



Stockholm  
University

# Bachelor Thesis

Degree Project in  
Geochemistry 30 hp

## Metallhalter och dess samband med organiskt kol, oorganiskt kol och koldioxidhalter i grundvattnet i Rotebro

Caroline Karlsson



Stockholm 2015

Department of Geological Sciences  
Stockholm University  
SE-106 91 Stockholm



## Innehåll

Förord.....	4
Sammanfattning.....	4
Inledning.....	6
Syfte och avgränsningar .....	6
Bakgrund .....	6
Projekt .....	6
Områdesbeskrivning.....	6
Metaller .....	7
Syre- och väteisotoper .....	7
Löst mängd organiskt kol, s.k. TOC (Total Organic Carbon) .....	8
Löst oorganiskt kol, DIC (Dissolved inorganic carbon) .....	8
Metoder.....	9
Provtagning i fält .....	9
Ofiltrerade och filtrerade metaller .....	10
Syre- och väteisotoper .....	10
Total Organic Carbon (TOC).....	10
Dissolved Inorganic Carbon (DIC) .....	10
Geokemiska beräkningar.....	11
Alkalinitet och CO <sub>2</sub> .....	11
Resultat och diskussion .....	12
Metaller .....	12
.....	12
Järn, mangan och aluminium .....	13
Bor och arsenik.....	13
Kalcium, natrium, kalium och magnesium .....	13
Koppar, nickel och zink.....	14
Syre- och väteisotoper .....	14
Total organic carbon (TOC).....	16
Dissolved inorganic carbon (DIC).....	17
Temperatur, pH, alkalinitet och konduktivitet.....	18
Koldioxid, järnhydroxider, kalcit och götit .....	20
Området i helhet .....	22
Slutsatser .....	22

Referenser .....	25
Böcker och artiklar .....	25
Internetkällor.....	25
Bilagor.....	27
Metaller .....	27
.....	28
Syre-och väte isotoper .....	29
Sulfider .....	30
Koldioxid, järnhydroxider, kalcit och götit .....	31
.....	31
Bilaga beskrivning av Grundvatten.....	32
N11-04GW .....	32
N11-09GW .....	32
N11-19GW .....	32
N11-21GW .....	33
N11-22GW .....	33
N11-23GW .....	34

## Figur- och tabellförteckning

Figur 1. Provtagning av metaller med 0.45 µm filter. ....	9
Figur 2. Grundvattenproverna i Rotebro har en förändring i isotopsammansättningen för dD och d18O från Global Meteoric Water Line (GMWL).....	15
Figur 3. Relationen mellan koldioxidhalt och pH i Rotebro.....	20
Figur 4. Relationen mellan kalcitmättnad och koldioxidhalt.      Figur 5. Kalcitmättnaden blir högre med högre pH i Rotebro .....	20
Figur 6. Koldioxidhalten och TOC mängden i grundvattnet i Rotebro. ....	21
Figur 7. Järnhydroxidens relation till arsenik.      Figur 8. Övermättnad av götit (goethite) ger höga halter arsenik.....	21
Tabell 1. Beräknade medelvärden för metaller i grundvatten för ofiltrerade och filtrerade prov. Värdena baseras på fyra prover tagna mellan perioden april – september 2014. ....	12
Tabell 2. Beskrivning av hur °dH och Ca mg/l.....	14
Tabell 3. TOC mg/L för grundvattenrören i Rotebro. ....	16
Tabell 4. DIC värden för grundvattenrör i Rotebro. ....	18
Tabell 5. Tabell över Temperatur, pH och alkalinitet för samtliga grundvattenrör i Rotebro tagna mellan perioden april – september 2014. ....	19
Tabell 6. Medelvärdena av metallhalterna för samtliga grundvattenrör baserade på 48 prover, varav 24 filtrerade samt 24 ofiltrerade, tagna i perioden april – september 2014. ....	22

## Förord

Jag vill tacka alla som har hjälpt mig med att genomföra detta arbete. Ett stort tack till Heike Seigmund som har genomfört analyser av syre- och väteisotoper i vatten samt DIC, och för mycket hjälp till metoddelen och all hjälp i laboratoriet som jag fått. Det var helt underbart med all hjälp. Tack till Marcus Sundbom för hjälpen med TOC-analyserna.

