

God grundvattenkvalitet?

Grundvattenkemi i Bergaåsens grundvattenmagasin

ELVIRA KÄLLBERG 2019
MVEK02 EXAMENSARBETE FÖR KANDIDATEXAMEN 15 HP
MILJÖVETENSKAP | LUNDS UNIVERSITET

E
E



God grundvattenkvalitet?

Grundvattenkemi i Bergaåsens grundvattenmagasin

Elvira Källberg

2019



LUNDS
UNIVERSITET

Elvira Källberg

MVEK02 Examensarbete för kandidatexamen 15 hp, Lunds universitet

Intern handledare: Charlotte Sparrenbom, Geologiska institutionen, Lunds universitet

Extern handledare: Carola Lindeberg, Sveriges geologiska undersökning (SGU)

CEC - Centrum för miljö- och klimatforskning
Lunds universitet
Lund 2019

Abstract

Clean drinking water is a crucial part of a healthy society. During the last decades, a lot of emissions from different sources have put the drinking water sources that are used today at risk of pollution. This study aims to investigate the groundwater chemistry and contamination situation in the aquifer of Bergaåsen in the municipality of Ljungby in Sweden. This is done through analysis of chemistry data recorded between the years of 1993 and 2018. It is done together with an investigation of contaminated areas within the recharge area of the aquifer. The study shows that there are high levels of iron, manganese, PFAS and pesticides in the groundwater. Furthermore, the alkalinity as well as the pH are low in the water. The investigation of contaminated areas shows that there are seven contaminated areas within the catchment area of the groundwater source. These contaminated areas might be the source of the high levels of iron, manganese, copper, PFAS and pesticides, but they might have contaminated the groundwater with substances, that are not analysed for, as well. The study therefore concludes that the groundwater in the aquifer of Bergaåsen is contaminated with unhealthy levels of iron, manganese, pesticides, PFAS, pH and alkalinity, but more analyses must be done to determine how the groundwater can be cleaned to get healthy drinking water.

Innehållsförteckning

Abstract 5

Innehållsförteckning 7

Inledning 9

Syfte och frågeställning 11

Bakgrund 13

Magasinet Bergaåsen Ljungby 13

Bedömningsgrunder och gränsvärden 17

Metod 19

Avgränsning 19

Dataunderlag 19

Analys av kemikaliedata 20

Analys av påverkanskällor 20

Fältbesök 21

Etisk reflektion 21

Resultat 23

Klassificering enligt SGU och Livsmedelsverket 23

Förändring över tid 27

PFAS-ämnen och bekämpningsmedel 36

Fältbesök 40

Påverkanskällor 41

Diskussion 45

Dataanalysen 45

Fältnätningar 47

PFAS-ämnen 49

Bekämpningsmedel 50

Vattenrening 51

Verksamheter 52

Sågverk 52

Förbränningsanläggning 53

Skjutbana 53

Bilverkstad 53

Deponi 54

Stadsmiljö och järnväg 54

Vidare analys och förbättrad provtagning 55

Miljövetenskaplig och samhällsrelevans 56

Slutsats 59

Tack 61

Referenser 63

Bilaga 1 67

Bilaga 2 69

Bilaga 3 75

Bilaga 4 81

Inledning

Grundvattens roll i det svenska samhället är stor, eftersom det utgör hälften av allt dricksvatten (Lång, et.al. 2019). Rent dricksvatten är viktigt ur en hälsoaspekt, då ett för högt samt i vissa fall ett för lågt intag av många ämnen ger hälsoeffekter (Svensson, et.al. 2009). Grundvattnet påverkar dessutom ekosystemen i sjöar och vattendrag (Lång, et.al. 2019). Riksdagen har därför satt upp miljökvalitetsmålet *Grundvatten av god kvalitet*, med definitionen:

”Grundvattnet ska ge en säker och hållbar dricksvattenförsörjning samt bidra till en god livsmiljö för växter och djur i sjöar och vattendrag” (Naturvårdsverket, 2018).

Målet bedöms inte nås med befintliga medel, bland annat eftersom en mängd förorenat grundvatten behöver renas (Naturvårdsverket, 2018). Det är dessutom troligt att det finns förorenat grundvatten som är okänt, då kemin ej är kartlagd i många grundvattenmagasin (Lång, et.al. 2019). Därmed finns risken att dricksvatten tas ur förorenade magasin utan vetskap om föroreningarna (Lång, et.al. 2019).

Det tas dock prover på grundvatten i Sverige. En ämnesgrupp som blivit vanligare att detektera i grundvattenprover är perfluorerade ämnen (PFAS-ämnen) (Banzhaf, et.al. 2017). PFAS är ämnen med fluorerade kolkedjor, vilka har negativa effekter på hälsa och miljö (Banzhaf, et.al. 2017). PFAS-ämnen används i flera produkter, såsom brandsläckningsskum och vattenavstötande textilier och når ekosystemen via punktutsläpp som industrier, reningsverk och deponier, men också via diffusa källor (Banzhaf, et.al. 2017). En annan ämnesgrupp som detekteras i akvifärer runtom i Sverige är bekämpningsmedel (Åkesson, et.al. 2014). Flera olika bekämpningsmedel, från såväl jordbruk som från ogräsbekämpning i städer, har detekterats och öppna grundvattenmagasin med hög porositet har haft högst halter (Åkesson, et.al. 2014).

Studien kommer att fokusera på grundvattenmagasinet Bergaåsen Ljungby, vilket ligger inom stadsbebyggelse. Det bidrar till ett antal påverkanskällor till grundvattenkemin. Vid vinterväglag saltas vissa vägar i Ljungby (Tekniska förvaltningen, 2018). Avrinning av vägsalt bidrar till höjda kloridhalter och konduktiviteter i grundvattnet i närheten av vägar, vilket kan skada grundvattnekosystem (Friedler & Orpher, 2010). Vidare bidrar utsläpp från trafik

och slitage av vägbanor till förhöjda halter av metaller, såsom järn, zink, koppar, bly och kadmium i avrinningsvatten från vägar (Fiedler & Orpher, 2010). Oljespill på vägar kan också göra att PAH och VOC kan ta sig ner i grundvattnet (Friedler & Orpher, 2010). Därutöver kan infiltration av vatten genom vägars konstruktionsmaterial ge förhöjda halter av mangan, magnesium och aluminium i grundvatten (Earon, et.al. 2012). Det sker främst vid nybyggnation av vägar, då infiltrationsförmågan efter asfaltering är mycket låg (Earon, et.al. 2012).

Syfte och frågeställning

Studiens syfte är att utöka kartläggningen av grundvattenkemi och föroreningar i svenska grundvattenmagasin och därigenom minska risken att förorenat vatten används som dricksvatten. Det ska ske genom analys och sammanställande av insamlade kemidata från grundvattenmagasinet Bergaåsen Ljungby i Lagans dalgång, där Ljungby kommun tar dricksvatten (Persson & Magnusson, 2018). Tidigare finns inga liknande kända undersökningar angående grundvattenkemi och föroreningssituation från grundvattenmagasinet. Vidare syfte är att identifiera påverkanskällor som skulle kunna ge upphov till föroreningar i grundvattnet, för att få en förståelse för hur vattnet bör renas samt hur föroreningar kan förebyggas.

Syftet har lett fram till följande frågeställningar:

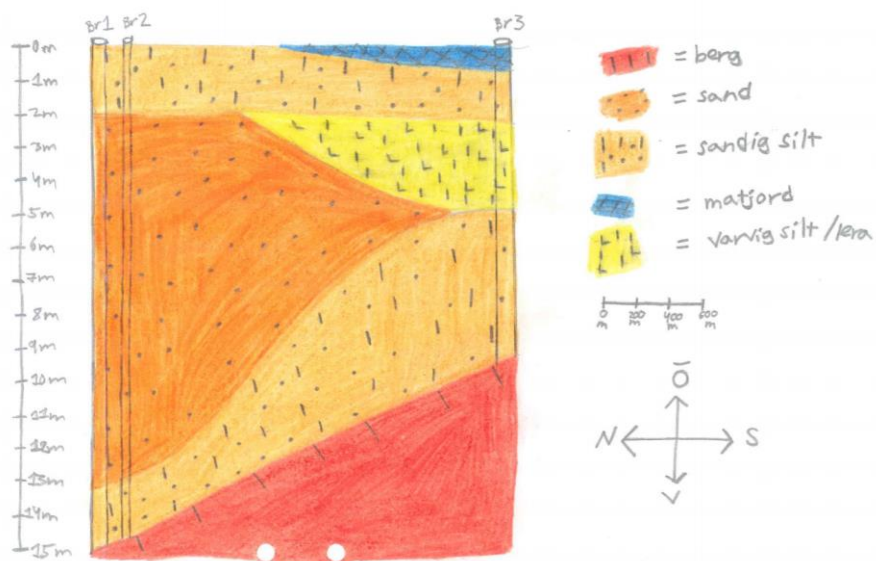
- ❖ Hur ser grundvattenkemin och föroreningssituationen ut i grundvattenmagasinet Bergaåsen Ljungby med avseende på alkalinitet, kalcium, magnesium, klorid, pH, mangan, järn, PFAS-ämnen och bekämpningsmedel?
- ❖ Vilka påverkanskällor finns som kan förklara förekomsten av ämnena i grundvattnet?
- ❖ Ger de analyser av grundvattnen som görs i vattentäkten en tillräcklig bild av grundvattenkemin och föroreningssituationen i grundvattenmagasinet Bergaåsen Ljungby för att kunna säkerställa grundvattnets kvalitet?

Bakgrund

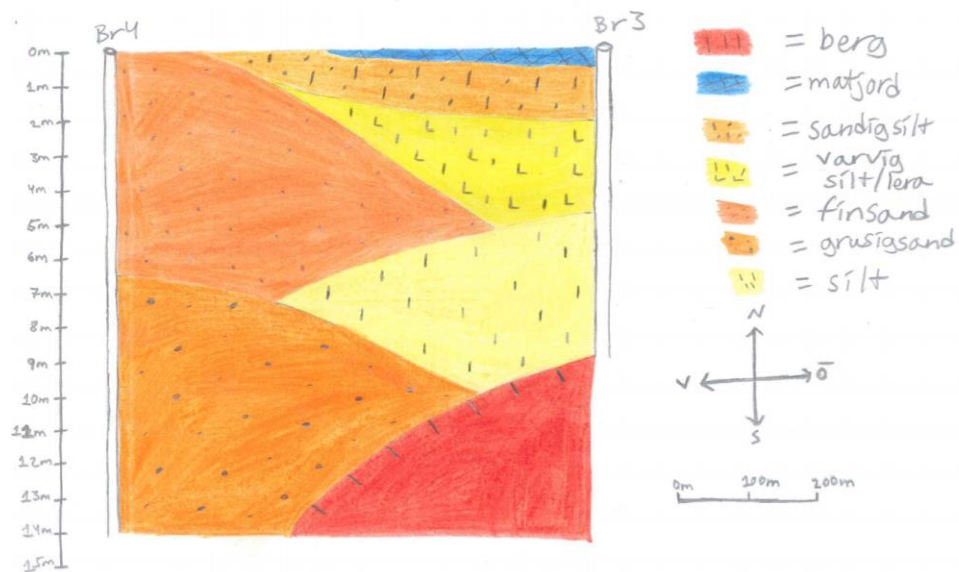
Magasinet Bergaåsen Ljungby

Magasinet Bergaåsen Ljungby ligger väster om ån Lagan i Ljungby kommun (Persson & Magnusson, 2018). Magasinet består av isälvssediment i form av sand med inslag av grus och är bitvis överlagrat med finkorniga issjösediment (Persson & Magnusson, 2018). Den underlagrande berggrunden utgörs av en fin till medelkornig, röd till rödgrå granitisk åldersgnejs (Wik, et.al. 2009). Magasinet lagerföljd syns från norr till söder i figur 1 och från väst till öst i figur 2. Magasinet sträcker sig från en fast grundvattendelare norr om Ljungby där berget går i dagen och får grundvattnet att strömma åt två håll, till en administrativ grundvattengräns i söder och omgärdas av moränområden (Persson & Magnusson, 2018). Inom magasinet finns förutom isälvssediment och issjösediment även områden med morän, svämsediment, berg i dagen och torv (figur 3). Inströmning till magasinet sker via angränsande moränområden samt via regn på området (Persson & Magnusson, 2018). Strömningsriktningen för vattnet är från nordväst mot sydost (figur 4). Dock är riktningen mer sydlig i de norra delarna av magasinet och mer östlig i de södra delarna av magasinet. Grundvattnet strömmar mot Lagan (figur 4).

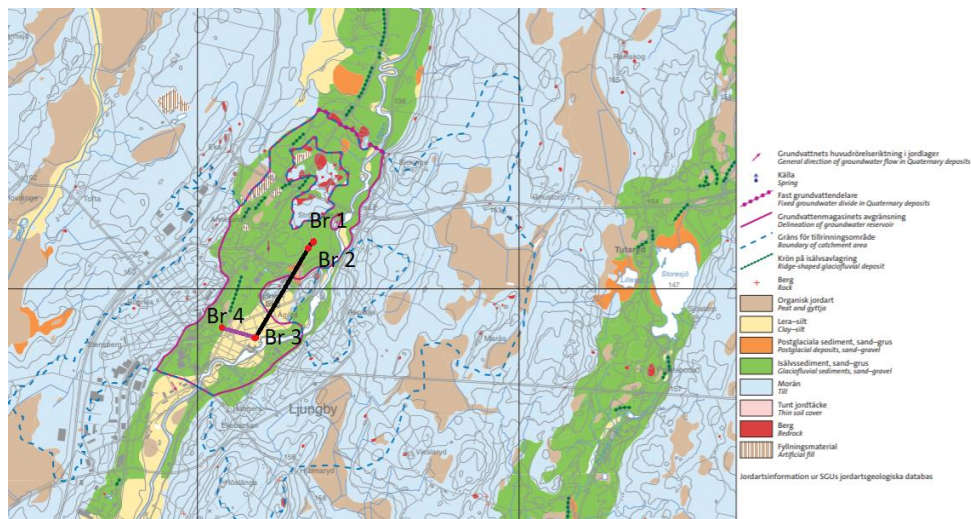
Då magasinet består av sand har det hög permeabilitet och bra vattenförande förmåga (Fetter, 2014). Sveriges geologiska undersökning (SGU) har bedömt en uttagsmöjlighet på 25–125 l/s ur magasinet (Persson & Magnusson, 2018). Ur magasinet tas dricksvattnen till Ljungby kommun och det har därför haft ett vattenskyddsområde sedan år 1964, se figur 5 (Persson & Magnusson, 2018).



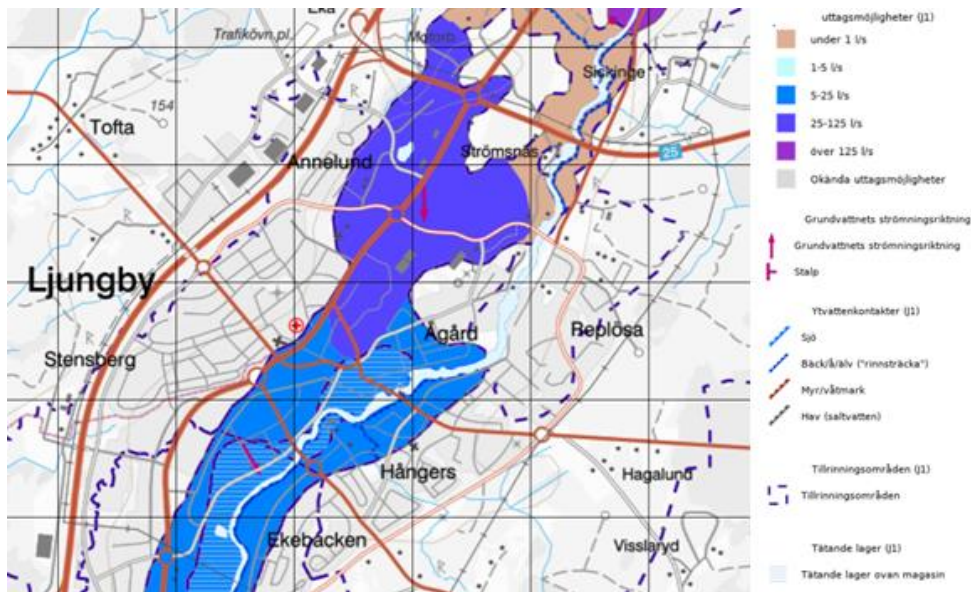
Figur 1 Figuren visar jordprofilen för magasinet i genomskärning från norr till söder mellan borrhål ett och tre, se figur 3. Figur: Elvira Källberg,



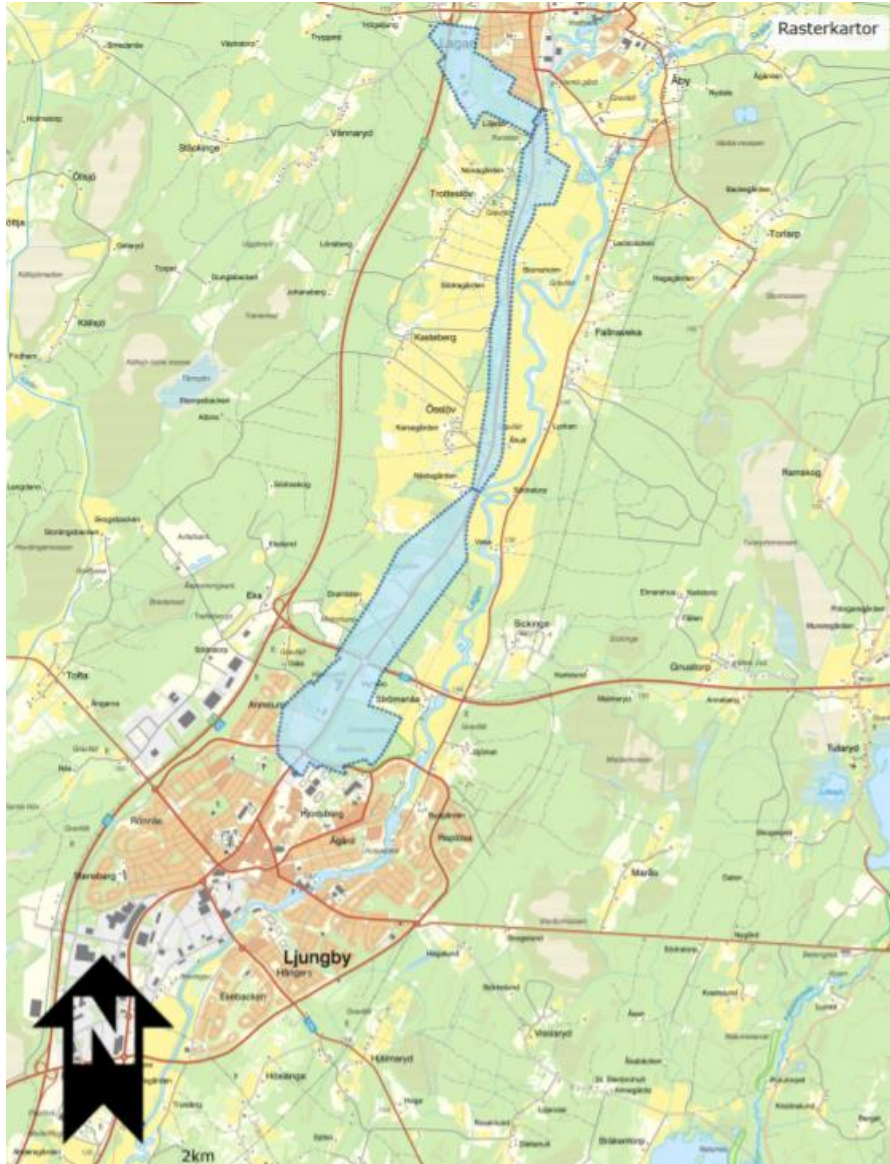
Figur 2 Figuren visar jordprofilen för magasinet i genomskärning från väst till öst mellan borrhål tre och fyra, se figur 3. Figur: Elvira Källberg



Figur 3 Jordartskarta över grundvattenmagasinet Bergaåsen Ljungby och dess tillrinningsområde. I figuren finns sträckningen för jordprofilen från norr till söder markerad med svart och profilen från väst till öst markerad med lila. Borrhålen är markerade i rött. Karta: Persson & Magnusson 2018, modifierad av Elvira Källberg.



