulativa effekter för varje skadehändelse. Kumulativa effekter hanteras även genom att konsekvensen viktats högre än sannolikheten i riskanalysen. Därigenom motiveras riskreducerande åtgärder alltid där konsekvensen är mycket stor eller katastrofal, trots att sannolikheten är liten.

Genom att sannolikheter och utsläppsmängder har bedömts åt det högre hållet i riskanalysen får den enskilda skadehändelsen en buffert som rymmer flera samtida eller efterföljande skadehändelser av samma typ, dvs kumulativa effekter.

För några skadehändelser har en screeningmodell använts för beräkning av skadans konsekvens. I denna modell förutsätts att föroreningen läcker över tid med konstant mängd och halt från utsläppspunkten och därmed överskattas föroreningsspridningen för många skadehändelser och ger en buffert för flera efterföljande eller samtidigt utsläpp.

Sammanfattningsvis är den kumulativa riskpåverkan från antropogen verksamhet inom tillrinningsområdet mycket stor. Utifrån identifierade skadehändelser kommer störst riskpåverkan från befintlig markanvändning, som historiskt har lokaliserats i områden med hög eller extrem känslighet för förorening av grundvattnet. Den viktigaste åtgärden för att minska den kumulativa riskpåverkan är att på längre sikt successivt anpassa markanvändningen. På kort sikt behöver kraftfulla skyddsåtgärder vidtas.

Diffus belastning har i denna studie definierats som ämnen som sprids över stora ytor på många platser. Utsläpp som genererar punktutsläpp på ett antal specifika platser, t.ex. PFAS, har hanterats som enskilda skadehändelser. Den diffusa belastningen har beräknats för hela tillrinningsområdet för både befintlig och framtida markanvändning år 2050 enligt ÖP 2016. Sammanfattningsvis tyder resultatet på att den diffusa belastningen för de flesta av de studerade ämnena inte är betydande orsak till risk för överskridande av miljökvalitetsnormerna (MKN) i grundvattenförekomsterna. Riskbedömningarna för den diffusa belastningen har dock gjorts utifrån nuvarande kunskap och underlag för beräkningar och bedömningarna kan komma att förändras på sikt utifrån ny kunskap och mer omfattande underlag för beräkningar.

I de fall där halten från den beräknade diffusa spridningen utgör få procentenheter av gränsvärdena finns inga större anledningar till att misstänka risk för överskridande, men för några ämnen, där halten i förhållande till gränsvärdena är högre bör vidare uppföljning av den diffusa belastningen göras. T.ex. bör halterna av dessa ämnen analyseras i vatten från uttagsbrunnar och tillgängliga observationsrör för att bedöma hur belastningen är på grundvattenförekomsterna i nuläget. Det finns också flera ämnen som ingår i de hänsynskrav som finns för grundvatten (MKN) och dricksvatten (Livsmedelsverket) men som inte finns i databasen för den använda beräkningsmodellen Stormtac, t.ex. PFAS. Om det är några av dessa ämnen som har uppmätta halter som är höga i förhållande till hänsynskraven bör källorna till dessa i ett senare skede undersökas noggrannare.

Halterna som jämförts med gränsvärdena (MKN och Livsmedelsverket) är beräknade som ett medelvärde för grundvattenförekomsterna. Lokalt kommer halterna att avvika från medelvärdet, t.ex. i närheten av områden med större diffus utsläpp kan lokalt högre halter förekomma. Beräkningssättet som använts ovan ger inte svar på rumslig variation av halterna och risk för gränsöverskridning i olika delar av åsen. Således är det utifrån detta inte möjligt att dra slutsatser huruvida exempelvis ett industriområde påverkar vattenkvaliteten i en specifik närbelägen dricksvattenbrunn så pass att gränsvärdet överskrids. Kvalitativa resonemang om dessa risker går dock att föra utifrån den rumsliga fördelningen av belastningen enligt de framtagna kartorna med beräknad belastning per hexagon.