Jag vill även säga ett stort tack till Louise Björkvald för sitt enorma tålamod med mig och för all hjälp med provtagningarna i fält, för utlåning av utrustning och data samt för att jag fick göra mitt examensarbete för Hifab. Jag skulle aldrig klarat det här arbetet utan dig, du har varit en klippa under hela arbetet och jag har alltid kunnat fråga om hjälp, du är helt enkelt fantastisk. Tack även till Ralf Dahlgvist som hjälpte till vid flera provtagningar, och som fick stå ut med mig när Louise var sjuk. Jag vill även tacka min handledare Carl-Magnus Mörth som är briljant på alla sätt och vis, och som har hjälpt mig med beräkningar och fått mig att förstå vad jag gör ett arbete om. Tack även till Jenny Olsson som jag har fått en hel bakgrundsdata ifrån, och som fick mig att börja studera geovetenskap. Du är en pärla.

## Sammanfattning

Grundvattnet i Rotebro, Sollentuna prov togs under perioden april – september 2014 och analyserades med avseende på metallhalter, mängden organiskt kol, oorganiskt kol samt har koldioxidhalten och mättnadsgrader på mineral beräknats. Prover från 6 olika grundvattenrör togs för att studera sambandet som finns i grundvattenmagasinet för TOC, DIC, metallhalter och koldioxidhalter. Syre- och väteisotoper har använts för att ta reda på om grundvattnet har samma ursprung i alla grundvattenrör. Grundvattnets arsenikhalter har studerats mer i detalj, och dess samband med mineralförekomster och järnhydroxider har diskuterats. Koldioxidhalterna i området är höga, men kan fortfarande anses vara rimliga då de flesta är mellan 10-100 gånger högre än halterna i atmosfären, vilket är normalt för grundvatten. Däremot finns det värden som överskrider dessa och är på uppemot 90000 ppm, alltså ca 240 ggr högre än atmosfären. Dessa halter finns i området när pH är omkring 6,5, alkaliniteten ca 390 mg  $\text{HCO}_3^-$ , och när TOC halterna är nästan tre gånger så höga som de normalt är i Stockholmsområdet. Koldioxid är en gas som ingår i det s.k. karbonatsystemet och mängden TOC (som är totala mängden av organiskt kol) är kopplad till karbonatsystemet via koldioxid som bildas då TOC bryts ned och påverkar då även mängden DIC (som är den totala mängden av oorganiskt kol). TOC halterna i grundvattnet inom undersökningsområdet är höga, medelvärdet i Stockholmsområdet är 5,2 mg/L och den högsta halten i grundvattnet i området var 18,0 mg/L och den lägsta 10,4 mg/L. Detta beror på att området består av gammal havsbotten, och därför finns det mycket organiskt material i marken. Det finns