Figur 4 Grundvattenkarta över grundvattenmagasinet Bergaåsen Ljungby och dess tillrinningsområde. Karta: SGU-kartvisare grundvatten.



Figur 5 I kartan är vattenskyddsområdet till vattentäkten Djupadal markerat i blått. Vattenskyddsområdet sträcker sig norr ut längs med Bergaåsens kärna. Karta: Länsstyrelserna IT-enheterna.

Bedömningsgrunder och gränsvärden

SGU:s *bedömningsgrunder för grundvatten* (Maxe, et.al. 2013) är ett verktyg för att klassa grundvattenförekomsternas kvalitet och kvantitet lika i hela Sverige, utifrån vad förekomstens vatten har för effekter på hälsa, miljö och tekniska installationer (Maxe, et.al. 2013). Bedömningsgrunderna klassificerar vattnet i klasser efter halten av olika ämnen (Maxe, et.al. 2013). Gränserna för klasserna har utgått från *Livsmedelsverkets föreskrifter om dricksvatten (LIVSFS 2011:3)* samt *Socialstyrelsens riktvärden för enskild vattenförsörjning (SOSFS:17 (M))* (Maxe, et.al. 2013). Även bakgrundshalter, tidigare bedömningsgrunder (NV Rapport 4915) och *Riktvärde för grundvatten & utgångspunkt för att vända trend* (SGU-FS 2013:2) har tagits i beaktande vid upprättande av klassgränserna (Maxe, et.al. 2013). Graderingen av klasserna är från mycket låg halt (1) till mycket hög halt (5) och varje gräns ska sammanfalla med någon effekt i grundvattnet (Maxe, et.al. 2013). Det medför att de lägre klassgränserna generellt motsvarar inga eller mindre effekter i ekosystem, medan de högre gränserna motsvarar hälsoeffekter på människa (Maxe, et.al. 2013).

Livsmedelsverkets föreskrifter om dricksvatten (LIVSFS 2017:2) beskriver hur dricksvatten ska beredas och vilken kvalitet det ska ha för att vara godkänt (Livsmedelsverket, 2017). Föreskrifterna innehåller gränsvärden för när ett dricksvatten räknas som otjänligt respektive tjänligt med anmärkning med avseende på flertalet parametrar (Livsmedelsverket, 2017). Utöver föreskrifterna har Livsmedelsverket satt upp gränsvärden för PFAS-ämnen, vilka säger att åtgärder ska vidtas för vatten som innehåller mer än 90 ng/l av en grupp av sju stycken (senare elva) PFAS-ämnen kallad PFAA7 (Livsmedelsverket, 2018).

Metod

Avgränsning

Många grundvattenmagasin i Sverige saknar analys av grundvattenkemi och föroreningar. För flera av dem finns det data som ska analyseras av SGU. Det här arbetet ska bidra analyserna, men har avgränsats till grundvattenmagasinet Bergaåsen Ljungby i Ljungby kommun och till att endast behandla den grundvattenkemidata som SGU tillhandahållit, samt data från 2018 som fåtts av Ljungby kommun. I analys av påverkanskällor och kemins ursprung har främst de ämnen och parametrar som förekommer i höga halter i förhållande till *SGU:s bedömningsgrunder för grundvatten (2013:01)* och *Livsmedelsverkets föreskrifter om dricksvatten (LIVSFS 2017:2)*, samt ämnen rekommenderade av SGU undersökts. Det innefattar järn, mangan, pH, PFAS-ämnen, pesticider, alkalinitet, klorid, kalcium och magnesium. Det har även gjorts en analys av förorenade områden för att avgöra vilka ytterligare ämnen som bör analyseras för.

Dataunderlag

Det dataunderlag som givits av SGU och Ljungby kommun består av 757 analyser av olika ämnen från vattentäkten Djupadal i naturreservatet Kronoparken. Vattentäkten är en större vattentäkt i jordlager med naturlig grundvattenbildning (Persson & Magnusson, 2018). Samtliga prover är tagna mellan år 1993 och 2018 och antalet analyser varierar mellan olika ämnen. Några ämnen har provtagits två gånger om året, i mars och september (oktober år 2006), medan andra ämnen provtagits mer sällan. Bekämpningsmedel har provtagits i juni år 1993 och 2003 samt i januari år 2006, dock har inte alla medel provtagits vid samtliga tidpunkter. PFAS-ämnen har provtagits i maj 2014 och i april 2016. Osäkerheter i analysvärdena finns inte angivna och har därmed inte kunnat tas hänsyn till i form av felmarginaler i analyserna. För samtliga tagna prover, se bilaga 1.

Analys av kemikaliedata

Studien har genomförts genom analys av grundvattenkemidata som SGU sammanställt för magasinet Bergaåsen Ljungby, samt av data från år 2018 som getts av Ljungby kommun. Analysen gjordes i Microsoft Excel. Det undersöktes vilka ämnen som förekommer i höga halter i förhållande till *SGU:s bedömningsgrunder för grundvatten (2013:01)* samt till *Livsmedelverkets föreskrifter om dricksvatten (LIVSFS 2017:2)* i proverna. Vidare plottades data för de ämnen som det tagits kontinuerliga prover för över tid och R^2 -värden beräknades för trenderna. PFAS-ämnen och bekämpningsmedel analyserades genom att undersöka när prover av ämnena tagits, vilka ämnen som förekom i vilka mängder och när något av ämnena förekommit i halter över gränsvärdena.

Analys av påverkanskällor

En analys över påverkanskällor i området och deras effekter på grundvattnet har gjorts. Information kring förorenade områden i Ljungby kommun har tillhandahållits av länsstyrelsen i Kronoberg. Generell information om de olika påverkanskällorna samt de verksamheter som gett upphov till de förorenade områdena har sökts i myndighetsrapporter från SGU och Naturvårdsverket, samt via sökmotorerna LUBsearch och Google Scholar under april och maj 2019. Exempel på sökord som använts vid sökningar är PFAS AND groundwater AND Sweden och Pesticides AND groundwater AND Sweden. Vidare har platsspecifik information getts via Ljungby kommuns hemsida, då ingen vetenskaplig litteratur behandlar information om platsen. Mailkontakt har också upprättats med Ljungby kommun. Slutligen har kartmaterial från SGU samt Länsstyrelsen i Kronoberg använts.

Fältbesök

Ett fältbesök gjordes i Ljungby kommun den 29:e april 2019. Vattentäkten Djupadal där samtliga vattenprover tagits besöktes. Vattennivån och temperaturen mättes i grundvattenrör runt om vattentäkten med ett ljuslod. I vattentäkten gjordes inga mätningar då inget tillstånd fanns. Utöver mätningarna kring vattentäkten besöktes några av de identifierade förorenade områden. Det gjordes besök vid Ljungby gamla skjutbana, Ljungby gamla soptipp, Ljungby brandstation, Ljungby energi och Ljungby sågverk. Vidare passerades det genom Ljungby industriområde där ytterligare förorenade områden identifierats. De ligger inom grundvattenmagasinet men utanför tillrinningsområdet till vattentäkten.

Etisk reflektion

Då arbetet analyserar redan tagna prover, är den största etiska aspekten hur resultatet presenteras. Om vattnet i grundvattenmagasinet visar sig vara förorenat och invånarna i Ljungby druckit det under en lång tid, kan det skapa oro. Det är därför viktigt att det även presenteras lösningar på hur vattnet kan renas. Då proverna tagits i en kommunal vattentäkt påverkar vattnet många människor och rening från de föroreningar som kan finnas är viktig. Resultatet från studien bidrar därmed till möjligheter att undvika att människor får i sig skadliga ämnen via dricksvattnet. Därmed är det ur en etisk synvinkel betydelsefullt att studien genomförs och att dess resultat tas i beaktande av Ljungby kommun, men resultatet ska presenteras så det inte skapar onödig oro.

Resultat

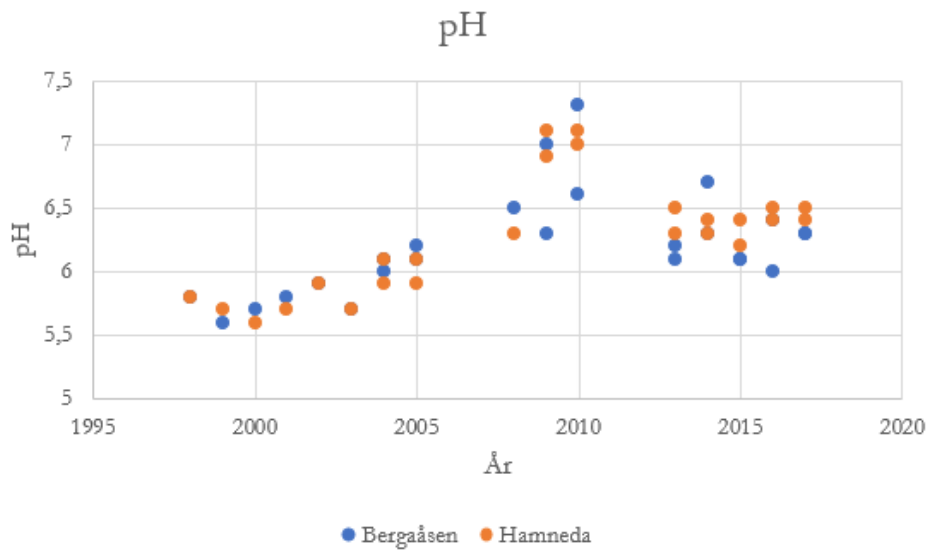
Klassificering enligt SGU och Livsmedelsverket

De flesta analyserade ämnena förekommer i låga halter i grundvattnet i magasinet och klassificeras som klass 1 eller 2 enligt SGU:s *bedömningsgrunder för grundvatten (2013:01)*, samt tjänligt enligt *Livsmedelsverkets föreskrifter om dricksvatten (LIVSFS 2017:2)*. För natrium, järn, nitrat och mangan är dock halterna högre och de klassificeras i klass 3 respektive 4. För järn finns det tre värden som bedömts hamna i klass 5. De är tagna i mars 2004, september 2013 och mars 2014. Även med avseende på pH och alkalinitet har vattnet klassificerats i klass 3 och 4 enligt bedömningsgrunderna, då parametrarna uppvisar lägre värden än önskvärt. Enligt Livsmedelsverkets riktvärden räknas vattnet som tjänligt med anmärkning med avseende på pH, järn och mangan, samt i enstaka fall koppar och nitrat. Enligt Livsmedelsverkets föreskrifter räknas även ett vattenprov som otjänligt med avseende på PFAS-ämnen och 30 prover som otjänliga med avseende på bekämpningsmedel. I tabell 1 syns halter och klassningar för några ämnen. Samtliga analysvärden återfinns i bilaga 2. I bilaga 3 finns alla analysvärden som ligger över Livsmedelsverkets gränsvärden för tjänligt vatten med anmärkning. I figur 6–9 syns jämförelser för pH (figur 6), järn (figur 7), mangan (figur 8) och alkalinitet (figur 9) mellan Bergaåsens grundvattenmagasin och magasinet Hamneda, vilket ligger längre söderut i Lagans dalgång.

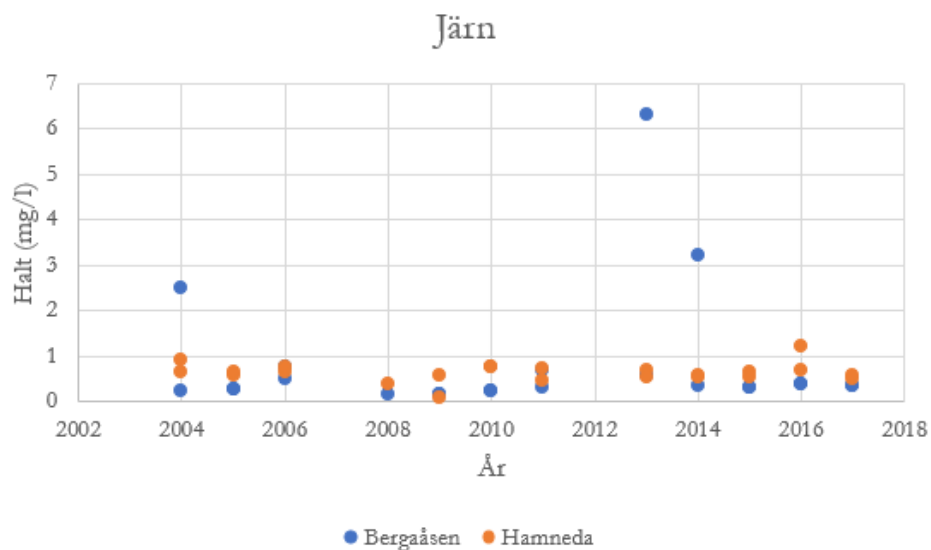
Tabell 1 Tabellen visar halter samt klassning enligt SGU:s bedömningsgrunder för grundvatten (2013:01) samt Livsmedelsverkets fökrifter om dricksvatten (LIVSFS 2017:2). Data: SGU.

Parameter	Halter	Bedömning SGU	Bedömning Livsmedelsverket	Gräns tjänligt med anmärkning	Gräns otjänligt
pH	5,6–7	4 prover klass 3 23 prover klass 4	5 tjänliga prover 26 tjänliga prover med anmärkning	<6,5 >9,5	10,5
Mangan	0,053–0,15 mg/l	11 prover klass 2 14 prover klass 3	25 tjänliga prover med anmärkning	0,05 mg/l	
Järn	0,22–6,3 mg/l	3 prover klass 2 16 prover klass 3 3 prover klass 4 3 prover klass 5	25 tjänliga prover med anmärkning	0,1 mg/l	
Koppar	0,005–0,53 mg/l	9 prover klass 1 14 prover klass 2 2 prover klass 3	23 tjänliga prover 2 tjänliga prover med anmärkning	0,2 mg/l	2 mg/l
Nitrat	4,873–20 mg/l	1 prov klass 2 30 prover klass 3	30 tjänliga prover 1 tjänligt prov med anmärkning	20 mg/l	50 mg/l
Alkalinitet	23–39 mg HCO ₃ /l	15 prover klass 3 16 prover klass 4	Finns ej gränsvärde		
Kalcium	7,5–13 mg/l	16 prover klass 1 15 prover klass 2	31 tjänliga prover	100 mg/l	
Magnesium	3,5–5,5 mg/l	28 prover klass 2 3 prover klass 3	31 tjänliga prover	30 mg/l	
Klorid	28–46 mg/l	31 prover klass 2	31 tjänliga prover	100 mg/l	
PFAA7	98 ng/l	Finns ej i bedömningsgrunderna	1 otjänligt prov		90 ng/l

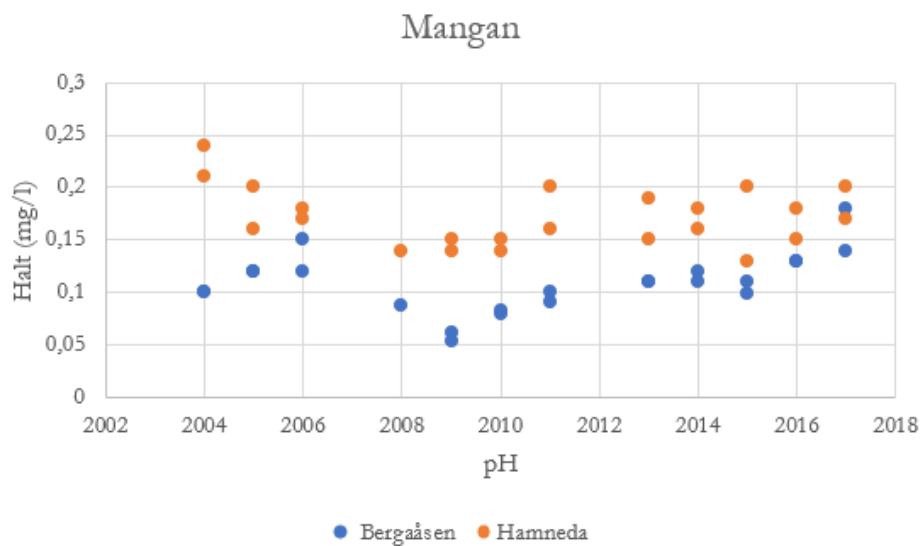
Bekämpningsmedel	0,025–0,25 µg/l	Finns ej i bedömningsgrunderna	30 otjänliga prover 139 tjänliga prover		0,1 µg/l Aldrin, dieldrin, heptaklor heptakloreoxid: 0,03 µg/l
-------------------------	-----------------	--------------------------------	--	--	--



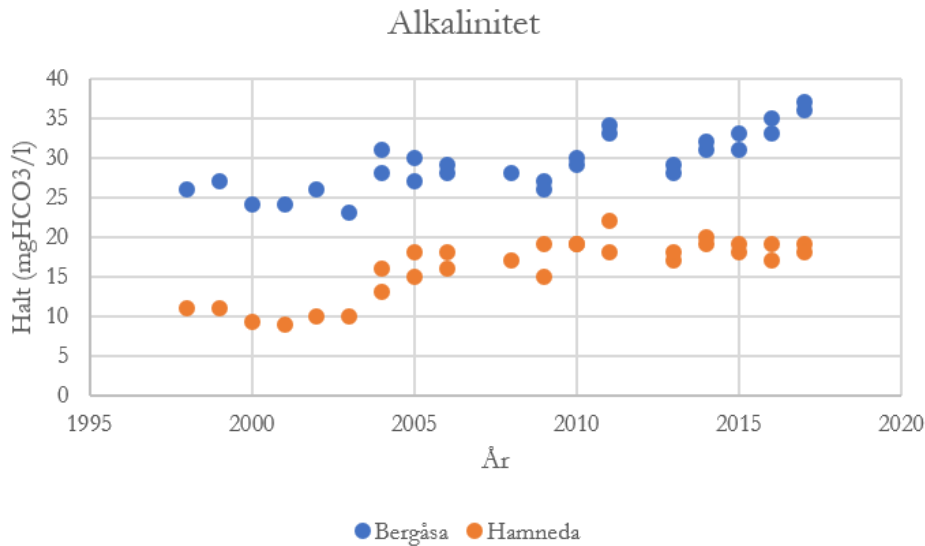
Figur 6 pH-värdena i grundvattenmagasinet Bergaåsen liknar värdena i grundvattenmagasinet Hamneda. Data: SGU



Figur 7 Halterna järn i grundvattenmagasinet Bergaåsen liknar halterna i magasinet Hamneda. Undantaget är tre värden i magasinet Bergaåsen, vilka är betydligt högre än några andra uppmätta halter. Data: SGU



Figur 8 Halterna av mangan är generellt lägre i grundvattenmagasinet Bergaåsen än i magasinet Hamneda. Data: SGU