## 10 Fortsatt arbete

I framtagandet av känslighetskartan och markanvändning inom etapp 2 har Geosigma arbetat efter det tillrinningsområde som användes i etapp 1. Tillrinningsområdet som använts stämmer dock inte helt överens med modellområdesgränsen från SGU:s 3D-jordlagermodell. Det finns områden utanför den framtagna känslighetskartan och markanvändningskartan som ingår i SGU:s 3D-modell, det finns

också områden i tillrinningsområdet som inte ingår i 3D-modellen och därför inte har kunnat klassas. Av de områdena som inte inkluderats i känslighetskartan, men som ingår i SGU:s 3D-modell är det framförallt området kring Rosendal och Ultuna där känslighetskartan kan behöva kompletteras.

Som ett komplement till screeningmodellen föreslås några beräkningar för skadehändelse på långt avstånd från åsen med en komplett transportmodell.

I en fortsättning föreslås beräkningar av konsekvens utförs för några fall med grundvattenflöde i åsarnas centrala delar och grundvattenförekomsterna enligt UVAB:s scenario för planerad framtida infiltration och vattenuttag i åsarna.

Utred möjligheterna att förbättra underlag gällande grundvattenbildning i beräkningsmodellen för diffus belastning.

Genomför provtagningar av grundvattenkvalitet på fler platser och av fler parametrar än som gjorts hittills inom grundvattenförekomsterna för att få mätdata med bättre rumslig spridning och parameteruppsättning att jämföra mot beräknade halter i beräkningsmodellerna för punktbelastning (screeningberäkning) och diffus belastning.

I genomförd riskanalys har generella risker med borrhål avseende spill, läckage av köldmedel och förändrade spridningsvägar inkluderats. De specifika riskerna med termisk påverkan och relik (salt) vatten vid energibrunnar har inte rymts inom etapp 2 och kan behöva utredas vidare om intresset för att anlägga bergvärmeanläggningar är stort.

De förslag till riskreducerande åtgärder som presenteras i denna rapport i kapitel 8.2 är rekommendationer som behöver vidareutvecklas i ett fortsatt arbete efter att denna etapp 2 av projektet har avslutats. Viktigt att skyddsåtgärderna då utformas så att föroreningar som hindras från att infiltrera till grundvattnet och i stället leds till ytvatten renas till den grad att MKN kan uppfyllas i ytvattenrecipienten.

## 11 Referenser

Bjerking, 2014. *MKB för detaljplan för ny bro över Fyrisån vid Kungsängsesplanaden i Uppsala kommun*. Samrådhandling 2014-02-24. Tillgänglig via: <http://www.bygg.uppsala.se/contentassets/3ebbe16c0f374065a0fce2fd9920c71c/miljokonsekvensbeskrivning.pdf>.

Fire and Risk Engineering Nordic AB, 2017. *Riskutredning. Dragarbrunn 21:1 Oden Ygg, Uppsala. Utredning för ny detaljplan*. Tillgänglig via: [http://bygg.uppsala.se/globalassets/upsala-vaxer/dokument/stadsplanering--utveckling/detaljplanering/samrad\\_granskning/oden-ygg---samrad/5-b-riskutredning.pdf](http://bygg.uppsala.se/globalassets/upsala-vaxer/dokument/stadsplanering--utveckling/detaljplanering/samrad_granskning/oden-ygg---samrad/5-b-riskutredning.pdf).

Gamla Uppsala buss, 2017. Tillgänglig via: [http://ww.gub.se/gub/?page\\_id=69](http://ww.gub.se/gub/?page_id=69), hämtad 2017-12-05.

Geosigma, 2017. *Fördjupad dagvattenutredning för Södra staden*. Grap nr. 17235.

Government of Canada, 2017. *Compare environmental contaminants*. Tillgänglig via: <http://gost.tpsgc-pwgsc.gc.ca/conlst.aspx?lang=eng>, hämtad 2017-11-29.

Grundvattengruppen (2017). Funktionsanalys Uppsalaåsen. Grundvattengruppen. Uppsala Vatten.

HAV, 2017. Havs- och vattenmyndigheten. *Vägledning om dumpning av snö i hav, sjöar eller vattendrag*. Tillgänglig via: <https://www.havochvatten.se/hav/vagledning--lagar/vagledningar/provning-och-tillsyn/dumpning/dumpning-och-hantering-av-sno---fragor-och-svar.html>.