bebyggelse och industrier i området, en sjö som heter Norrviken, dagvatten och enskilda avlopp, vilka alla påverkar TOC-halten även i den närliggande marken. Isotopvärden av DIC,  $\delta^{13}\text{C}$  ligger alla omkring -16 ‰. Isotopvärdet kan ge en indikation på om kolen i DIC har sitt ursprung i silikat- eller karbonatmineralvittring. Värdena visar att alla grundvattenrör inte har samma andel oorganiskt kol från silikat- respektive karbonatmineral. De grundvattenrör där 70-75% av DIC har sitt ursprung från karbonater är N11-19GW och N11-23GW, vilket med all sannolikhet beror på att dessa har lägst halt av TOC. Höga halter av TOC finns även där det är höga halter av kisel (Si) i marken, då Si är en viktig beståndsdel i växter. Grundvattenrör med högsta andelen DIC från silikatvittring (80 %) sammanfaller med hög koncentration av TOC, och i grundvattenrör med mest infiltration från Norrviken och låg koncentration av TOC har DIC sitt ursprung i karbonatvittring (70-75%). Höga halter av metaller förekommer i området, vilket beror på att det är hög koncentration av TOC. Metaller kan binda till TOC/DOC och med hög koncentration bildas då kolloider. Till exempel förekommer järn (Fe) i höga halter som också är orsakat av att sulfatreduktion förekommer i området som löser ut järn från mark och berggrund. Då kalcium- och magnesiumhaltiga mineral är mest lättvittrade i jämförelse med av kaliumhaltiga och natriumhaltiga (undantaget salter) förekommer Ca och Mg i högst halter. Detta beror även på att grundvattnet i området har höga koldioxidhalter d v s det är en hög koncentration av kolsyra i marken som löser upp mineral effektivt och  $\text{Ca}^+$  frigörs till vattnet. Den mest anmärkningsvärda metallhalten är arsenikhalterna, vars medelvärde för filtrerade prover är nästan 5 gånger högre än Livsmedelsverkets gränsvärde för dricksvatten. Arsenik binder till järnhydroxider och kolloider, vilket är en förklaring till den höga arsenikkoncentrationen. Detta samband ses tydligt då man ser att med ökad mättnadsgrad på järnhydroxiderna (bl. a för götit,  $\text{FeO}(\text{OH})$ ) ökar även halten arsenik. Infiltration från Norrviken, som främst kan ses på grundvattnets syre- och väteisotopsammansättning, är tydlig i grundvattenrören N11-19GW och N11-23GW. Sammansättningen är olika mellan det infiltrerade vattnet från Norrviken och grundvattnet. Detta beror på att grundvattnet har en annan uppehållstid än vatten i Norrviken och att grundvattnet som inte har kontakt med Norrviken har blandats med sjövattnet och detta har gett upphov till ett mellanting mellan rent grundvatten och sjövattnet som ses i de nämnda grundvattenrören ovan.

De grundvattenrör som har lägst kalcitmättnadsgrad är de som har hög TOC koncentration, lågt pH och höga halter av koldioxid. Vid ett högt partialtryck av koldioxid i vattnet bildas kolsyra och som resultat fås ett lågt pH, vilket löser upp karbonatmineral som t ex kalcit. Därav blir systemet undermättat på kalcit vid höga halter av koldioxid och lågt pH eftersom karbonatmineral har vittrat bort och Ca koncentrationen blir därmed lägre.

## **Inledning**

### **Syfte och avgränsningar**

I detta projekt undersöks metallhalter i grundvattnet i Rotebro, och koldioxidhalter samt mättnadsgrader med avseende på olika mineral i grundvattnet har beräknats. Grundvattenprov från 6 olika grundvattenrör har provtagits för att studera sambandet som finns i grundvattenmagasinen för TOC, DIC, metallhalter och koldioxidhalter. Syre- och väteisotoper har använts för att ta reda på om grundvattnet har samma ursprung i alla grundvattenrör. Grundvattnets arsenikhalter har studerats mer i detalj, och dess samband med mineralförekomster och järnhydroxider har diskuterats.

Då detta är ett arbete på 30 hp poäng har vissa begränsningar behövt göras för att utföra detta projekt. Jordprover och utförligare undersökningar var området får sitt organiska kol ifrån skulle behöva genomföras, men tid och resurser fanns inte till för detta. Beräkningarna för mineralmättnader och koldioxidhalter har gjorts med programmet PHREEQCI, och är uppskattningar på vad som borde finnas i systemet enligt vad termodynamiska konstanter säger om i vilken riktning som systemet strävar. Halterna av metaller bedöms med SGU:s rapport *"Bedömningsgrunder för grundvatten 2013:01"* medan det inte hittats några specifika riktvärden för TOC, DIC och koldioxid. TOC har jämförts med medelvärdet från Stockholmsområdet och tagits från rapporten *"Grundvatten i Stockholm 2011-2012"* (Miljöförvaltningen, 2013). DIC-värdena har jämförts med generella värden på grundvatten från USGS (U.S. Geological Survey, vilket är en vetenskaplig organisation som förser information om geologiska system och miljöer), samt koldioxidhalterna har även dessa jämförts med generella värden på grundvatten som angivits i rapporten *"CO<sub>2</sub> distribution in groundwater and the impact of groundwater extraction on the global C cycle"* (Macpherson, 2009).