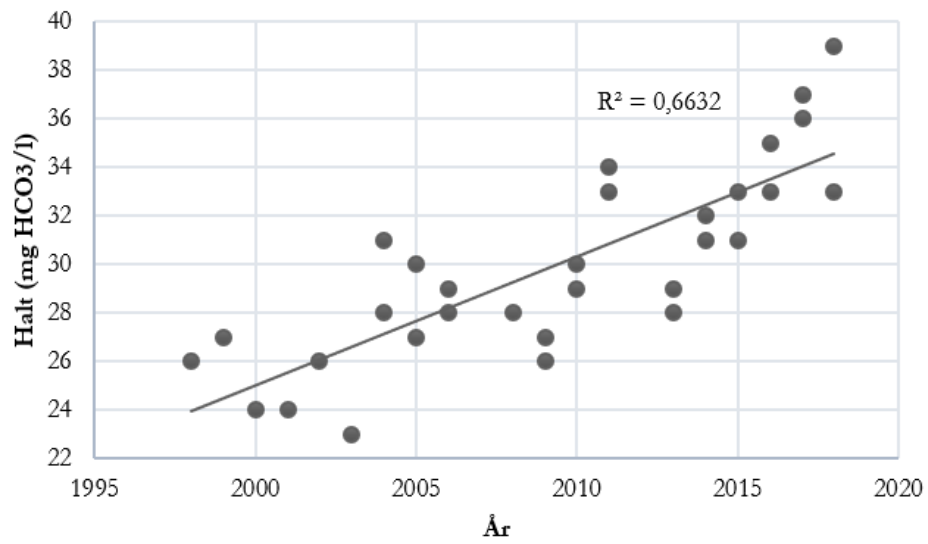


Figur 9 Alkaliniteten är betydligt högre i grundvattenmagasinet Bergåsen än i grundvattenmagasinet Hamneda. Data: SGU

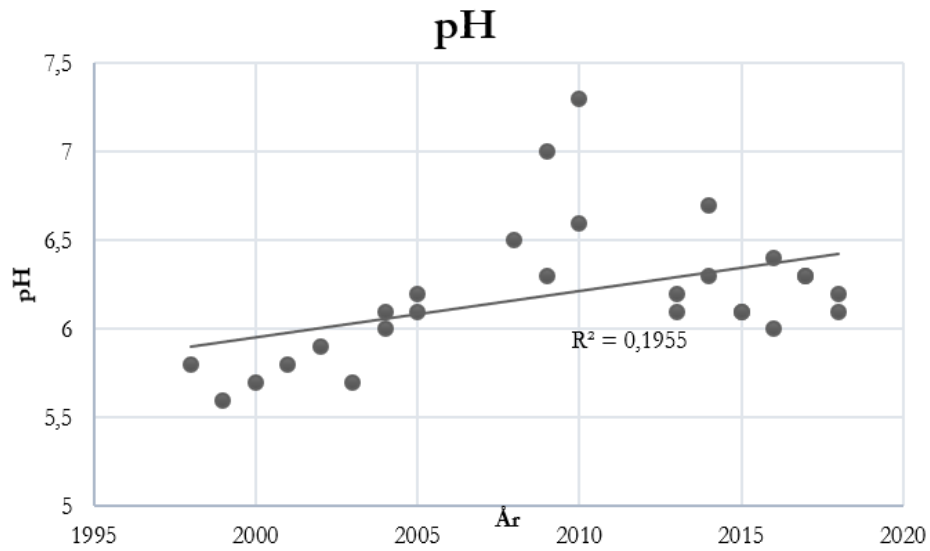
Förändring över tid

De analyserade parametrarna har visat på olika trender under analysåren. Generellt har värdena varierat upp och ner, vilket har gjort att endast trenden för alkalinitet kan räknas som signifikant (figur 6). Övriga parametrar har R^2 -värden som ligger under 0,2, vilket tyder på utspridda datapunkter. Vad som kan sägas är att pH-värdena är låga men att de steg fram till år 2010 och sedan blev lägre igen (figur 7). Halterna järn (figur 8) och koppar (figur 9) är låga, med undantag för några enstaka, utstickande värden. Halterna mangan är väldigt utspridda, men har ökat något (figur 10) medan halterna klorid (figur 11), kalcium (figur 12) och magnesium (figur 13) är spridda men indikerar att de sjunkit något. Plottar för övriga analyserade ämnen återfinns i bilaga 4.

Alkalinitet

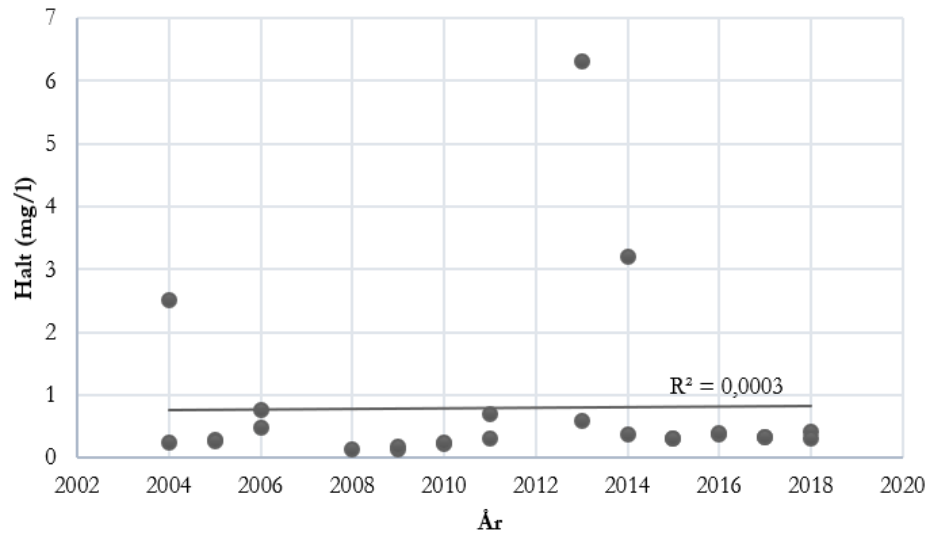


Figur 10 Trenden för alkalinitet är signifikant uppåtående, $R^2=0,6632$. Data: SGU



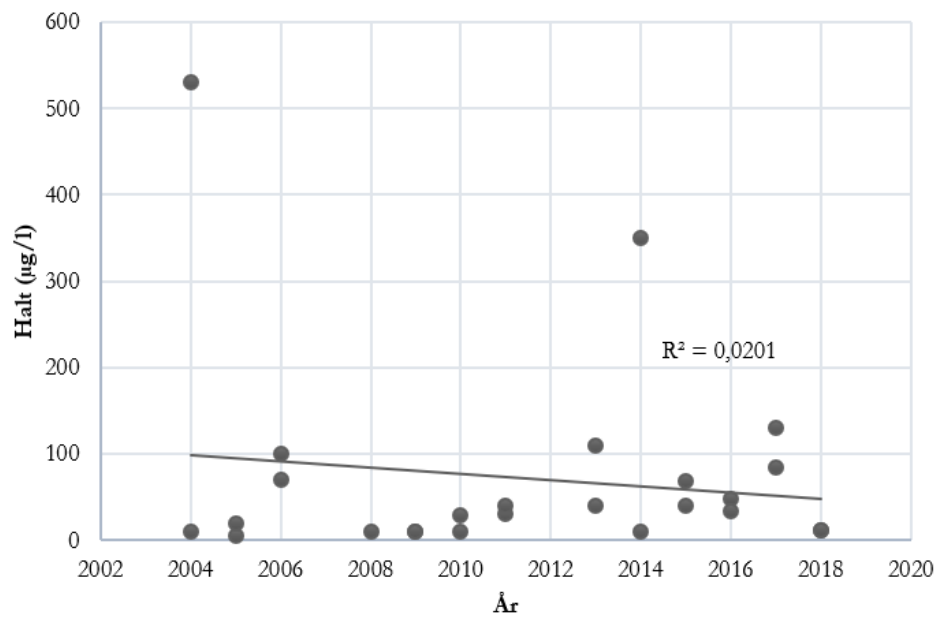
Figur 11 pH-värdena i vattnet har en uppåtgående trend fram till år 2010, vartefter trenden vänder. pH-värdena låga i grundvattnet, men vändningen gör att det inte finns någon signifikant trend, $R^2=0,1955$. Trenden är dock signifikant fram till år 2010, $R^2=0,7678$. Därefter finns ingen signifikant trend, $R^2=0,0185$. Data: SGU

Järn



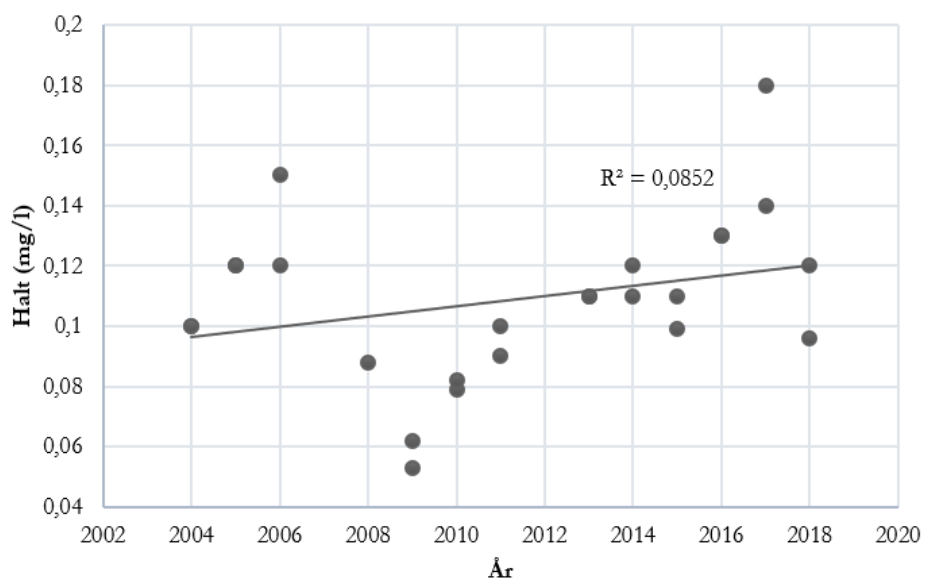
Figur 12 Halten järn i vattnet är stabil, med undantag för tre högre värden. De gör att det inte finns någon signifikant trend, $R^2=0,0003$. Data: SGU

Koppar

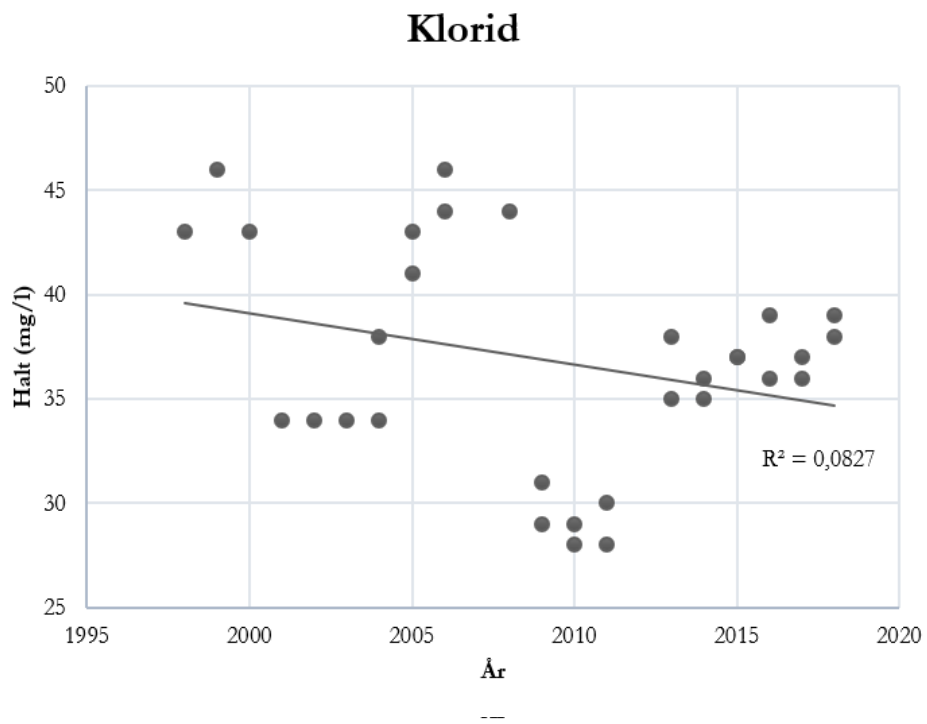


Figur 13 Halten koppar i vattnet är låg och stabil, med undantag för två utstickande värden år 2004 och 2014. De gör att det inte finns någon signifikant trend, $R^2=0,0201$. Data: SGU

Mangan

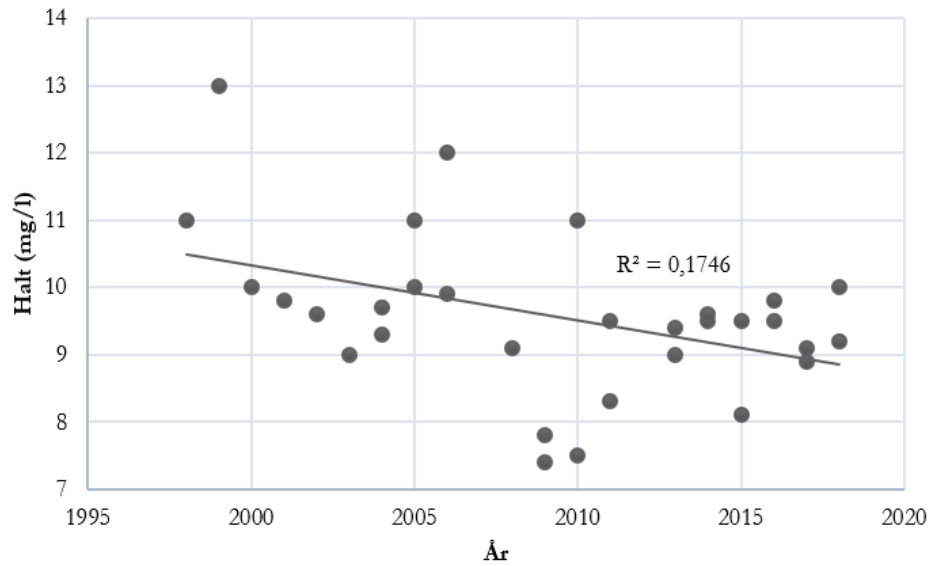


Figur 14 Halten mangan i vattnet har varierat upp och ned, men har varit uppåtgående sedan år 2009. De finns ingen signifikant trend för hela tidsintervallet, $R^2=0,0852$ och inte heller mellan år 2009 och år 2018, $R^2=0,4349$. Data: SGU



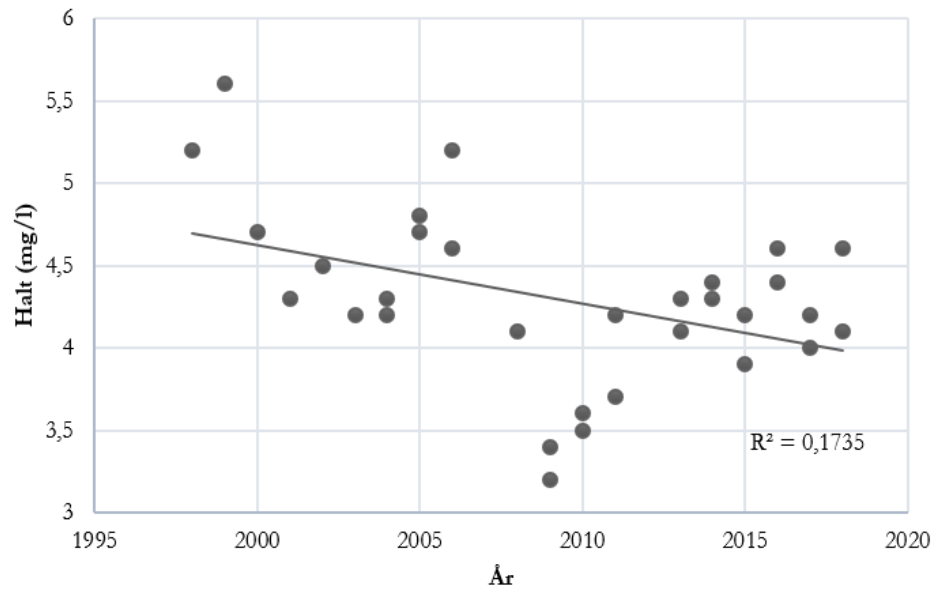
Figur 15 Halten klorid har varierat under analysperioden, men sjunkit något. Det finns ingen signifikant trend, $R^2=0,0827$. Data: SGU

Kalcium



Figur 16 Halten kalcium i vattnet har sjunkit med tiden. Dock är den nedåtgående trenden ej signifikant, $R^2=0,1746$. Data: SGU

Magnesium

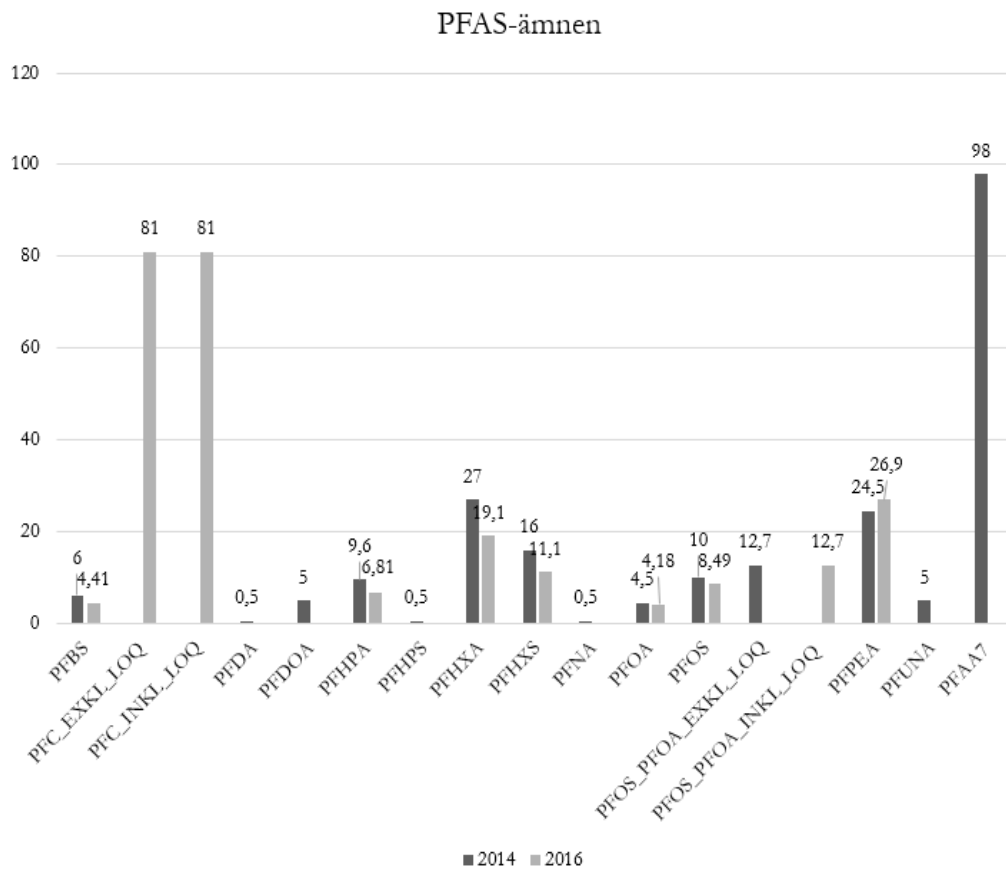


Figur 17 Halten magnesium har sänkts med tiden. Dock är den nedåtgående trenden inte signifikant, $R^2=0,1735$. Data: SGU

PFAS-ämnena och bekämpningsmedel

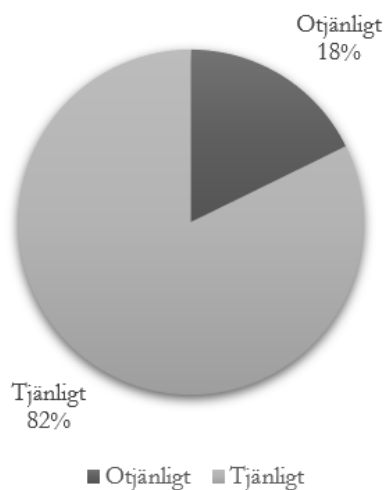
Vid analyserna av grundvattnet detekterades PFAS-ämnena och bekämpningsmedel. I maj år 2014 uppmättes en totalhalt av sju stycken PFAS-ämnena, PFAA7, på 98 ng/l, vilket är över Livsmedelsverkets gränsvärden för tjänligt dricksvatten. För de respektive PFAS-ämnena finns inga gränsvärden, men 13 ämnena detekterades i vattnet. Av dem detekterades sju ämnena både i maj år 2014 och i april år 2016 och mellan de åren hade halterna av samtliga ämnena utom PFPEA sjunkit. Halten PFPEA hade ökat från 24,5 ng/l till 26,9 ng/l (figur 14).