Jordbruksverket, 2011. *Jordbruksverkets bestämmelser om spridning av gödningsmedel*. Dnr 29 10669/11.

Josefsson & Johansson, 2014. *Attract. Attraktiva, hållbara livsmiljöer i kallt klimat. Hantering och lagring av snö*. Rapport från Luleå Tekniska Universitet och Sweco. Rapportnr: 2014-08. Tillgänglig via: <http://ltu.diva-portal.org/smash/get/diva2:996049/FULLTEXT01.pdf>.

Kemikalieinspektionen, 2017. Kemikalieinspektionens föreskrifter om klassificering och märkning av kemiska produkter. KIFS 2005:7, senast ändrad genom KIFS 2017:4.

Larm, T. (2000). *Watershed-based design of stormwater treatment facilities: model development and applications*. PhD thesis, Royal Institute of Technology, Stockholm.

Larm, T. (2005). *An operative watershed management model for estimating actual and acceptable pollutant loads on receiving waters and for the design of the corresponding required treatment facilities*. <http://stormtac.com/admin/Uploads/Equations.pdf> (nedladdad 2017-12-21)

Larm, T (2017). *Method description of pollutant calculations in StormTac Web*. StormTac guide, 2017-11-08. StormTac Stormwater solutions. <http://app.stormtac.com/dwl/Method%20description%20of%20pollutant%20calculations.pdf> (nedladdad 2017-12-21).

Livsmedelsverket, 2016. Risker vid förorening av dricksvatten med PFAS. Riskhanteringsrapport 2016-02-29.

Länsstyrelsen i Norrbottens län, 2011. *Föroreningsrisker för vattentäkter med hänsyn taget till konsekvenser av klimatförändringar, Norrbottens län*. Rapportnummer: 2011-15.

Länsstyrelsen i Stockholms län, 2004. *Salt grundvatten i Stockholms läns kust- och skärgårdsområden*. Rapportnummer: 2004:26.

Länsstyrelsen i Uppsala Län, 1989. *Vattenskyddsområde och skyddsföreskrifter för de kommunala vattentäkterna i Uppsala- och Vattholmaåsarna i Uppsala kommun*.

Länsstyrelsen i Uppsala län, 2017. *Beslut om dispens från vattenskyddsföreskrifterna för Uppsala- och Vattholmaåsarna i samband med markarbeten inom inre och yttre vattenskyddsområde på fastigheterna Kronåsen 1:2, 1:14, 1:22 och 2:1. samt Kungsängen 1:8, Uppsala kommun.* Beslut nr. 521-5838-2015.

Miljöförvaltningen, 2012. Inventering av platser där perfluorerade ämnen kan ha använts i betydande omfattning. Diarienummer 2012–004626-MI.

MSB, 2011a. *Vägledning för risk- och sårbarhetsanalyser.* MSB245 - april 2011.

MSB, 2011b. *Transport av farligt gods. Väg och järnväg.* MSB327 - november 2011. Tillgänglig via: <https://www.msb.se/RibData/Filer/pdf/26071.pdf>.

MSB, 2013. *Rening och destruktion av kontaminerat släckvatten.* Publ.nr MSB536

MSB, 2014. *Skumvätskor och tillsatser.* Tillgänglig via: <https://www.msb.se/sv/Insats--beredskap/Brand--raddning/Slackmedel-for-raddningstjanst/Skumvatskor-och-tillsatsmedel/>, publicerad 2014-09-11.

MSB, 2015. Studie - Helhetsbild av risk inom industriparken. Del 1 – Dominoeffekter och kumulativ risk. MSB832.

MSB, 2017. *Hydraulolja.* Tillgänglig via: <https://rib.msb.se/dok.aspx?Tab=2&dokid=20902>, hämtad 2017-12-04.

Naturvårdsverket, 2015. *Naturvårdsverkets föreskrifter om spridning och viss övrig hantering av växtskyddsmedel.* NFS 2015:2.

Reinosdotter, K., 2007. *Sustainable snow handling*, Doktorsavhandling 2007:12, Institutionen för samhällsbyggnad och naturresurser, Luleå Tekniska Universitet.