## **Bakgrund**

### **Projekt**

Examensarbetet har sin grund från Hifab AB, som har i uppdrag från Trafikverket att genomföra ett kontrollprogram för grundvattnet i samband med ombyggnaden av broar vid anslutning till väg E4 i Rotebro, Sollentuna kommun. Kontrollprogrammets syfte är att kontrollera grundvattnets kvalitet i jämförelse med bakgrundshalter, för att visa att byggnationen inte medför negativa förändringar på grundvattnets kvalitet. Bakgrundshalterna är alltså de halter som anses vara normala i detta grundvatten med avseende på exempelvis t ex metaller (Hifab, 2011).

### **Områdesbeskrivning**

Området där provtagningen och projektet sker är i Sollentuna kommun, där nya broar byggs i anslutning till väg E4 över järnvägen. Inom arbetsområdet finns ett grundvatten skyddat område vid Stockholmsåsen samt ett inre skyddsområde etablerat av Länsstyrelsen som skydd för Norrvattens reservvattentäkt i Rotsunda och Jästbolagets uttagsbrunnar för kylning (Hifab AB, 2011).

Grundvattenmagasinet ligger i Stockholmsåsen, vilken är en rullstensås som sträcker sig från söder om Stockholm samt genom Stockholm som sedan fortsätter norrut upp mot Arlanda (Hifab AB,

2011). Magasinet i Sollentuna består främst av isälvsmaterial, då det är en rullstensås och har en längd på 10 km. Detta innebär att den har en god genomsläplighet av vatten, och att det mesta av magasinets tillrinning kommer från nederbördsinfiltration. Det sker dock även tillrinning från sjön Norrviken, då grundvattenytan är lägre än sjövattnytan. Detta medför att ytvattnet främst infiltrerar magasinet under sommaren, då vattenståndet i sjön är som högst och temperaturen på grundvattnet bli därför något högre än de normalt låga värdena. Delar av magasinet täcks av lermaterial, exempelvis där byggnadsområdet befinner sig, samt mellan järnvägen och den sydliga delen av åsen vid Rotebro (Eriksson A, 2009). En vattenlöslig förorening sprids uppskattningsvis med hastigheten 3mm/år i byggnadsområdet (Hifab, 2011). Grundvattenkvalitén i magasinet har analyserats och visat på ett hårt vatten (vilket innebär att det innehåller höga halter av Ca och Mg), samt att det har en hög uranhalt om 130 mikrogram/liter. Vid Jästbolaget finns det för mycket bakterier i grundvattnet för att vara drickbart, vilket förmodas vara på grund av infiltration från Norrviken (Eriksson A, 2009).

### **Metaller**

Den kemiska sammansättningen på vattnet ändras allt eftersom, från att i början ha samma komposition som nederbörden till att ha en annan i grundvattenmagasinet. Detta beror på att vattnet reagerar med mineral i marken och interagerar med organiskt material (Eby G, 2004). Sammansättningen på grundvattnet avgörs i de allra flesta fall av vittringsreaktioner (Ingri J, 2012). När vattnet slutligen kommer till ett djup då det är isolerat från atmosfären sker ett flertal kemiska förändringar då syre förbrukas genom oxidationen av organiskt kol (Eby G, 2004), d v s nedbrytning av organiskt material. Det är främst fem element som är viktiga vid nedbrytning av organiskt kol; syre, kväve, järn, mangan och svavel. När syret förbrukas förändras redox förhållandena i systemet, vilket förenklat innebär att elektroner förflyttas i reaktionerna. När dessa sker i vatten är de även sammankopplade till dess pH (Ingri J, 2012). Vilka reaktioner som sedan sker bestäms av vilka mineraler som är närvarande. Förekommer karbonater i omgivningen kommer dessa att ändra pH när de löses upp. De lösliga mineralerna bidrar till fler anjoner i grundvattnet (Eby G, 2004). Något som påverkar vilka metaller som finns både i lösning och i suspension i systemet är kolloider. Kolloider i grundvatten består vanligtvis av lerpartiklar, silikater, organisk material eller bakterier, och är oftast större än 0.45 µm. Kolloider anses varken vara i suspension eller lösning, det finns däremot ingen definierad storlek på dessa men de brukar anses vara mellan 10 µm och 0.01 µm (Eby G, 2004). Dessa partiklar har en ytladdning som varierar, dessa partiklar kan vara antingen positivt eller negativt laddade. Det sistnämnda innebär att H<sup>+</sup> binds till hydroxidgrupperna vid lågt pH och skapar en positivt laddad yta, vilka drar åt sig anjoner. Då dessa är negativt laddade vid högre pH drar de åt sig metaller i form av katjoner. Det är främst spårmetaller som fastnar på kolloidernas ytor (Ingri J, 2012).