Gällande bekämpningsmedlen gjordes 169 analyser av 127 olika ämnena fördelade mellan juni år 1993, juni år 2003 och januari år 2006. 30 analyser översteg Livsmedelsverkets föreskrifter för tjänligt dricksvatten (figur 15). Samtliga prover som översteg gränsvärdena togs i juni 1993 och av dem har bara bitertanol och hexazinon provtagits igen (tabell 2). De halterna hade då sjunkit till halter under gränsvärdena för tjänligt dricksvatten.



Figur 18 Flera PFAS-ämnen har identifierats i grundvattnet vid analyser år 2014 och 2016. Alla ämnen analyserades inte vid båda tillfällena och halterna av de olika ämnena skilde sig åt, men halten av samtliga analyserade ämnen utom PFPEA sjönk mellan de två analysåren. Samlingsgruppen PFAA7 låg år 2014 över Livsmedelsverkets gränsvärde på 90 ng/l. Data: SGU

Bekämpningsmedelsanalyser



Figur 19 I 18 % av de analyserade bekämpningsmedelsproverna är halterna bekämpningsmedel högre än Livsmedelsverkets värden för tjänligt dricksvatten. Data: SGU

Tabell 2 Tabellen listar de bekämpningsmedel som år 1993 detekterades i halter över Livsmedelsverkets gränsvärde för otjänligt dricksvatten. Data: SGU

Ämne	Halt (µg/l)
Aldrin	0,05
Bitertanol*	0,2
Bupirimat	0,25
Cypermترین	0,1
Desmetryn	0,1
Dieldrin	0,05
Etiofenkarb	0,1
Etrimfos	0,1
Fenpropimorf	0,15
Fenvalerat	0,1
Fluroxiپyr	0,1
Heptaklor	0,05

Heptaklorepoxid	0,05
Hexazinon*	0,1
Karbaryl	0,25
Klopyralid	0,15
Klorprofam	0,25
Klorpropylat	0,25
Mefosfolan	0,15
Metalaxyl	0,15
Penkonazol	0,25
Promekarb	0,25
Propaklor	0,1
Propikonazol	0,1
Propyzamid	0,1
Terbacil	0,1
Triadimefon	0,1
Triadimenol	0,25
Triazofos	0,1

*Har vid senare tillfällen uppmätts i halter under gränsvärdet för otjänligt dricksvatten.

Fältbesök

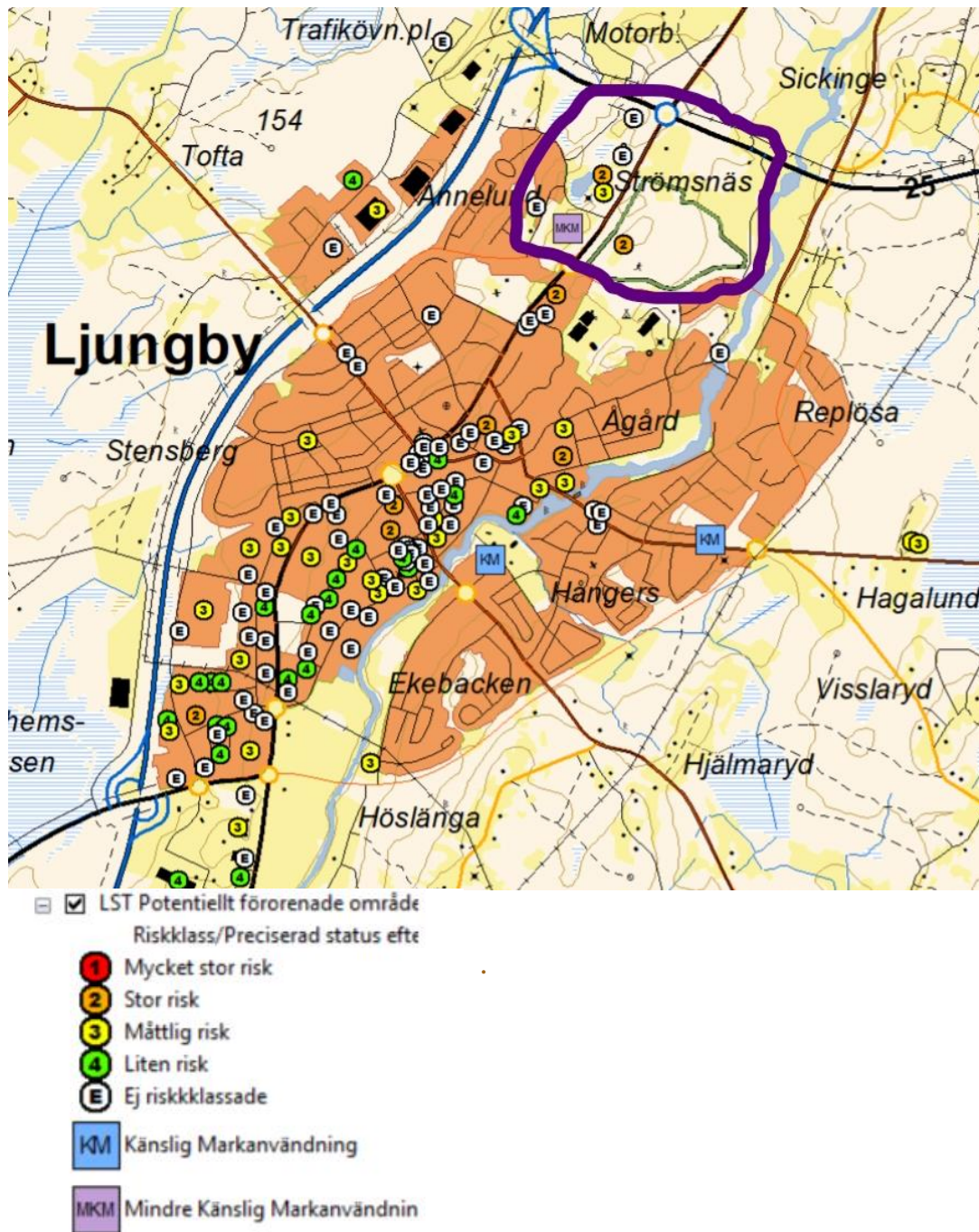
Grundvattennivåerna som mättes vid fältbesöket den 29:e april 2019 var lägre än vid tidigare mätningar av SGU den 19:e augusti 2010. I tre av rören detekterades inget vatten överhuvudtaget vid fältbesöket och de antogs vara torrlagda. För samtliga resultat, se tabell 3.

Tabell 3 Tabellen visar de uppmätta grundvattennivåerna i grundvattenrören kring vattentäkten Djupadal vid fältbesöket i april år 2019, samt av SGU tidigare uppmätta grundvattenytor i augusti år 2010. Data: SGU

Grund- vatten- rör	Grundvattenyta 2010 (m)	Grundvattenyta 2010 (möh)	Grundvattenyta 2019 (m)	Grundvattenyta 2019 (möh)	Temperatur 2019 (°C)
0806	6,88	136,476	7,35	136,006	8
0802	8,10		11,50 (botten, torr)		
RB 6	7,59	136,872	7,91	136,552	7,9
8204			6,8		8,7
8203	5,61		5,50 (botten, torr)		
8202			3,98 (botten, torr)		
0809	6,13	136,287	7,56	134,857	7,4
0812	5,82	136,322	5,85	133,332	7,6

Påverkanskällor

Inom grundvattenmagasinet Bergaåsen Ljungby förorenade områden identifierats, vilka kan påverka grundvattnet (se figur 16). I tillrinningsområdet till vattentäkten finns sju förorenade områden, vilka beskrivs närmare i tabell 4 och finns markerade i figur 16. För dem har branschtypiska föroreningar identifierats. Utöver de förorenade områdena bidrar grundvattenmagasinet läge till påverkanskällor. Dels ligger stora delar av magasinet inom stadsbebyggelse, vilket ger påverkan i form av mänsklig aktivitet. Vid platsbesök syns det till exempel att det går en större bilväg precis intill Kronoparken där vattentäkten är placerad, samt att det tidigare gått en järnväg öster om parken. Dessutom påverkar kemin hos de jordarter och den berggrund som utgör magasinet och dess tillrinningsområde kemin i grundvattnet (se figur 3).



Figur 20 Förorenade områden i Ljungby kommun. Områdena inom den lila markeringen ligger inom tillrinningsområdet till vattentäkten. Karta: Länsstyrelserna, geodatakatalogen

Tabell 4 Tabellen beskriver de förorenade områden som ligger inom tillrinningsområdet till vattentäkten. Data: Länsstyrelsen Kronoberg

Primär verksamhet	Sekundär verksamhet	Riskklass	Status	Associerade ämnen
Sågverk med doppning	Uppgift saknas	Mindre känslig mark-användning	Åtgärd avslutad	Klorfenoler, dioxiner, dibenzofuraner, petroleumprodukter, oljor, färg, avfettningsmedel, arsenik, koppar, krom, zink, kreosot, ammoniumalkaliska kopparföreningar, organiska tennföreningar, organiska fungicider, DDT, DDD, DDE, Lindan
Förbränningsanläggning	Uppgift saknas	Uppgift saknas	Identifiering avslutad, ingen åtgärd	Arsenik, bly, kadmium, kobolt, koppar, krom, kvicksilver, mangan, nickel, vanadin, zink, klorerade dioxiner, bromerade dioxiner, klorerade furaner, bromerade furaner
Skjutbana kullor	Uppgift saknas	Klass 2	Identifiering avslutad – förstudie ej påbörjad	Bly, PAH
Skjutbana kullor	Uppgift saknas	Klass 2	Identifiering avslutad – förstudie ej påbörjad	Bly, PAH
Bilvårdsanläggning bilverkstad samt åkerier	Drivmedels-hantering	Uppgift saknas	Identifiering avslutad – ingen åtgärd	Kolväten, oljorm färg, lim, lösningsmedel

Brandövnings- plats	Uppgift saknas	Klass 3	Identifiering avslutad – ingen åtgärd	PFAS-ämnen
Avfallsdeponier – icke farligt, farligt avfall	Uppgift saknas	Uppgift saknas	Identifiering avslutad – inventering ej påbörjad	Blandade miljögifter

Diskussion

Studien visar att halterna järn, mangan, PFAS-ämnen och bekämpningsmedel i grundvattnet i Bergaåsens grundvattenmagasin är höga, samt att pH-värdena och alkaliniteten i grundvattnet är lägre än önskvärt enligt *SGU:s bedömningsgrunder för grundvatten (2013:01)*. Halterna kalcium, magnesium och klorid är låga enligt *SGU:s bedömningsgrunder för grundvatten (2013:01)*. Studien visar även att det finns sju förorenade områden inom tillrinningsområdet till den vattentäkt där studiens analyser gjorts. Det konstateras att fler analyser skulle behöva göras för att avgöra hur de förorenade områdena påverkar grundvattenkvaliteten.

Dataanalysen

Analysen av data över grundvattenkemin och föroreningssituationen i grundvattenmagasinet Bergaåsen i Ljungby kommun visar att det finns höga halter järn och mangan i vattnet, samt att alkaliniteten och pH-värdena är låga jämfört med *SGU:s bedömningsgrunder för grundvatten (2013:01)*. Därutöver finns det enstaka prover med höga halter koppar och nitrat, samt uppmätta halter bekämpningsmedel och PFAS-ämnen i vattnet. Bekämpningsmedel och PFAS-ämnen förekommer inte naturligt i grundvatten, utan tyder på mänsklig påverkan. Järnhalten, manganhalten, kopparhalten, nitrathalten, pH-värdena och alkaliniteten kan ha naturliga förklaringar.

Vid jämförelse med grundvattenmagasinet Ljungbyåsen Hamneda, vilket är beläget söderut längsmed Lagan, syns ungefär samma pH-värden i båda magasinen (figur 6). Även järnhalten är ungefär densamma, undantaget tre högre värden i Bergaåsen (figur 7). Manganhalten är högre i Hamneda än i Bergaåsen (figur 8) och alkaliniteten är lägre i Hamneda än i Bergaåsen (figur 9). Att de värden som är högt riskklassade i Bergaåsens grundvattenmagasin är lika eller ännu högre respektive lägre i Ljungbyåsen Hamneda tyder på att parametrarna är ett generellt problem i området. De kan därmed förklaras med att ämnena förekommer i höga halter i berggrunden och jordlagren. Den låga alkaliniteten kan förklaras av att de låga pH-värdena tagit upp delar av buffertkapaciteten samt att jordarterna i magasinet är kalkfattiga och därmed inte bidrar med tillskott av karbonatjoner. Att

alkaliniteten är låg kan i sin tur förklara att pH-värdena är låga, då den låga buffringskapaciteten försämrar vattnets motståndskraft mot pH-sänkningar.

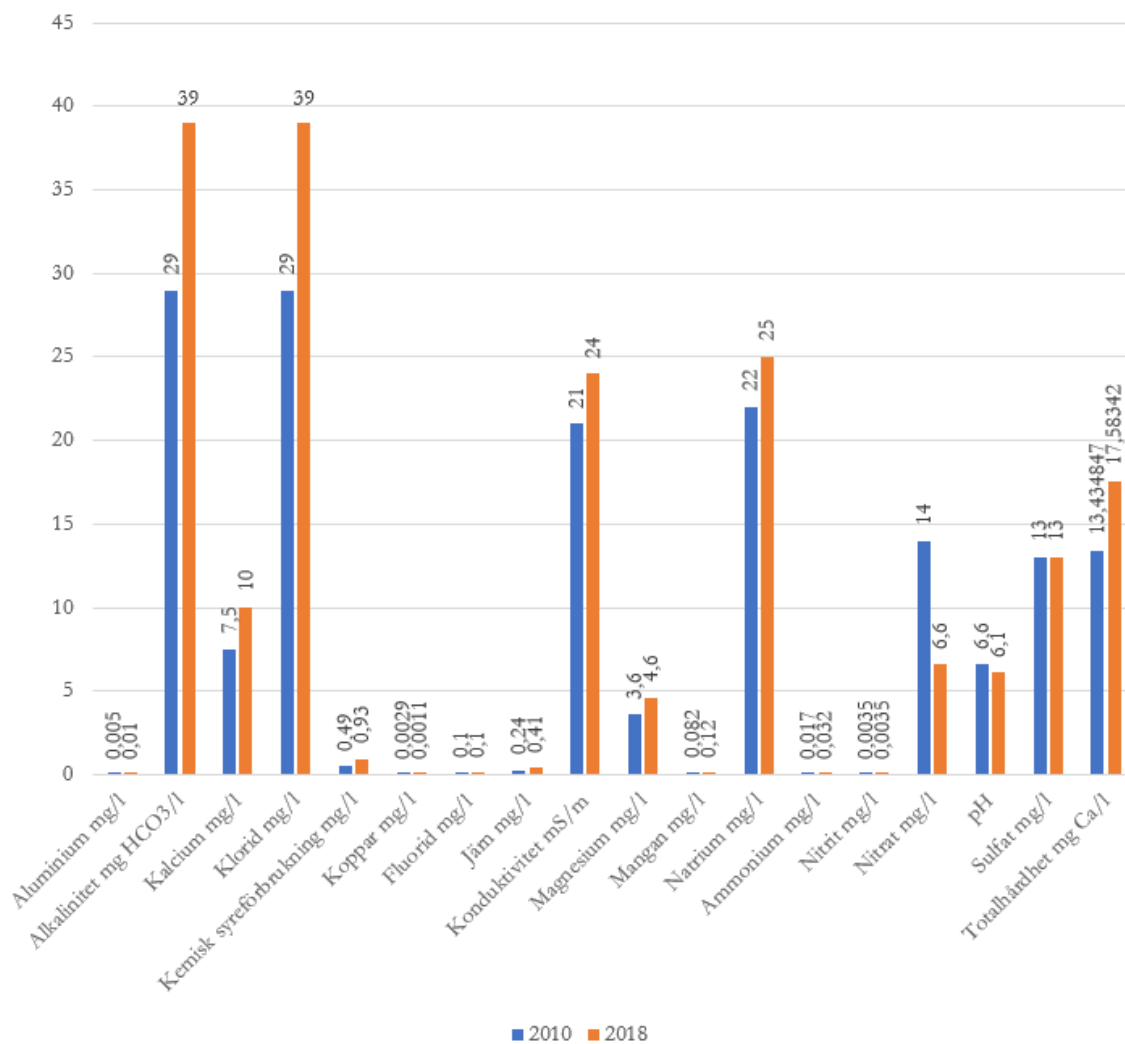
Över tiden minskar halten kalcium och magnesium, dock bara några milligram per liter. Det kan bero på osäkerheter i analyserna, vilka inte finns angivna. Båda ämnena är klassificerade i klass 1 och 2 enligt SGU:s bedömningsgrunder, varför deras förändringar inte påverkar grundvattenkvaliteten. Halterna koppar och järn är jämna och låga, förutom några utstickande värden. De kan också bero på osäkerheter i analyserna, men kan även vara kopplade till felaktigheter vid provtagningen. Det kan exempelvis ha kommit med partiklar i vattenprovtagningen från brunnsröret, vilket kan ge ett toppvärde likt de som syns i graferna över järn och koppar (figur 8 och 9). Halterna klorid och mangan är spridda och kan bero på utsläpp från aktiviteter på markytan, vilka läcker ner i grundvattnet. Eftersom permeabiliteten i grundvattenmagasinet är hög, påverkar aktiviteter på markytan kvaliteten på grundvattnet. Den varierande kloridhalten kan ha att göra med att olika mängd vägsalt har använts och mängden klorid som nått grundvattnet varierat. Att manganhalten varierar kan bero på att olika mycket mangan lakas ur jordlagren och däri lagrade föroreningar vid olika förhållanden. Det har att göra med att mangan är ett redoxkänsligt ämne, som blir lösligt vid god syretillgång (Nationalencyklopedin a, uå). Därmed kan pumpbelastningen från brunnen påverka mängden löst mangan i vattnet.

Alkaliniteten i grundvattenmagasinet visar en statistiskt signifikant ökning över tid, medan pH-värdena i magasinet ökar fram till år 2010 för att därefter minska. De två parametrarna kan delvis förklaras av varandra. När alkaliniteten stiger får vattnet bättre buffertkapacitet och pH kan hållas konstant, alternativt stiga. Dock sänks pH igen efter år 2010, trots att alkaliniteten stiger. Sänkningen kan bero på tillskott av surt vatten från markytan. Varför den inte balanseras upp av alkaliniteten är dock oklart. Osäkerheter i analyserna kan vara en förklaring även här, men samma resultat har även erhållits av Fagerström (2016) i en studie av grundvattenkvalitet ur ett klimatförändringsperspektiv. I studien förklaras den ökande alkaliniteten av att vattnet återhämtar sig från historisk försurning, medan de minskande pH-värdena har att göra med att i marken lagrade vätejoner lakas ur och sänker pH (Fagerström, 2016). Dock ställer sig även Fagerström (2016) osäker till varför pH sjunker vid ökad alkalinitet.