Roslagens biodieselcenter, 2013. *Säkerhetsdatablad enligt förordning (EG) nr 1907/2006. RME/Biodiesel 100/Eldningsolja Bio 100.* Tillgänglig via: <http://www.biodieselcenter.se/assets/sakerhetsdatablad-rme-biodiesel-100-eldningsolja-bio-100.pdf> . Utfärdat 2013-03-05, hämtad 2017-12-07.

SGI, 2015. Preliminära riktvärden för högfluorerade ämnen (PFAS) i mark och grundvatten. SGI Publikation 21.

SGU, 2013. Sveriges geologiska undersöknings föreskrifter om miljökvalitetsnormer och statusklassificering för grundvatten. SGU-FS 2013:2.

SGU, 2014. *Bekämpningsmedel i grundvatten.* <https://www.sgu.se/om-sgu/nyheter/2014/april/bekampningsmedel-i-grundvatten/>, hämtad 2017-12-08.

SLU, 2016. *Miljöeffekter av bekämpningsmedel.* Tillgänglig via: <https://www.slu.se/centrumbildningar-och-projekt/kompetenscentrum-for-kemiska-bekampningsmedel/information-om-bekampningsmedel-i-miljon1/exponering-och-miljoeffekter/>, hämtad 2017-12-08.

SMED (Svenska MiljöEmissionsData), 2015. Uppdatering av kunskapsläget och statistik för små avloppsanläggningar. ISSN: 1653-8102. SMED rapportnummer 166.

St1, 2016. *Säkerhetsdatablad. Diesel (CAS 683334-30-5).* Version 1.6. Förordning 1907/2006/EG. <https://www.st1.se/documents/10180/18982/diesel+68334-30-5+sv.pdf/9daaf982-1e5a-4c95-8c92-cb5af91d9b26>, hämtad 2017-12-08.

SvD, 2004. *Inget mer flygbränsle i city.* Tillgänglig via <https://www.svd.se/inget-mer-flygbransle-i-city-inget-mer-flygbransle-i-city>. Publicerad 2004-12-29.

SVT, 2017. *Försäkringsbolagen: Hälften av bilbränderna är bedrägerier*. Tillgänglig via: <https://www.svt.se/nyheter/lokalt/ost/halften-av-bilbranderna-ar-forsakringsbedragerier>.

Sweco, 2016. *Risikanalytisk Stamnätstation Snösättra* (2016-06-28).

Swedavia Airports, 2017. *Draft Masterplan Stockholm Arlanda Airport* (2017-02-22).

Trafikverket, 2013. *TRV Handbok. Yt- och grundvattenskydd*. Publikation 2013:135.

Trafikverket, 2015. *Trafikverkets handbok för hantering av sulfidförande bergarter*. Publikation 2015:057.

UNT, 2014. *Flygbränslet kommer fram på omväg*. Tillgänglig via: <http://www.unt.se/sigtunabygden/flygbranslet-kommer-fram-pa-omvag-3180902.aspx>, hämtad 2017-12-07.

Uppsala kommun, 2017. *Dagvattenprogram för Uppsala kommun*.

Uppsala Vatten, 2017. *Projekteringsanvisningar för öppna dagvattendammar*.

UL, 2017. *Miljö och hållbarhet*. Tillgänglig via: <https://www.ul.se/sidfot/om-ul/miljo-och-hallbarhet/>, hämtad 2017-12-05.

UNT, 2017. *Nu tar UL bort alla diesel-bussar*. Tillgänglig via: <http://www.unt.se/nyheter/ uppsala/nu-tar-ul-bort-alla-diesel-bussar-4682177.aspx>, hämtad 2017-12-05.

Vattenmyndigheterna, 2016. Riktvärden för PFAS i grundvatten inför kartläggning 2016. Inriktningsbeslut 2016-11-16. Dnr: 537-4640-16.

#### Mailkorrespondens:

Pia Persson Holmberg, 2017. *Miljöskyddshandläggare, Länsstyrelsen Uppsala Län Miljöenheten*. Mailkontakt 2017-12-20.