### **Syre- och väteisotoper**

Isotoper är grundämnen med samma kemiska egenskaper fast med en annan massa. Isotoper har alltså samma antal protoner, men olika antal neutroner (Attendorn & Bowen, 1997,s.3). Syre är det vanligaste ämnet i jordskorpan, och har tre stabila isotoper <sup>16</sup>O, <sup>17</sup>O och <sup>18</sup>O medan väte har två, <sup>1</sup>H och <sup>2</sup>H (vilket även kallas deuterium och förkortas D). Syre och väte ingår i många geologiska processer, och bildar tillsammans vattenmolekyler(H<sub>2</sub>O). Som följd av att syre har tre stabila isotoper och väte två, har vattenmolekylen nio olika isotopiska utformningar. Skillnaderna i isotopsammansättning kan analyseras genom att mäta kvoten <sup>18</sup>O/<sup>16</sup>O och D/H, vilka jämföres med en standard som kallas SMOW (standard mean ocean water). Ett positivt värde av δ<sup>18</sup>O och δD

innebär en anrikning av  $^{18}\text{O}$  och D, medan ett negativt värde tyder på motsatsen. Skillnaden av provets och SMOWs värde på  $\delta^{18}\text{O}$  och  $\delta\text{D}$  prov anges i promille. (Faure G, 1986, ss. 430-432). Dessa värden räknas ut med hjälp av ekvationerna:

$$\delta^{18}\text{O} = \frac{(^{18}\text{O}/^{16}\text{O})_{\text{sample}} - (^{18}\text{O}/^{16}\text{O})_{\text{SMOW}}}{(^{18}\text{O}/^{16}\text{O})_{\text{SMOW}}} \times 1000$$

$$\delta\text{D} = \frac{(\text{D}/\text{H})_{\text{sample}} - (\text{D}/\text{H})_{\text{SMOW}}}{(\text{D}/\text{H})_{\text{SMOW}}} \times 1000$$

Isotopsammansättning varierar tack vare olika kemiska och fysikaliska processer som sker i naturen. Flera grundämnen har en variation i isotoper t ex väte, syre, kol, kväve och svavel.

Isotopfraktionering innebär att bindningar som bildas med den lättare isotopen är svagare, tack vare mindre massa. Detta gör att den lättare bryts, vilket innebär att molekyler som exempelvis innehåller  $^{16}\text{O}$  istället för  $^{18}\text{O}$  är mer reaktiva (Faure G, 1986, ss. 429-430). Vid avdunstning av vatten blir de lättare isotoperna anrikade i vattenånga och anrikningen ökar med lägre temperatur, och på så sätt varierar därför isotopsammansättningen i vatten efter latitud, med höjd över havet och säsong. På grund av detta har sötvatten, snö och is negativa  $\delta^{18}\text{O}$  och  $\delta\text{D}$  värden, och är alltså berikade på  $^{16}\text{O}$  och H (Faure G, 1986, s.454).