Fältmätningar

De mätningar av grundvattennivåer som togs i fält visade lägre grundvattennivåer i april 2019 än i augusti 2010. Det syntes tydligt då inget vatten detekterades i tre grundvattenrör. Dock borde det i jämförelse med 2010 års värden ha uppmätts ett större djup i rör 8203. År 2010 noterades grundvattenytan vid ett större djup än vad som klassades som torrt under fältmätningen. Det kan bero på fel vid mätningen, eller att det läckt in sand i röret, vilken lagt sig på botten och minskat dess djup. Att grundvattennivåerna är lägre vid fältmätningarna år 2019 än år 2010 är förståeligt med tanke på regnmängder under åren. År 2010 föll det 865 mm regn i Ljungby och år 2009 föll det 825 mm (SMHI, uå). Det ska jämföras med att det föll 541 mm år 2018 och att det fram till och med den 29:e april har varit torrt även år 2019 (SMHI, uå). Det betyder att trots att det borde vara lägre grundvattennivåer i augusti än i april då vegetationen har tagit upp mer vatten i slutet av sommaren, förklarar de små regnmängderna varför grundvattennivåerna är låga. Frågan är hur de torra perioderna påverkar grundvattenkemin i vattentäkten? I figur 21 jämförs det torra året 2018 och det blötare året 2010 då grundvattenprover togs. Data från år 2019 har inte varit tillgänglig för analys. I figuren syns att alkaliniteten i grundvattnet är högre under det torra år 2018, liksom halten aluminium, kalcium, klorid, järn, magnesium, mangan, natrium, och ammonium. Även den kemiska syreförbrukningen, konduktiviteten samt totalhårdheten var högre under 2018. Under det blötare året 2010 var halten koppar och nitrat, samt pH-värdet i grundvattnet högre. En förklaring till att halterna av de flesta ämnena är högre i grundvattnet under det torra året är att ämnena späs ut mer under blötare år (Aastrup, et.al. 2012). Att det inte stämmer för pH, koppar och nitrat kan bero på att de ämnena härstammar från verksamheter på markytan, medan halten aluminium, kalcium, klorid, järn, magnesium, mangan, natrium och ammonium beror på kemin i jordarterna och berggrunden i grundvattenmagasinet. Det kan ha gödslats mer i tillrinningsområdet till vattentäkten år 2010 än år 2018 och nitralthalten är därför högre år 2010. Kopparhalten kan bero på att då koppar släpps ut vid aktiviteter på markytan binder det ofta till organiskt material och lagras i de övre jordlagren (Aastrup, et.al. 2012). Mer koppar lakas därför ur av regnvattnen och infiltrerar ner i akvifären under ett blött år.

Torka och kemi



Figur 21 Figuren visar en jämförelse mellan det torra året 2018 och det blötare året 2010 för ett antal kemiska grundvattenparametrar. Data: SGU

PFAS-ämnen

Gällande de uppmätta halterna PFAS-ämnen i grundvattentäkten härstammar de troligen från den närbelägna brandstationen tillika brandövningsplatsen, eftersom PFAS har detekterats i närheten av brandövningsplatser över hela världen (Cousins et. al, 2016). Det beror på att ämnet använts i brandskum sedan 1960-talet (Dauchy et. al, 2018). Fram till 2000-talet användes främst PFOS i brandskum, men då ämnet visades ha negativa effekter på hälsa och miljö förbjöds det i brandskum år 2011 och ersattes av andra PFAS-ämnen (Dauchy et.al, 2018). Under platsbesöket syns det att brandövningsplatsen enbart ligger några hundra meter från vattentäkten Djupadal. Då akvifären har hög permeabilitet är det därför troligt att PFAS-ämnena i grundvattnet härstammar från brandskum som spridit sig från brandövningsplatsen. Tidigare forskning visar att PFAS-ämnen hittas i avlopps- och avrinningsvatten från brandövningsplatser och att det fortfarande läcker PFOS från dem, trots att ämnet är förbjudet i brandskum och att det därmed inte tillförs nytt (Dauchy et.al, 2018). Avloppsreningsverk är generellt dåliga på att rena vatten från PFAS-ämnen, då det krävs avancerad teknik för det och PFAS-ämnen är persistenta och stannar länge i naturen (Cousins et.al, 2016). De PFAS-ämnen som används idag har kortare kolkedjor än de som tidigare användes, vilket gör dem än mer persistenta och vattenlösliga (Cousins et.al, 2016). Därmed är det än troligare att de idag använda hamnar i grundvattnet och påverkar dricksvattenkvaliteten.

Brandövningsplatsen behöver dock inte vara den enda källan till PFAS-ämnen. Även industrier använder PFAS-ämnen och det finns PFAS i en mängd olika föremål som hamnar på deponi (Banzhaf et. al, 2017). Det är därför möjligt att den gamla tippen kan bidra med PFAS-ämnen till grundvattnet i vattentäkten Djupadal.

Bekämpningsmedel

I analyserna detekteras flera bekämpningsmedel och 30 analyser visar på halter bekämpningsmedel över gränsvärdet för tjänligt dricksvatten. De bekämpningsmedlen är aldrin, bitertanol, bupirimat, cypermetrin, desmetryn, dieldrin, etiofenkarb, etrimfos, fenpropimorf, fenvalerat, fluroxipyr, heptaklor, heptaklorepoxid, hexazinon, karbaryl, klopyralid, klorprofam, klorpropylat, mefosfolan, metalaxyl, penkonazol, promekarb, propaklor, propikonazol, propoxur, propyzamid, terbacil, triadimefon, triadimenol och triazofos. Det finns inga bekämpningsmedelshalter i tåkten som bedömts som otjänliga efter år 1993. Av de medel som år 1993 bedömdes som otjänliga är det dock bara två som har analyserats igen. Det betyder att fler tester av bekämpningsmedel behöver göras för att säkerställa huruvida bekämpningsmedlen finns i grundvattnet och behöver renas för eller inte. Flera av bekämpningsmedlen, såsom Aldrin, DDT, Dieldrin, Heptaklor och BAM har varit förbjudna att använda ett tag och det har därför inte tillförts mer medel sedan 1993 (Karolinska institutet, uå). De kan dock vara persistenta ämnen som fortfarande finns kvar i vattnet. De bekämpningsmedel som testats igen efter år 1993 och då förklarats som tjänliga är bitertanol och hexazinon.

Enligt Åkesson et.al. (2014) hittas bekämpningsmedel i 18 av 23 analyserade skånska brunnar. Det förklaras främst av den stora jordbruksarealen i Skåne, men vissa bekämpningsmedel härleds till verksamheter utanför jordbrukssektorn (Åkesson, et.al. 2014). Såväl numer förbjudna som tillåtna medel detekteras, liksom nedbrytningsprodukter från bekämpningsmedel (Åkesson, et.al. 2014). Mest bekämpningsmedel detekteras i öppna akvifärer, vilket stämmer in på akvifären i Ljungby (Åkesson, et.al. 2014). Den är därmed sårbar vid bekämpningsmedelsutsläpp. Vid mailkontakt med Victoria Kullenberg, miljöinspektör på Ljungby kommun, ges informationen att ingen har sökt tillstånd för att använda växtskydds- eller bekämpningsmedel på allmän plats inom Ljungby kommun, vilket betyder att ingen legal användning av tillståndspliktiga preparat sker annat än möjligtvis i privata trädgårdar, där kommunen inte har insyn (V. Kullenberg, pers. kom.). Kommunens parkförvaltning använder sig av hetvatten vid ogräsbekämpning (V. Kullenberg, pers. kom.). Det bidrar till att det för professionell användning främst är lantbrukssektorn som använder växtskydds- och bekämpningsmedel i Ljungby. Kommunen har 167 registrerade lantbruk och av dem ligger de närmaste cirka 2,5 kilometer från stadskärnan (V. Kullenberg, pers. kom.). Privat bruk bör dock inte räknas bort.

Lantbruken har i Åkesson et.al. (2014) visat sig ha stor påverkan på bekämpningsmedelsförorening och då det finns en del lantbruk i Ljungby härstammar troligtvis bekämpningsmedlen i vattnet i Djupadal därifrån. Det är dock troligt att bekämpningsmedel har släppts ut i trädgårdar, parker och vägrenar tidigare och ligger kvar i grundvattnet, även om det i nuläget inte finns någon

inrapporterad användning. Det kan dock få konsekvenser i en framtid av klimatförändringar, då en eventuell ökad nederbörd spås öka läckaget av såväl nyligen applicerade bekämpningsmedel inom jordbruket som medel som ligger persistent i marken (Steffens et.al, 2015). Det kommer därför vara viktigt att även i framtiden hålla uppsikt över bekämpningsmedel i grundvattnet.

Vattenrening

Det faktum att det finns ämnen i grundvattnet som ligger över Livsmedelsverkets föreskrifter för tjänligt vatten med anmärkning och klassificeras i de högre klasserna enligt SGU:s bedömningsgrunder gör att det krävs rening av det innan det kan användas som dricksvatten. Tekniska förvaltningen i Ljungby kommun meddelar att vattnet som pumpas upp i Djupadal renas enligt följande innan det distribueras till konsument:

”I vattenverket luftas vattnet och passerar genom sandfilter, pH-justering sker med soda. Vattnet desinficeras innan distribution via UV-ljus.” (J. Bengtsson, pers. kom.).

Att lufta vattnet är ett effektivt sätt att rena det från järn, vilket oxideras till fasta partiklar när det kommer i kontakt med luft, vilka kan filtreras bort i sandfiltret (Chaturvedi & Dave, 2012). De bildade järnpartiklarna adsorberar dessutom mangan, som också kan filtreras ur vattnet (Berbenni, et.al. 1999). Mangan kan oxidera själv vid luftning, men då krävs höga redoxförhållanden och nitrifikationsbakterier (Berbenni, et.al. 1999). Att justera pH i vattnet med soda är också effektivt, eftersom pH i vattentäkten är lågt och soda är basiskt (Nationalencyklopedin b, uå). Den slutliga uv-desinfektionen förhindrar förekomst av mikroorganismer i dricksvattnet (Parrotta & Bekdash, 1998). Huruvida det är nödvändigt är oklart, då inga tester av mikroorganismer har gjorts, men det är inte fel att vidta säkerhetsåtgärder så länge bakterieinnehållet är okänt.

Vad som saknas i vattenverket är rening av PFAS-ämnen och bekämpningsmedel. Eftersom det är brist på aktuella data gällande bekämpningsmedel kan det hända att rening inte är nödvändig, men datan från år 2016 anger att vattnet bör renas för PFAS-ämnen. Då PFAS-ämnen är stabila och persistenta fungerar inte traditionella reningsmetoder såsom filtrering och uv-desinficering för att avlägsna dem (McCleaf, et.al. 2017). Istället får tekniker som adsorption på kornformigt aktivt kol, omvänd osmos och jonutbyte användas (McCleaf, et.al. 2017). Då det finns många olika PFAS-ämnen som skiljer sig åt både gällande kemiskt aktiva grupper och kolkedjelängd fungerar ingen av metoderna till samtliga PFAS-ämnen (McCleaf, et.al. 2017). McCleaf et.al. (2017)

visar i en studie att jonutbyte generellt är en bättre metod än kornformigt aktivt kol, speciellt för PFAS-ämnena med långa kolkedjor. Däremot är kornformigt aktivt kol bättre på att adsorbera PFAS-ämnena med korta kedjor (McCleaf, et.al. 2017). Då det finns olika PFAS-ämnena i vattnet i Djupadals vattentäkt betyder det att en kombination av båda metoderna krävs för att ett rent vatten ska erhållas (McCleaf, et.al. 2017).

Verksamheter

Inom tillrinningsområdet till vattentäkten Djupadal har det identifierats sju förorenade områden efter olika verksamheter, vilka kan bidra till föroreningar av grundvattnet. Verksamheterna antas ha använt olika kemikalier, som kan ha släppts ut i grundvattnet. Det finns därför anledning att analysera grundvattnet för de verksamhetspecifika föroreningarna.

Sågverk

Ljungby sågverk är ett förorenat område klassat som mindre känslig markanvändning. På sågverket förekom doppling, vilket betyder att trä behandlas med klorfenoler för att motverka uppkomst av svampsjukdomen blåsvamp (Henriksson, et.al. 2013). Doppling användes från 1930-talet och i viss mån fram till 1990-talet även om användningen avtog efter 1970-talet (Naturvårdsverket, 2010). Vissa av de klorfenoler som använts vid doppling är mycket persistenta och jorden har fungerat som en reservoar som bevarat dem till nutid (Henriksson, et.al. 2013). De klorfenoler som har korta kolkedjor är också mycket vattenlösliga, vilket ger anledning att tro att de kan finnas i grundvattnet (Persson, et.al. 2007). Det förekom också klorfenoler förorenade med dioxiner och dibenzofuraner, vilket gör att även de ämnena kan finnas i grundvattnet (Persson, et.al. 2007).

Förutom de dopplingspecifika ämnena finns det andra föroreningar kopplade till sågverk, såsom spill av bensin och diesel, olika typer av oljor, lim, färg och avfettningsmedel (Naturvårdsverket, 2010). Lim kan exempelvis innehålla fenoler, formaldehyd och harts, som kan förorena mark och grundvattnet (Naturvårdsverket, 2010). Dessutom har impregneringsmedel med arsenik, koppar, krom, zink, kreosot, ammoniumalkaliska kopparföreningar, organiska tennföreningar och organiska fungicider använts, liksom insektsmedel såsom DDT, DDD, DDE och Lindan (Naturvårdsverket, 2010). Huruvida några av ämnena faktiskt finns i vattentäkten är okänt, då saneringsåtgärder har vidtagits och uppföljning av dem har genomförts. Det är dock möjligt att ämnena har spridit sig från sågverksområdet innan rening genomfördes.

Förbränningsanläggning

Det finns en förbränningsanläggning som eldar avfall, skogsflis, torv och gasol för att producera el och fjärrvärme (Ljungby energi, uå). Processen ger upphov till bottenaska som används till sluttäckning av deponier, samt flygaska, vilken räknas som miljöfarligt avfall och transporteras till Norge för vidare behandling (Ljungby energi, uå). Trots att askorna fraktas bort finns det risk att spill sker på platsen och att ämnen sprids via luften. Dessutom kan historisk lagring av aska samt spill på platsen göra att marken är förorenad. Exakt vad som finns i askorna som kan ha förorenat marken är svårt att säga utan att veta precis vad som bränns. Vanliga ämnen i askor från förbränning av avfall och biobränslen är dock arsenik, bly, kadmium, kobolt, koppar, krom, kvicksilver, mangan, nickel, vanadin och zink, samt klorerade och bromerade dioxiner samt furaner (Johansson, et.al. 2015).

Skjutbana

Ljungby gamla skjutbana ligger, precis som vattentäkten Djupadal, i Kronoparken och Ljungby gamla pistolskyttebana ligger norr om brandstationen. Båda skjutbanorna har klassats som förorenade områden, men inga förstudier har påbörjats för att sanera områdena. Studier på andra skjutbanor har dock visat att halten bly i marken är hög ((Rodriguez-Seijo, et.al. 2016) (Lin, et.al. 1995)). En av studierna visar även att halten PAH i marken är hög (Rodriguez-Seijo, et.al. 2016). På den skjutbanan har det dock skjutits lerduvor och PAH tros härstamma från lerduvorna (Rodriguez-Seijo, et.al. 2016). Huruvida det skjutits lerduvor på skjutbanan i Kronoparken är okänt. Det är dock troligt att bly och andra föroreningar från skjutbanan har påverkat grundvattnet, eftersom skjutbanan ligger precis bredvid vattentäkten och marken består av sand med hög permeabilitet.

Bilverkstad

Inom tillrinningsområdet har det legat en bilverkstad som sysslat med bilvård och drivmedelshantering. Exakt vilka kemikalier som har använts är okänt. Dock går det generellt att säga att drivmedelshantering ofta leder till läckage av olika kolväten, såsom bensen, toluen och alkaner (Balserio-Romero, et.al. 2016). Av de ämnena är korta alkaner samt kolväten med många funktionella grupper vattenlösliga och kan hittas i grundvattnet, medan långa alkaner och andra opolära kolväten ackumuleras i jord (Balserio-Romero, et.al. 2016). Andra ämnen som skulle kunna finnas kring bilverkstaden är oljor, färger, lösningsmedel och lim som använts i verksamheten, men då dokumentation saknas är det svårt att säga vad som bör sökas efter.

Deponi

Gamla tippen är en gammal deponi för icke-farligt samt farligt avfall. Exakt vad som finns i deponin är svårt att säga då den sedan länge är avslutad, men det finns generellt mycket miljögifter i deponier (Naturvårdsverket, 2008). Problemet med äldre deponier är att det inte alltid har funnits samma konstruktionskrav som idag och att de därför tenderar att läcka (Naturvårdsverket, 2008). Det lakvatten som läcker från äldre deponier tar med sig de ämnen som finns inuti dem. Det kan vara allt från metaller som järn, koppar, kadmium, bly, krom, kvicksilver, mangan, nickel och zink till organiska ämnen som dioxiner, bromerade flamskyddsmedel och bekämpningsmedel (Naturvårdsverket, 2008). Vilka av ämnena som finns i deponin i tillrinningsområdet är svårt att säga, då det ej är dokumenterat vad som har deponerats där. Det bör dock tas prover på lakvattnet från deponin med avseende på en mängd ämnen för att få reda på vilka som finns i deponin. På så sätt är det möjligt att veta vilka ämnen som både lakvattnet och grundvattnet bör renas för.

Stadsmiljö och järnväg

Det har tidigare funnits järnväg i Ljungby. Järnvägen gick mellan Värnamo och Markaryd och passerade i östra delen av Kronoparken (Lantmäteriet, 1952). Det fanns även en järnväg mellan Bolmen och Vislanda, vilken passerade längre österut i förhållande till Djupadal (Lantmäteriet, 1952). Banan Värnamo-Markaryd byggdes under 1890-talet och var i bruk fram till år 1997, då de sista godstågen ställdes in (Järnväg.net, uå). Trots att järnvägen nu är uppriven kan marken där den låg fortfarande vara förorenad. Järnvägar ger upphov till föroreningar på flera sätt. Dels avges metaller i form av främst järn, men även mangan, koppar, krom, nickel, molybden och vanadin från friktionen mellan spår och tåg vid körning och inbromsning (Burkhardt, et.al. 2007). Även friktionen mellan tåg och elledningar avger metaller, men då främst koppar (Burkhardt, et.al. 2007). Därutöver innehåller de slipers som rälsen ligger på impregneringsmedel i form av kreosot, vilket innehåller PAH, fenoler och aromatiska kolväten (Burkhardt, et.al. 2007). Det används också bekämpningsmedel på spåren för att förhindra växter där (Burkhardt, et.al. 2007). Tillsammans gör föroreningskällorna att nedlagda järnvägar är mycket förorenade och det finns risk att ämnen från dem läcker ner till grundvattnet. Det är därför tänkbart att vissa av de bekämpningsmedel som har detekterats i grundvattnet härstammar från den gamla järnvägen, i synnerhet de som detekterades i höga halter 1993, eftersom det var innan järnvägen lades ner år 1997.

Dessutom kan delar av de höga järnhalterna i vattentäkten härstamma från den gamla järnvägen.

Utöver järnvägen kan som nämnts i bakgrunden, även vägar påverka grundvattnet. Trafik och slitage av vägbanor leder till avrinning av metaller såsom järn, zink, koppar, bly och kadmium (Friedler & Orpher, 2010). Av de metallerna syns höga halter järn och ibland koppar i grundvattenanalyserna, medan zink, bly och kadmium inte har analyserats. Även höjda kloridhalter och konduktivitetvärden kan vara ett problem till följd av vägsalt, men i de gjorda analyserna är inte de halterna problematiskt höga (Friedler & Orpher, 2010). Däremot kan PAH och VOC från oljespill på vägar som inte analyserats utgöra ett problem, liksom förhöjda manganhalter från vägars konstruktionsmaterial ((Friedler & Orpher, 2010) (Earon, et.al. 2012)).

Vidare analys och förbättrad provtagning

Det har gjorts många olika analyser av vattnet i vattentäkten Djupadal sedan år 1993 och många ämnen är analyserade. Dock tyder flera faktorer på att ytterligare analyser behöver göras för att få en tillräcklig bild av grundvattenkvaliteten och föroreningsituationen i magasinet för att kunna avgöra om vattnet är ett bra dricksvatten, samt för att veta vilka åtgärder som behöver sättas in för att göra vattnet drickbart enligt Livsmedelsverkets krav. För det första härstammar de förorenade områdena i tillrinningsområdet från verksamheter som använt ämnen vilka inte har analyserats i grundvattnet. Med tanke på det borde metallanalyser av arsenik, bly, kadmium, kobolt, krom, kvicksilver, nickel, vanadin, zink, och molybden göras. Därutöver borde prover tas för klorfenoler, PAH, dioxiner, kolväten och aromatiska kolväten samt klorerade och bromerade dioxiner samt furaner. För det andra saknas en del parametrar som brukar analyseras i grundvatten. De parametrarna är strontiumhalt, borhalt, radonhalt, mängden löst organiskt kol, redox, temperatur, färg, turbiditet och mikrobiologiskt innehåll.

Utöver det utökade antalet parametrar som bör analyseras går det också att förbättra den provtagning som redan görs. Dels har provtagningen skett med olika mellanrum och olika ämnen har provtagits olika många gånger. Det är viktigt att det är kontinuitet i mätningarna om de ska ge jämförbara resultat. Det skulle också behöva göras fler tester för PFAS-ämnen och bekämpningsmedel. PFAS-ämnena är provtagna vid två tillfällen och då det fanns betydande halter av dem är det intressant att se hur halterna utvecklas. Flera av bekämpningsmedlen är inte provtagna sedan år 1993 och det är svårt att säga om de har ökat eller om de finns

kvar överhuvudtaget. En ordentlig analys borde utföras igen. Eventuellt är det möjligt att utesluta vissa ämnen som inte längre är tillåtna att använda och på så sätt behöver färre bekämpningsmedel kontinuerligt provtas, men studier visar att flera bekämpningsmedel kan ligga och läcka i marken under decennier (Åkesson, et.al. 2014). Utöver mer kontinuerliga prover skulle det också behöva tas prover på fler ställen inom magasinet än i vattentäkten Djupadal, för att få en heltäckande bild av dricksvattenkvaliteten i grundvattenmagasinet. Vid respektive provtagningspunkt behöver det tas prover för relevanta ämnen, det vill säga ämnen kopplade till verksamheter som ligger uppströms provtagningspunkten, samt tester av standardparametrar. Det skulle också vara bra att mäta grundvattennivån vid samtliga provpunkter, för att se hur kemin ändras med vattennivån samt få en uppfattning om hur vattnet rör sig i magasinet. Slutligen skulle mer dokumentation behövas kring hur provtagningsförfarandet går till. Provtagare, provtagningsdjup, analyslabb och analysosäkerhet är information som borde bifogas till analysresultaten för att underlätta vidare analys och tolkning av dataunderlaget.

Miljövetenskaplig och samhällsrelevans

Sätts studien i ett bredare perspektiv syns hur sårbar en grundvattenförekomst kan vara. Vad som sker på markytan har betydelse för kvalitén på det grundvatten som finns under den, speciellt i permeabla jordar som isälvsavlagringar. Det är därför viktigt att undersökningar likt den här görs, speciellt i grundvattenmagasin där många människor tar sitt dricksvatten, men även i förekomster som är av vikt för ekosystemen. Det är viktigt att vattenkvaliteten provtas med avseende på för platsen relevanta ämnen och att inte grundvattenkvaliteten säkerställs via en standardanalys. Det kan medföra att föroreningar i grundvattnet missas och att människor får dricka hälsovådligt vatten. Det har bland annat skett i Kallinge i Blekinge, där det år 2013 uppdagades att dricksvattnet i den vattentäkt som försörjde majoriteten av samhället med vatten hade PFAS-halter runt 10 000 ng/l (Banzhaf, et.al. 2016). Vattenförsörjningen fick genast stängas av och vatten fick tas från en närlägen vattentäkt (Banzhaf, et.al. 2016). Hade det analyserats för PFAS-ämnen tidigare hade det gått att förhindra att människor drack av det PFAS-rika vattnet. Det är också av betydelse att prover tas regelbundet för att en risk inte ska över eller underskattas.

Då vattenprovtagning är kostsamt är det också av betydelse att de analyser som görs tas tillvara. Vid starten av det här projektet erhöles 20 år gamla analyser som inte utvärderats ordentligt. Om det ska vara någon nytta med att ta grundvattenprover är det av vikt att det likt i den här analysen går igenom vad

provresultaten säger och att de används till att förbättra kvalitén på det uppumpade dricksvattnet. Det kan göras genom rening för specifika föroreningar i vattenverket, men också genom att avhjälpa källan till föroreningen, antingen genom att avbryta användningen av en viss produkt eller genom att sanera ett förorenat område. Genom att använda resultatet från den här studien och genom att göra fler likadana, kan ett mer högkvalitativt dricksvatten säkerställas och onödiga reningssteg i reningsverk för ämnen som inte är ett problem för den specifika grundvattenförekomsten undvikas. Rent dricksvatten är en grundpelare i samhället, då det förhindrar sjukdomar och smittspridning, vilket annars kan bli kostsamt både ekonomiskt och i mänskligt lidande. Dock kommer det rena dricksvattnet att bli allt svårare att framställa i en framtid av torra somrar och yngre grundvattenförekomster som förorenats sedan industrialiseringen fick fart. I det samhället är det viktigt att veta vad som finns i vattnet, för att kunna bistå befolkningen med ett vatten som inte är hälsovådligt att inta. Det kommer också bli allt viktigare med välfungerande vattenskyddsområden. I figur 5 syns det att vattenskyddsområdet för grundvattentäkten Djupadal inte överensstämmer med tillrinningsområdet till täkten. Hade det gjort det hade det gått att ställa större krav på verksamheter inom tillrinningsområdet och på så sätt hade höga värden av vissa parametrar gått att undvika. Det är därför av stor vikt att Sveriges vattenskyddsområden ses över.

Slutsats

Studien kommer fram till följande slutsatser:

- ❖ Grundvattnet i Bergaåsens grundvattenmagasin i Ljungby kommun har höga halter järn och mangan, samt låga alkalinitets och pH-värden i förhållande till SGU:s bedömningsgrunder för grundvatten. Det förekommer även enstaka höga analysvärden av nitrat och koppar. Halterna kalcium, magnesium och klorid är låga.
- ❖ Det har detekterats PFAS-ämnen och bekämpningsmedel i grundvattnet. Vissa av analyserna har legat över Livsmedelsverkets föreskrifter för tjänligt dricksvatten.
- ❖ Det krävs fler analyser av PFAS-ämnen och bekämpningsmedel för att veta hur halterna av ämnena utvecklas i vattnet.
- ❖ Det finns flera förorenade områden i Ljungby kommun, av vilka sju ligger inom tillrinningsområdet till vattentäkten där studiens prover tagits.
- ❖ Det behövs analyser av ytterligare ämnen för att få en säker bild av grundvattenkemin och föroreningssituationen i grundvattenmagasinet och för att veta hur vattnet därifrån bör renas.
- ❖ Vad som sker på markytan har betydelse för kvaliteten på grundvattnet. Det är därför viktigt att analysera vattnet för alla tänkbara föroreningar för att få en bild av om vattnet är säkert att använda som dricksvatten eller inte.
- ❖ Det är av vikt att ta hänsyn till osäkerheter i analysresultat av grundvatten, för att inte enstaka osäkra värden ska ligga till grund för en bedömning av om ett vatten är ett bra eller dåligt dricksvatten.

Tack

Jag vill tacka Charlotte Sparrenbom för värdefull input och handledning under arbetets gång. Jag vill också tacka Carola Lindeberg och Elisabeth Magnusson på SGU för hjälp med dataunderlag och informationssökning samt ett givande fältbesök i Ljungby. Jag vill också tacka de anställda på Ljungby kommun samt länsstyrelsen Kronoberg som svarat på mail med diverse frågor. Slutligen vill jag tacka Magnus Källberg för korrekturläsning av arbetet.

Referenser

Aastrup, M. Thunholm, B. Sundén, G. & Dahné, J. 2012. *Klimatets påverkan på koncentrationer av kemiska ämnen i grundvatten*. Uppsala. 30 ss.

Balserio-Romero, M. Macías, F. & Monteroso, C. 2016. *Characterization and fingerprinting of soil and groundwater contamination sources around a fuel distribution station in Galicia (NW Spain)*. Environ Monit Assess. (2016) 188:292.

Banzhaf, S. Filipovic, M. Lewis, J. Sparrenbom, C. & Barthel, R. 2017. *A review of contamination of surface-, ground-, and drinking water in Sweden by perfluoroalkyl and polyfluoroalkyl substances (PFASs)*. Ambio 2017. 46:335-346.

Bengtsson, J. Ljungby kommun, jonas.bengtsson@ljungby.se.

Berbenni, P. Pollice, A. Canziani, R. Stabile, L. & Nobili, F. 1999. *Removal of iron and manganese from hydrocarbon-contaminated groundwaters*. Bioresource technology. 74 (2000) 109-114.

Burkhardt, M. Rossi, L. & Boller, M. 2007. *Diffuse release of environmental hazards by railways*. Desalination. 226 (2008) 106-113.

Chaturvedi, S. & Dave, N.P. 2012. *Removal of iron for safe drinking water*. Desalination. 303 (2012) 1-11.

Cousins, T.I. Vestergren, R. Wang, Z. Scheringer, M. & McLachan, S.M. 2016. *The precautionary principle and chemicals management: The example of perfluoroalkyl acids in groundwater*. Environment international. 94 (2016) 331-340.

Dauchy, X. Boiteux, V. Colin, A. Bach, C. Rosin, C. & Munoz, J. 2018. *Poly- and Perfluoroalkyl Substances in Runoff Water and Wastewater Sampled at a Firefighter Training Area*. Archives of Environmental Contamination and Toxicology. (2019) 76:206-215.

Earon, R. Olofsson, B. & Renman, G. 2012. *Initial effects of a new highway section on soil and groundwater*. Water Air Soil Pollut. 223:5413-5432.

Fagerström, E. 2016. *En studie av historiska grundvattenkvalitetsdata utifrån ett klimatförändringsperspektiv*. Uppsala. 50 ss.

Fetter, C.W. 2014. *Applied hydrogeology*. Pearson Education. Edinburgh.

- Friedler, E. & Orpher, T. 2010. *Factors affecting highway runoff quality*. Urban water journal: Vol. 7, No. 3, June 2010, 155-172.
- Henriksson, S. Hagberg, J. Bäckström, M. Persson, I & Lindström, G. 2013. *Assessment of PCDD/Fs levels in soil at a contaminated sawmill site in Sweden – A GIS and PCA approach to interpret the contamination pattern and distribution*. Environmental Pollution. 180 (2013) 19-26.
- Johansson, M. Törneman, N. & van Praagh, M. 2015. *Klorerade och bromerade dioxiner och furaner samt metaller i askor från förbränning av biobränslen och avfall*. Sweco. Malmö. 101 ss.
- Järnväg.net. *Markaryd-Traryd, Helmershus-Värnamo*. [<http://www.jarnvag.net/banguide/markaryd-varnamo>]. Hämtad 2019-05-06.
- Karolinska institutet. *Svensk MeSH*. [<https://mesh.kib.ki.se/info/om-webbplatsen>]. Hämtad 2019-05-24.
- Kullenberg, V. Ljungby kommun, victoria.kullenberg@ljungby.se.
- Lantmäteriet. 1952. *Ekonomisk karta över Sverige, Kronoberg, Ljungby. Generalstabens litografiska anstalt. Stockholm*.
- Lin, Z. Comet, B. Qvarfort, U. & Herbert, R. 1995. *The chemical and mineralogical behaviour of Pb in shooting range soils from central Sweden*. Environmental pollution. Vol. 89, No. 3, pp. 303-309.
- Livsmedelsverket. 2017. *Livsmedelsverkets föreskrifter om ändring i Livsmedelsverkets föreskrifter (SLVFS 2001:30) om dricksvatten*. Uppsala. 48 ss.
- Livsmedelsverket. 2018. *PFAS – Poly- och perfluorerade alkylsubstanser*. [<https://www.livsmedelsverket.se/livsmedel-och-innehall/oonskade-amnen/miljogifter/pfas-poly-och-perfluorerade-alkylsubstanser>]. Hämtad 2019-05-06.
- Ljungby Energi. *Fjärrvärme*. [<https://www.ljungby-energi.se/varme/>]. Hämtad 2019-05-14.
- Lång, L-O. Adielsson, S. Maxe, L. Schoning, K. & Thorsbrink, M. 2019. *Grundvatten av god kvalitet – underlagsrapport till den fördjupade utredningen av miljömålen 2019*. Sveriges geologiska undersökning. Uppsala. 52 ss.
- Länsstyrelserna. *Geodatakatalogen*. [<https://ext-geodatakatalog.lansstyrelsen.se/GeodataKatalogen/>]. Hämtad 2019-08-09.
- Länsstyrelserna IT-enheten. *Vattenskyddsområde*.
- Maxe, L. Thunholm, B. Aastrup, M. & Dahlgren, H. 2013. *Bedömningsgrunder för grundvatten*. Uppsala. 126 ss.

McCleaf, P. Englund, S. Östlund, A. Wiberg, K. & Ahrens. L. 2017. *Removal efficiency of multiple poly- and perfluoroalkyl substances (PFASs) in drinking water using granular activated carbon (GAC) and anion exchange (AE) column tests*. Water research. 120 (2017) 77-87.

Nationalencyklopedin a. Mangan.
[<https://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/1%C3%A5ng/mangan>]. Hämtad 2019-05-22.

Nationalencyklopedin. b. Natriumkarbonat.
[<https://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/1%C3%A5ng/natriumkarbonat>]. Hämtad 2019-05-08.

Naturvårdsverket. 2018. *Grundvatten av god kvalitet*. [<http://www.sverigesmiljomal.se/miljomalen/grundvatten-av-god-kvalitet/>]. Hämtad 2019-03-27.

Naturvårdsverket. 2010. *Sågverk – fakta om branschen och dess miljöpåverkan*. Stockholm. 27 ss.

Naturvårdsverket. 2008. *Lakvatten från deponier*. Stockholm. 37 ss.

Parrotta, M.J. & Bekdash, F. 1998. *UV disinfection of small groundwater supplies*. American water works association. Vol. 90. No. 2. pp. 71-81.

Persson, T. & Magnusson, E. 2018. *Grundvattenmagasinet Bergaåsen Ljungby*. Sveriges geologiska undersökning. Uppsala. 7 ss.

Persson, Y. Lundstedt, S. Öberg, L. & Tysklind, M. 2007. *Levels of chlorinated compounds (CPs, PCPPS, PCDEs, PCDFs, PCDDs) in soils at contaminated sawmill sites in Sweden*. Chemosphere. 66 (2007) 234-242.

Rodríguez-Seijo, A. Cachada, A. Gavina, A. Guarte, A.C. Vega, F.A. Andrade, M.L. & Pereira, R. 2016. *Lead and PAHs contamination of an old shooting range: A case study with holistic approach*. Science of the total environment. 575 (2017) 367-377.

SGU. Grundvattenmagasin. Ljungbyområdet.
[<https://apps.sgu.se/kartvisare/kartvisare-grundvattenmagasin.html>]

SMHI. Års och månadsstatistik.
[<https://www.smhi.se/klimatdata/meteorologi/2.1240>]. Hämtad 2019-05-16.

Steffens, K. Jarvis, N. Lewan, E. Lindström, B. Kreuger, J. Kjellström, E. & Moyes, J. 2015. *Direct and indirect effects of climate change on herbicide leaching – A regional scale assessment in Sweden*. Science of the total environment. 514 (2015) 239-249.

Svensson, K. Beckman-Sund, U. Darnerud, P. O. Forslund C. Johnsson, H. Lindberg, T. & Sand, S. 2009. *Kemisk riskprofil för dricksvatten*. Livsmedelsverket. Uppsala. 63 ss.

Tekniska förvaltningen. 2018. *Snöröjning*. [<https://www.ljungby.se/sv/trafik-och-samhallsplanering/trafik/snorojning/>]. Hämtad 2019-04-15.

Wik, N.-G. Claeson, D. Bergström, U. Hellström, F. Jelinek, C. Juhojuntti, N. Jönberger, J. Kero, L. Lundqvist, L. Sukotjo, S. & Wikman, H. 2009. *Beskrivning till regional berggrundskarta över Kronobergs län*. Sveriges geologiska undersökning K142. 65 ss.

Åkesson, M. Sparrenbom, C.J. Dahlgvist, P. & Fraser, S.J. 2014. *On the scope and management of pesticide pollution of Swedish groundwater resources: the Scanian example*. *Ambio*. DOI 10.1007/s13280-014-0548-1.

Bilaga 1

Tabell 5 Tabellen visar när prover av respektive parameter har tagits. Data: SGU

Provtagningsintervall	Provtagna ämnen
Prover 1998–2018 (ej 2007 och 2012) 2 ggr per år från 2004 (1 gång 2008), i mars varje år, vid två gånger även i september	Alkalinitet, kalcium, ammonium, nitrat, nitrit, pH, klorid, sulfat, totalhårdhet, kemisk syreförbrukning, fluorid, konduktivitet, natrium
Prover 2003–2018 (ej 2007 och 2012) 2 ggr per år från 2004 (1 gång 2008), i mars varje år, vid två gånger även i september	Aluminium
Prover 2004–2018 (ej 2007 och 2012) 2 ggr per år (1 gång 2008), i mars och september	Koppar, järn, mangan
Prover 1 gång i mars 2008, i mars och september år 2009 och 2010	Permanganatförbrukning
Prover 1 gång om året i mars 1998–2003	Fosfat
Prover i maj år 2014 och i april år 2016	PFAS-ämnen (Ej alla varje gång)
Prover i juni år 1993 och 2003, i januari år 2006	Bekämpnings-medel, alla år 1993, några de övriga åren

Bilaga 2

Bilagan innehåller tabeller som visar hur de analyserade parametrarna klassas enligt SGU:s *bedömningsgrunder för grundvatten (2013:01)* vid respektive provtagningsstillfälle. Tabellerna är färgkodade efter vilken klass respektive värde klassats som, klass 1 = blå, klass 2 = grön, klass 3 = gul, klass 4 = orange och klass 5 = röd.

Tabell 6 Tabellen visar en sammanställning av kemidata från grundvattenmagasinet mellan år 1998 och 2004. Sammanställningen följer klassindelningen i *SGU:s bedömningsgrunder för grundvatten (2013:01)* och redovisningen har färgkodats efter: Klass 1 = blå, Klass 2 = grön, Klass 3 = gul, Klass 4 = orange, Klass 5 = röd. Klassindelningen utgår från olika värden för olika parametrar. Data: SGU

Parameter	Enhet	Mars 1998	Mars Mars 1999	2000	Mars 2001	Mars 2002	Mars 2003	Mars 2004	September 2004
NATURLIGT FÖREKOMMANDE ÄMNEN									
pH		5,8	5,6	6,7	5,8	5,9	5,7	6,1	6
Alkalinitet, HCO ₃	mg/l	26	27	24	24	26	23	28	31
Kalcium	mg/l	11	13	10	9,8	9,6	9	9,3	9,7
Kalium	mg/l	4,1	4,5	3,9	3,7	4	3		
Magnesium	mg/l	5,2	5,6	4,7	4,3	4,5	4,2	4,2	4,3
Natrium	mg/l	26	29	27	24	24	22		
Totalhårdhet	dH	2,7	3,1	2,5	2,4	2,4	2,2	2,3	2,4
Redox	klass								
COD _{Mn}	mg O ₂ /l	1	1,2	0,5	0,5	0,5	0,5	1,2	1,1
Klorid	mg/l	43	46	43	34	34	34	34	38
Konduktivitet	mS/m	26,6	28,9	26,2	22,1	23,4	21,5	22,1	22,3
Sulfat	mg/l	22	21	19	18	16	16	15	13

Parameter	Unit	Mars	Mars		Mar	Mars	Mars	Mar	September
		1998	1999	2000	s	2002	2003	s	2004
Ammonium	mg/l	0,0645	0,0387	0,0387	0,0258	0,0387	0,0516	0,03	0,03
Nitrat	mg/l	4,873	5,759	7,531	8,417	6,202	11,075	8,4	7,5
Nitrit	mg/l	0,001645	0,001645	0,001645	0,001645	0,001645	0,001645	0,0015	0,003
Aluminium	mg/l						0,01	0,01	0,01
Järn	mg/l							2,5	0,25
Mangan	mg/l							0,1	0,1
Koppar	mg/l							0,53	0,01
Fluorid	mg/l	0,05	0,05	0,05	0,05	0,13	0,1	0,05	0,05
Fosfat	mg/l	0,01535	0,01535	0,01535	0,01535	0,01535	0,01535		

Tabell 7 Tabellen visar en sammanställning av kemidata från grundvattenmagasinet mellan år 2005 och 2009. Sammanställningen följer klassindelningen i SGU:s bedömningsgrunder för grundvatten (2013:01) och redovisningen har färgkodats efter: Klass 1 = blå, Klass 2 = grön, Klass 3 = gul, Klass 4 = orange, Klass 5 = röd. Klassindelningen utgår från olika värden för olika parametrar. Data: SGU

Parameter	Enh et	Mars	Septe	Mars	Oktob	Mars	Mars	Septe
		2005	mber 2005	2006	er 2006	2008	2009	mber 2009
Naturligt förekommande ämnen								
pH		6,2	6,1			6,5	6,3	7
Alkalinitet, HCO ₃	mg/l	30	27	28	29	28	27	26
Kalcium	mg/l	11	10	12	9,9	9,1	7,4	7,8
Kalium	mg/l			4	4	3,4	2,8	3,2
Magnesium	mg/l	4,7	4,8	5,2	4,6	4,1	3,2	3,4
Natrium	mg/l			27	27	25	21	22
Totalhårdhet	dH	2,6	2,5	2,9	2,4	2,2	1,8	1,9
COD _{Mn}	mg O ₂ /l					1,4	1	0,86
Klorid	mg/l	1	0,5	0,5	0,5	44	31	29
Konduktivitet	mS/m	41	43	46	44	24	21	21
Sulfat	mg/l	24,8	23,3	25,3	24,6	14	14	14
Ammonium	mg/l	15	8,4	9,5	14	0,046	0,033	0,033
Nitrat	mg/l	0,005	0,03	0,03	0,03	11	15	15
Nitrit	mg/l	7,1	8,9	20	8,9	0,0035	0,0035	0,0035
Aluminium	mg/l	0,0015	0,0015	0,0015	0,0015	0,01	0,005	0,005
Järn	mg/l	0,01	0,01	0,01	0,01	0,14	0,14	0,17
Mangan	mg/l	0,28	0,26	0,75	0,46	0,088	0,053	0,062
Koppar	mg/l	0,12	0,12	0,15	0,12	0,01	0,01	0,01
Fluorid	mg/l	0,005	0,02	0,1	0,07	0,1		

Tabell 8 Tabellen visar en sammanställning av kemidata från grundvattenmagasinet mellan år 2010 och 2014. Sammanställningen följer klassindelningen i SGU:s bedömningsgrunder för grundvatten (2013:01) och redovisningen har färgkodats efter: Klass 1 = blå, Klass 2 = grön, Klass 3 = gul, Klass 4 = orange, Klass 5 = röd. Klassindelningen utgår från olika värden för olika parametrar. Data: SGU

Parameter	Enhet	Mars	Septe	Mars	Septe	Mars	Septe	Mars	Septe
		2010	mber	2011	mber	2013	mber	2014	mber
Naturligt förekommande ämnen									
pH		6,6	7,3			6,2	6,1	6,3	6,7
Alkalinitet, HCO ₃	mg/l	29	30	34	34	29	28	31	32
Kalcium	mg/l	7,5	11	8,3	9,5	9	9,4	9,5	9,6
Kalium	mg/l	3,3	3,5	3	4	3	4	4	4
Magnesium	mg/l	3,6	3,5	3,7	4,2	4,3	4,1	4,3	4,4
Natrium	mg/l	22	23	21	23	23	24	24	25
Totalhårdhet	dH	1,9	2,3	2,0	2,3	2,3	2,3	2,3	2,4
COD _{Mn}	mg O ₂ /l	0,49	1,1	1,1	0,5	0,5	1,1	1,5	0,5
Klorid	mg/l	29	28	28	30	38	35	36	35
Konduktivitet	mS/m	21	20	20,9	20,9	22,5	22,4	22,5	22,1
Sulfat	mg/l	13	13	13	12	12	13	12	13
Ammonium	mg/l	0,017	0,026	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
Nitrat	mg/l	14	12	9,7	10	9,3	10	8	8,4
Nitrit	mg/l	0,0035	0,0035	0,0015	0,0015	0,002	0,002	0,002	0,002
Aluminium	mg/l	0,005	0,005	0,01	0,01	0,01	0,06	0,015	0,015
Järn	mg/l	0,22	0,24	0,31	0,7	0,58	6,3	3,2	0,36
Mangan	mg/l	0,079	0,082	0,09	0,1	0,11	0,11	0,12	0,11
Koppar	mg/l	0,029	0,01	0,03	0,04	0,04	0,11	0,35	0,01
Fluorid	mg/l	0,1	0,1	0,11	0,11	0,1	0,13	0,05	0,1

Tabell 9 Tabellen visar en sammanställning av kemidata från grundvattenmagasinet mellan år 2015 och 2018. Sammanställningen följer klassindelningen i *SGU:s bedömningsgrunder för grundvatten (2013:01)* och redovisningen har färgkodats efter: Klass 1 = blå, Klass 2 = grön, Klass 3 = gul, Klass 4 = orange, Klass 5 = röd. Klassindelningen utgår från olika värden för olika parametrar. Data: SGU

Parameter	Enhet	Mars 2015	Septem- ber 2015	Mars 2016	Septem- ber 2016	Mars 2017	Septem- ber 2017	Mars 2018	Septem- ber 2018
		Naturligt förekommande ämnen							
pH		6,1	6,1	6	6,4	6,3	6,3	6,1	6,2
Alkalinitet, HCO ₃	mg/l	33	31	35	33	36	37	39	33
Kalcium	mg/l	9,5	8,1	9,5	9,8	8,9	9,1	10	9,2
Kalium	mg/l								
Magnesium	mg/l	4,2	3,9	4,4	4,6	4	4,2	4,6	4,2
Natrium	mg/l	23	22	23	27	22	22	25	21
Totalhårdhet	dH	2,3	2,0	2,3	2,4	2,2	2,2	17,6	16,0
COD _{Mn}	mg O ₂ /l	1,2	0,68	1,1	0,87	0,96	1	0,93	0,76
Klorid	mg/l	37	37	36	39	36	37	39	38
Konduktivitet	mS/m	22	24	23	23	22	23	24	23
Sulfat	mg/l	14	13	13	13	13	13	13	12
Ammonium	mg/l	0,024	0,028	0,028	0,031	0,032	0,039	0,032	0,027
Nitrat	mg/l	7,1	8,4	7,1	8,4	7,1	7,5	6,6	8,8
Nitrit	mg/l	0,0035	0,0035	0,0035	0,0035	0,0035	0,0035	0,0035	0,0035
Aluminium	mg/l	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,0098	0,01	0,0083
Järn	mg/l	0,31	0,3	0,38	0,4	0,33	0,33	0,41	0,30
Mangan	mg/l	0,099	0,11	0,13	0,13	0,14	0,18	0,12	0,096
Koppar	mg/l	0,04	0,069	0,048	0,034	0,084	0,13	0,011	0,012
Fluorid	mg/l	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1

Bilaga 3

Bilagan visar de analysvärden som ligger över Livsmedelsverkets föreskrifter för tjänligt vatten med anmärkning. För samtliga värden visas hur de klassats, när de är tagna samt om det tagits ytterligare prover som ligger under gränsvärdet vid ett senare tillfälle.

Tabell 10 Tabellen visar de analysvärden från grundvattenmagasinet som ligger över Livsmedelsverkets föreskrifter för tjänligt vatten med anmärkning. Data: SGU

Ämne	Halt	Bedömning Livsmedelsverket	Datum
Aldrin	0,05 µg/l	Otjänligt	Juni 1993
Bitertanol*	0,2 µg/l	Otjänligt	Juni 1993
Bupirimat	0,25 µg/l	Otjänligt	Juni 1993
Koppar*	530 µg/l	Tjänligt med anmärkning	Mars 2004
Koppar*	350 µg/l	Tjänligt med anmärkning	Mars 2014
Cypermtrin	0,1 µg/l	Otjänligt	Juni 1993
Desmetryn	0,1 µg/l	Otjänligt	Juni 1993
Dieldrin	0,05 µg/l	Otjänligt	Juni 1993
Etiofenkarb	0,1 µg/l	Otjänligt	Juni 1993
Etrimfos	0,1 µg/l	Otjänligt	Juni 1993
Järn	2,5 mg/l	Tjänligt med anmärkning	Mars 2004
Järn	0,25 mg/l	Tjänligt med anmärkning	September 2004
Järn	0,28 mg/l	Tjänligt med anmärkning	Mars 2005
Järn	0,26 mg/l	Tjänligt med anmärkning	September 2005
Järn	0,75 mg/l	Tjänligt med anmärkning	Mars 2006

Järn	0,48 mg/l	Tjänligt med anmärkning	Oktober 2006
Järn	0,14 mg/l	Tjänligt med anmärkning	Mars 2008
Järn	0,14 mg/l	Tjänligt med anmärkning	Mars 2009
Järn	0,17 mg/l	Tjänligt med anmärkning	September 2006
Järn	0,22 mg/l	Tjänligt med anmärkning	Mars 2010
Järn	0,24 mg/l	Tjänligt med anmärkning	September 2010
Järn	0,31 mg/l	Tjänligt med anmärkning	Mars 2011
Järn	0,7 mg/l	Tjänligt med anmärkning	September 2011
Järn	0,58 mg/l	Tjänligt med anmärkning	Mars 2013
Järn	6,3 mg/l	Tjänligt med anmärkning	September 2013
Järn	3,2 mg/l	Tjänligt med anmärkning	Mars 2014
Järn	0,36 mg/l	Tjänligt med anmärkning	September 2014
Järn	0,31 mg/l	Tjänligt med anmärkning	Mars 2015
Järn	0,3 mg/l	Tjänligt med anmärkning	September 2015
Järn	0,38 mg/l	Tjänligt med anmärkning	Mars 2016
Järn	0,4 mg/l	Tjänligt med anmärkning	September 2016
Järn	0,33 mg/l	Tjänligt med anmärkning	Mars 2017
Järn	0,33 mg/l	Tjänligt med anmärkning	September 2017
Järn	0,41 mg/l	Tjänligt med anmärkning	Mars 2018
Järn	0,30 mg/l	Tjänligt med anmärkning	September 2018
Fenpropimorf	0,15 µg/l	Otjänligt	Juni 1993
Fenvalerat	0,1 µg/l	Otjänligt	Juni 1993

Fluroxipur	0,1 µg/l	Otjänligt	Juni 1993
Heptaklor	0,05 µg/l	Otjänligt	Juni 1993
Heptaklorepoxyd	0,05 µg/l	Otjänligt	Juni 1993
Hexazinon*	0,1 µg/l	Otjänligt	Juni 1993
Karbaryl	0,25 µg/l	Otjänligt	Juni 1993
Klopyralid	0,15 µg/l	Otjänligt	Juni 1993
Klorprofam	0,25 µg/l	Otjänligt	Juni 1993
Klorpropylat	0,1 µg/l	Otjänligt	Juni 1993
Mefosfolan	0,15 µg/l	Otjänligt	Juni 1993
Metalaxyl	0,15 µg/l	Otjänligt	Juni 1993
Mangan	0,1 mg/l	Tjänligt med anmärkning	Mars 2004
Mangan	0,1 mg/l	Tjänligt med anmärkning	September 2004
Mangan	0,12 mg/l	Tjänligt med anmärkning	Mars 2005
Mangan	0,12 mg/l	Tjänligt med anmärkning	September 2005
Mangan	0,15 mg/l	Tjänligt med anmärkning	Mars 2006
Mangan	0,12 mg/l	Tjänligt med anmärkning	Oktober 2006
Mangan	0,088 mg/l	Tjänligt med anmärkning	Mars 2008
Mangan	0,053 mg/l	Tjänligt med anmärkning	Mars 2009
Mangan	0,062 mg/l	Tjänligt med anmärkning	September 2009
Mangan	0,079 mg/l	Tjänligt med anmärkning	Mars 2010
Mangan	0,02 mg/l	Tjänligt med anmärkning	September 2010
Mangan	0,09 mg/l	Tjänligt med anmärkning	Mars 2011
Mangan	0,1 mg/l	Tjänligt med anmärkning	September 2011

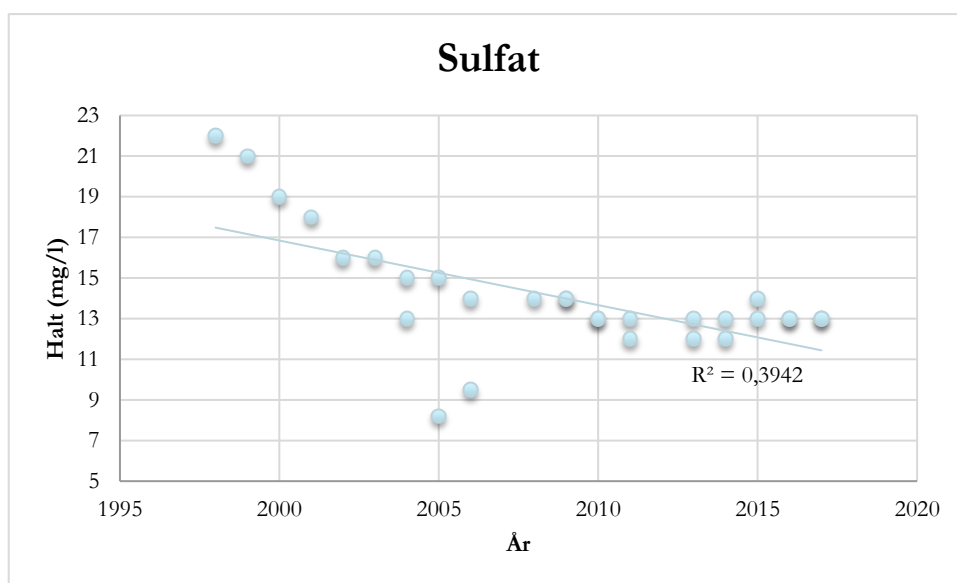
Mangan	0,11 mg/l	Tjänligt med anmärkning	Mars 2013
Mangan	0,11 mg/l	Tjänligt med anmärkning	September 2013
Mangan	0,12 mg/l	Tjänligt med anmärkning	Mars 2014
Mangan	0,11 mg/l	Tjänligt med anmärkning	September 2014
Mangan	0,099 mg/l	Tjänligt med anmärkning	Mars 2015
Mangan	0,11 mg/l	Tjänligt med anmärkning	September 2015
Mangan	0,13 mg/l	Tjänligt med anmärkning	Mars 2016
Mangan	0,13 mg/l	Tjänligt med anmärkning	September 2016
Mangan	0,14 mg/l	Tjänligt med anmärkning	Mars 2017
Mangan	0,18 mg/l	Tjänligt med anmärkning	September 2017
Mangan	0,12 mg/l	Tjänligt med anmärkning	Mars 2018
Mangan	0,096 mg/l	Tjänligt med anmärkning	September 2018
Nitrat*	20 mg/l	Tjänligt med anmärkning	Mars 2006
Penkonazol	0,25 µg/l	Otjänligt	Juni 1993
PFAA7	98 ng/l	Otjänligt	Maj 2014
pH	5,8	Tjänligt med anmärkning	Mars 1998
pH	5,6	Tjänligt med anmärkning	Mars 1999
pH	5,7	Tjänligt med anmärkning	Mars 2000
pH	5,8	Tjänligt med anmärkning	Mars 2001
pH	5,9	Tjänligt med anmärkning	Mars 2002
pH	5,7	Tjänligt med anmärkning	Mars 2003
pH	6,1	Tjänligt med anmärkning	Mars 2004
pH	6,0	Tjänligt med anmärkning	September 2004

pH	6,2	Tjänligt med anmärkning	Mars 2005
pH	6,1	Tjänligt med anmärkning	September 2005
pH	6,3	Tjänligt med anmärkning	Mars 2009
pH	6,2	Tjänligt med anmärkning	Mars 2013
pH	6,1	Tjänligt med anmärkning	September 2013
pH	6,3	Tjänligt med anmärkning	Mars 2014
pH	6,1	Tjänligt med anmärkning	Mars 2015
pH	6,1	Tjänligt med anmärkning	September 2015
pH	6,0	Tjänligt med anmärkning	Mars 2016
pH	6,4	Tjänligt med anmärkning	September 2016
pH	6,3	Tjänligt med anmärkning	Mars 2017
pH	6,3	Tjänligt med anmärkning	September 2017
pH	6,1	Tjänligt med anmärkning	Mars 2018
pH	6,2	Tjänligt med anmärkning	September 2018
Promekarb	0,25 µg/l	Otjänligt	Juni 1993
Propaklor	0,1 µg/l	Otjänligt	Juni 1993
Propikonazol	0,1 µg/l	Otjänligt	Juni 1993
Porpoxur	0,1 µg/l	Otjänligt	Juni 1993
Propyzamid	0,1 µg/l	Otjänligt	Juni 1993
Terbacil	0,1 µg/l	Otjänligt	Juni 1993
Triadimefon	0,1 µg/l	Otjänligt	Juni 1993
Triadimenol	0,25 µg/l	Otjänligt	Juni 1993
Triazofos	0,1 µg/l	Otjänligt	Juni 1993

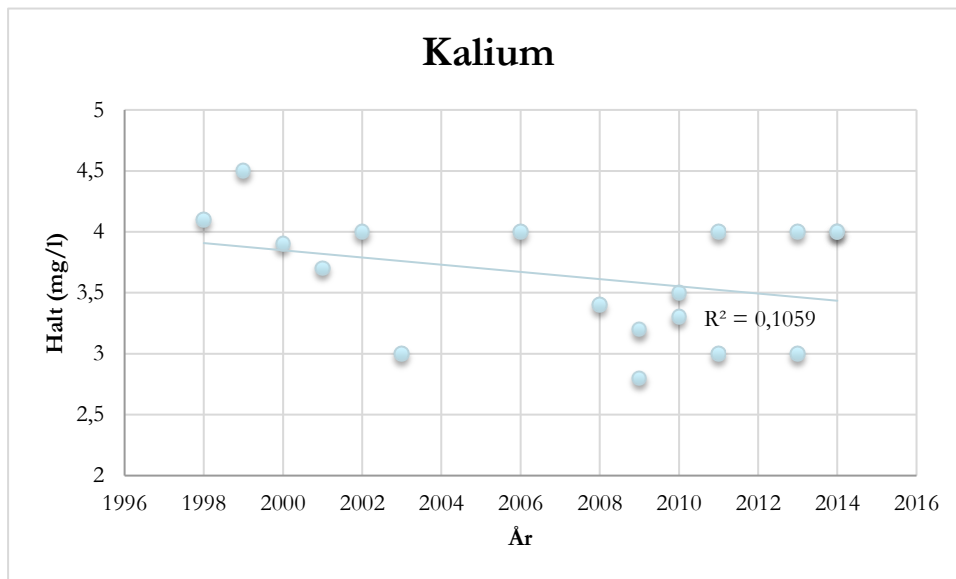
*Har uppmätts i halter under gränsvärdet vid senare mätningar.

Bilaga 4

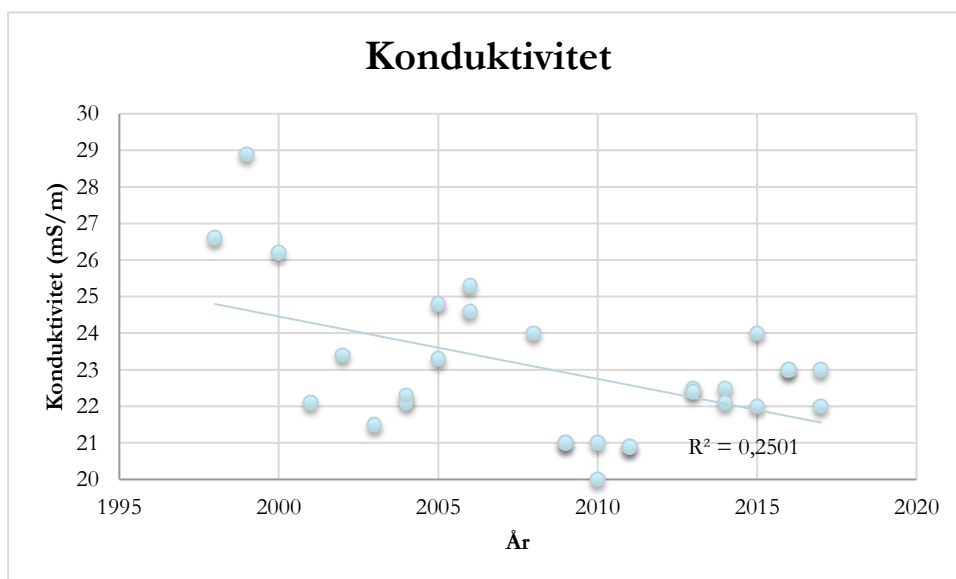
Bilagan visar hur analysvärden för de olika parametrarna har varierat över tid. Ett R^2 -värde har beräknats för respektive parameter för att avgöra om det finns en signifikant trend eller inte, vilket det har visat sig inte finnas.



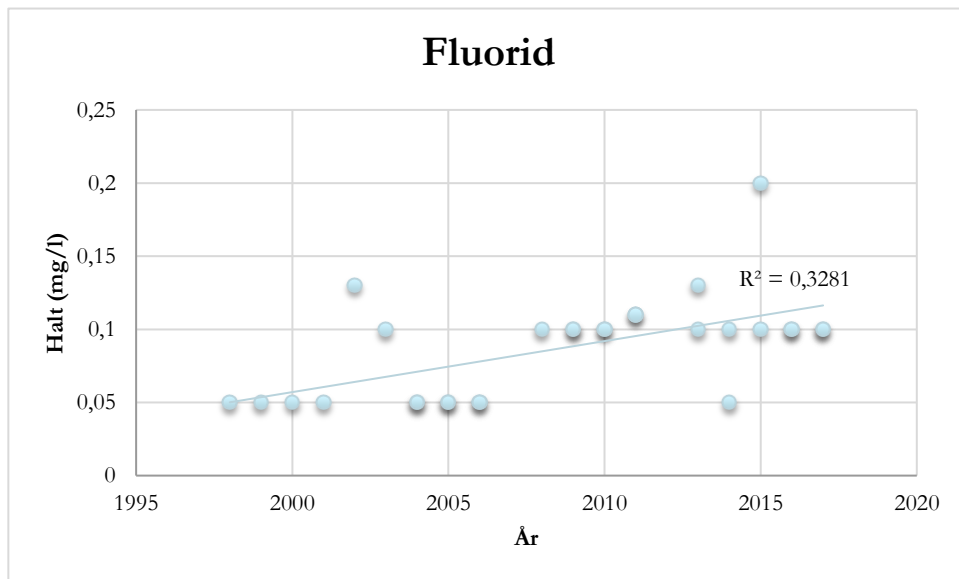
Figur 22 Trenden för sulfat är generellt nedåtgående, men har planats ut efter år 2005. Det gör att trenden inte är signifikant, $R^2=0,3942$. Data: SGU



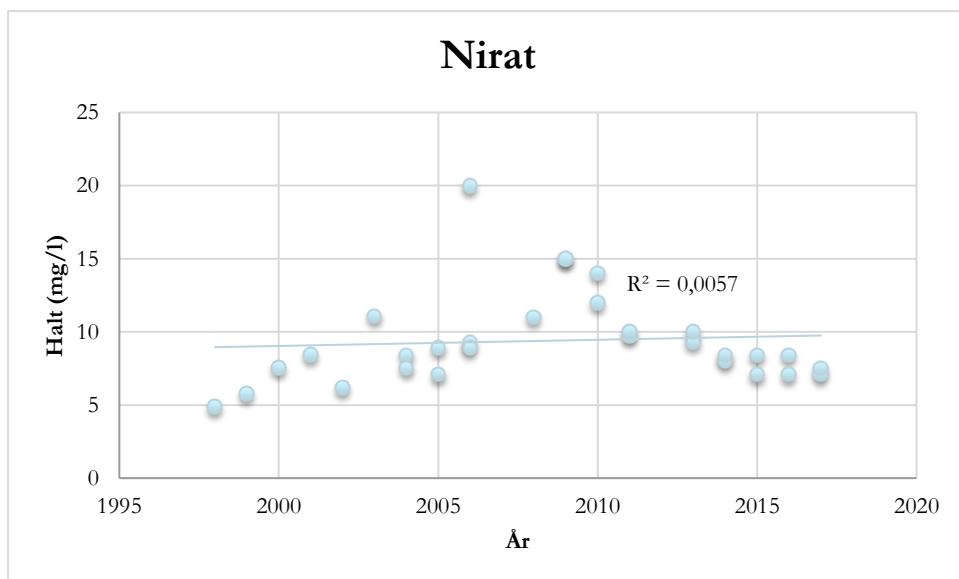
Figur 23 Halten för kalium har varierat mycket, vilket gör att det inte finns någon signifikant trend över tid, $R^2=0,1059$. Data: SGU



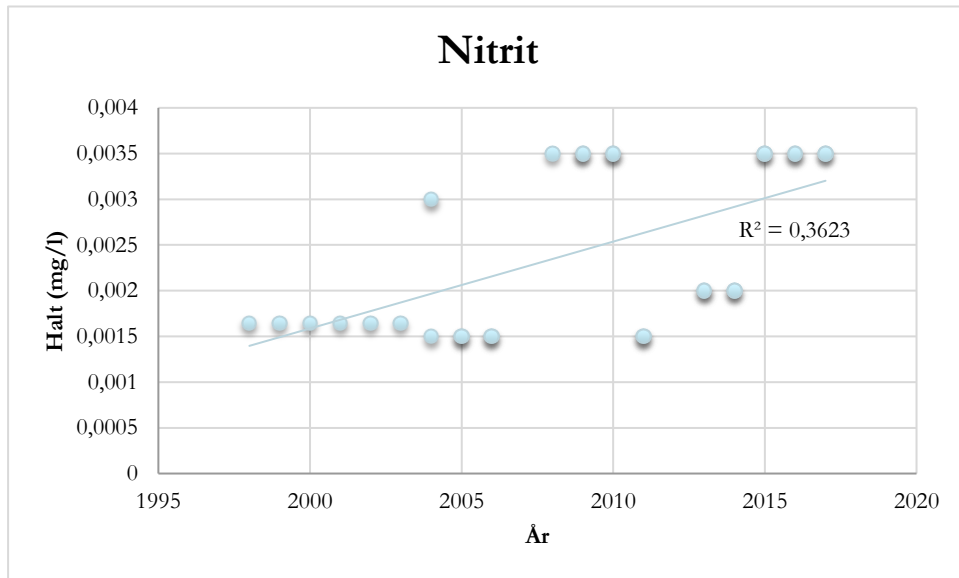
Figur 24 Konduktiviteten har minskat med tiden, men med stora variationer i värdena. Det har gjort att det inte finns någon signifikant trend, $R^2=0,2501$. Data: SGU



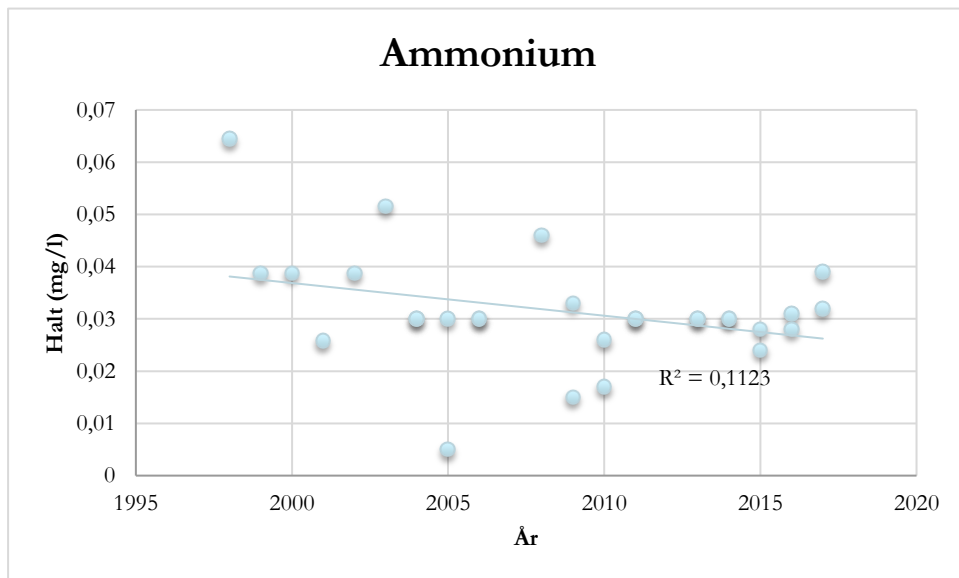
Figur 25 Halten fluorid har varierat fram och tillbaka, med generellt låga värden. Det finns ingen signifikant trend, $R^2=0,3281$. Data: SGU



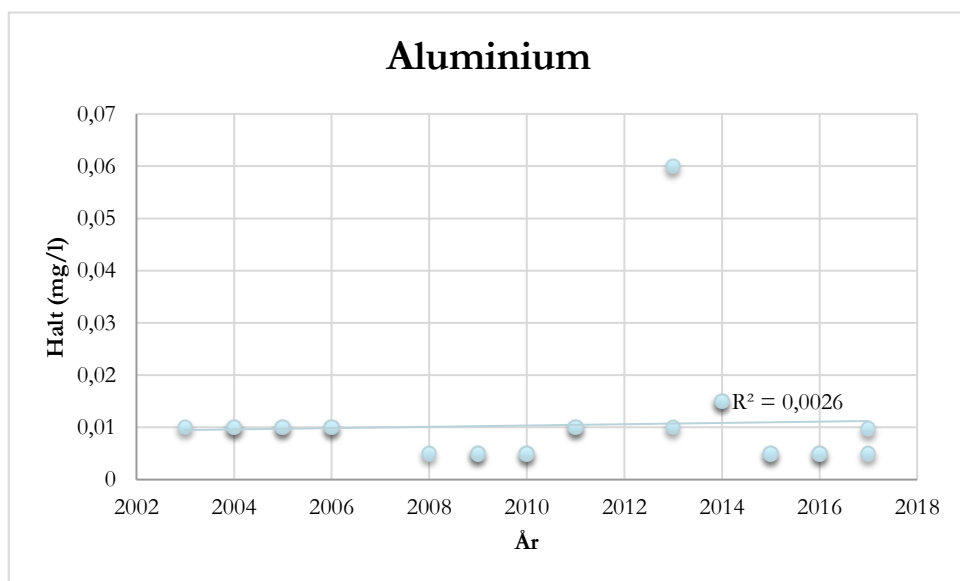
Figur 26 Trenden för nitrat var uppåtgående fram till år 2009, vartefter den vände. Det har gjort att det inte går att se någon signifikant trend, $R^2=0,0057$. Data: SGU



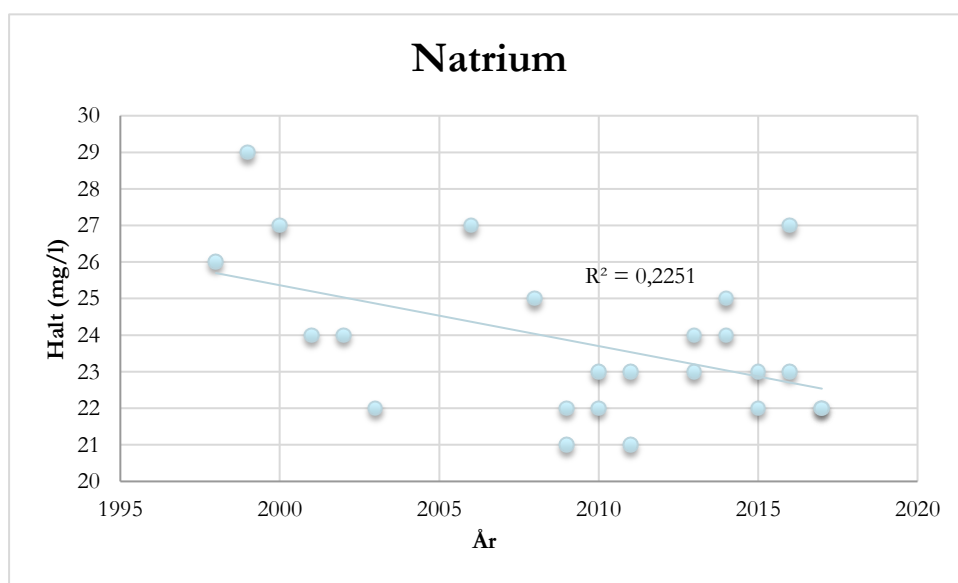
Figur 27 Halten nitrit har varierat upp och ner, vilket har gjort att det inte finns någon signifikant trend, $R^2=0,3623$. Data: SGU



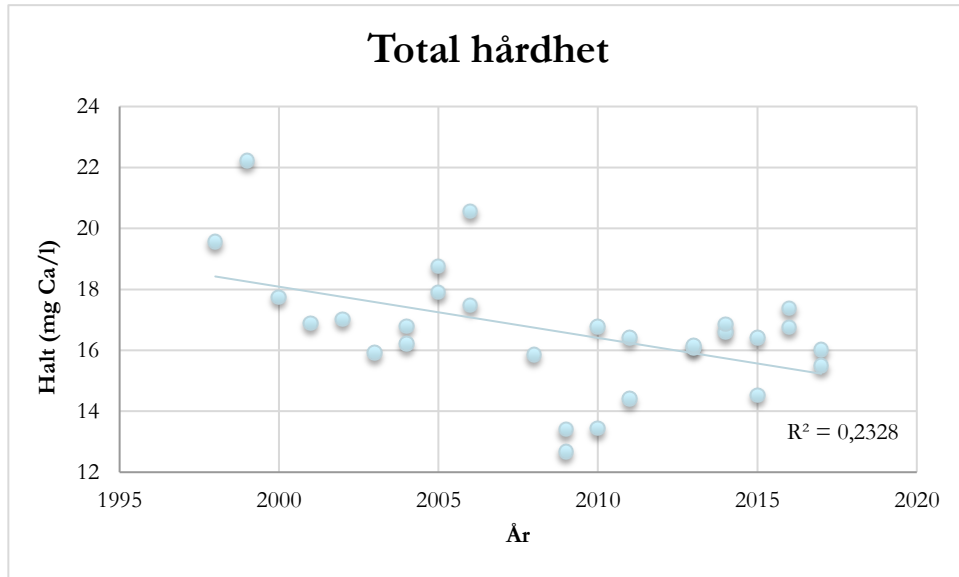
Figur 28 Halten ammonium har varierat med tiden. Det går därmed inte att se någon signifikant trend, $R^2=0,1123$. Data: SGU



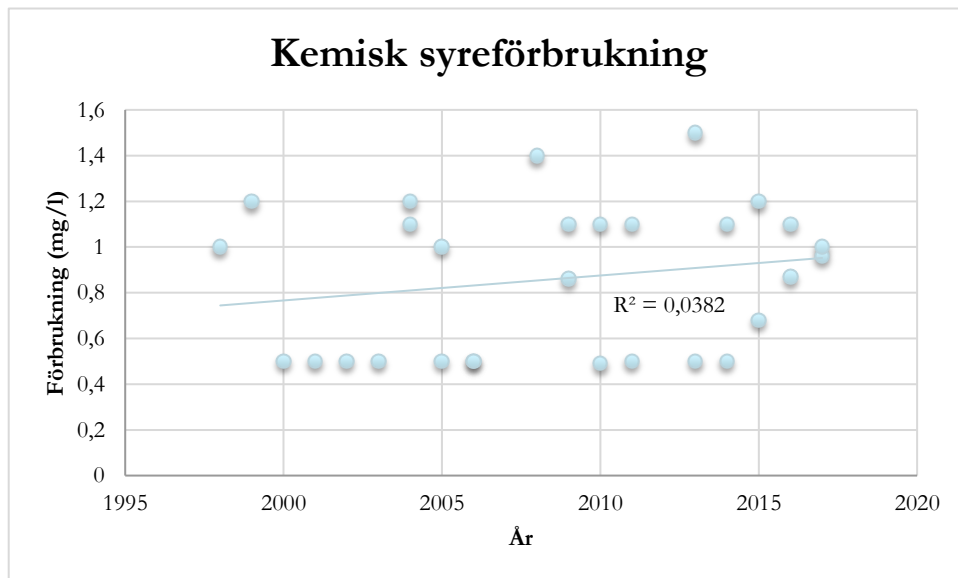
Figur 29 Trenden för aluminium är generellt stabil och låg, med undantag för ett utstickande, högre värde. Det värdet har gjort att det inte finns någon signifikant trend, $R^2=0,0026$. Data: SGU



Figur 30 Halten natrium har minskat, men med stora variationer. Det har gjort att det inte finns någon signifikant trend, $R^2=0,2251$. Data: SGU



Figur 31 Den totala hårdheten har minskat, men med stora variationer. Det har gjort att det inte finns någon signifikant trend, $R^2=0,2328$. Data: SGU



Figur 32 För den kemiska syreförbrukningen varierar värdena från mätpunkt till mätpunkt, vilket gör att det inte finns någon signifikant trend, $R^2=0,0382$. Data: SGU



LUNDS
UNIVERSITET

WWW.CEC.LU.SE
WWW.LU.SE

Lunds universitet

Miljövetenskaplig utbildning
Centrum för miljö- och
klimatforskning
Ekologihuset
223 62 Lund