### **Löst mängd organiskt kol, s.k. TOC (Total Organic Carbon)**

I vatten mäts kol som dissolved organic carbon (DOC), particulate organic carbon (POC) eller total organic carbon (TOC). DOC är kolet som kvarstår när man filtrerat vattnet genom ett 0.45- $\mu\text{m}$  filter, kolet som är kvar i vattnet anses då vara i lösning. POC är partiklarna som befinner sig i eller på filtret och TOC är den totala kolmängden i provet (DOC+POC). Alla dessa mäts genom att man omvandlar det organiska kolet till koldioxid och sedan mäter mängden koldioxid som producerats, t ex med en coulometer. Skillnaden mellan DOC och POC är stor, och vatten domineras vanligen av DOC, till kanske 90 % i de flesta fall. Källorna till kolet kan antingen tillföras till systemet från omgivande mark, som kallas alloktont, eller produceras i grundvattenmagasinet, som då kallas autoktont. Två källor till kol från utsidan av systemet är jord och växtmaterial. Koncentrationen av DOC och POC varierar beroende på typ av akvatiskt system. Grundvatten och havsvatten har låg halt av organiskt kol. Grundvatten har generellt låga värden tack vare att organiskt kol används som föda av heterotrofa mikrober och omvandlas till  $\text{CO}_2$  i syresatta vatten, eller  $\text{CH}_4$  i syrefattiga vatten, samt adsorberas kol på kornytor som sedan kemiskt och biokemiskt bryts ned till  $\text{CO}_2$ . (Eby G, 2004, ss.148-149).

TOC i grundvatten är en viktig parameter, då höga koncentrationer påverkar vattenkvalitén. Oxidationen av organiskt material kan i vissa fall förbruka allt löst syre som finns i vattnet och vattnet blir då anoxiskt (Eby G, 2004, s. 150). Andra processer tar då vid för att bryta ned det organiska materialet (d v s vara en elektronacceptor) som t ex nitratereduktion och sulfatreduktion.

### **Löst oorganiskt kol, DIC (Dissolved inorganic carbon)**

De föreningar som klassas som oorganiskt kol är koldioxid ( $\text{CO}_2$ ), kolsyra ( $\text{H}_2\text{CO}_3$ ), bikarbonat ( $\text{HCO}_3^-$ ) och karbonat ( $\text{CO}_3^{2-}$ ). De stora källorna till kol i vatten är karbonatmineral, organiskt material och atmosfäriskt  $\text{CO}_2$ . Vilken av dessa som är den huvudsakliga källan beror på systemet, t ex så är inte

atmosfäriskt CO<sub>2</sub> särskilt betydande i grundvatten. Isotopsammansättningen av DIC (summan av CO<sub>2</sub>, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> och CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>) i lösning och den isotopsammansättningen av CaCO<sub>3</sub> (kalcit) i jämvikt med lösningen är en funktion av temperatur och pH-värde. Lösligheten för karbonatmineral är hög vid låga pH och minskar vid ökande. En viktig faktor som påverkar isotopsammansättningen är om systemet är öppet eller slutet med avseende på CO<sub>2</sub>. I ett slutet system kan inte ett utbyte med CO<sub>2</sub> med atmosfären ske (Eby G, 2004, ss. 189-190). När organiskt material i marken bryts ned frigörs, CO<sub>2</sub> (kolet kretslopp, 2014). Alltså så orsakar respiration mer oorganiskt kol i marken. I Norden är de flesta växter C3-plantor, dessa använder sig av Calvin cykeln och de kommer att ha ett δ<sup>13</sup>C-värde på -27 ‰ (Faure G, 2005, s.755). DIC bildas i mark som ett resultat av vittring, av både silikater och karbonatmineral. Andelen av dessa två kan sedan beräknas utifrån vissa antaganden. Globalt sett kommer ungefär 2/3 av DIC i flodsystem från silikatvittring och 1/3 från karbonatvittring (Berner & Berner, 2012). Antas det att DIC endast kommer från silikatvittring fås ett värde på δ<sup>13</sup>C<sub>DIC</sub> om -18 ‰ i området. Detta sker då organiskt kol bryts ned och blir koldioxid och löses i vatten. Ifall ingen isotopfraktionering sker vid nedbrytning och koldioxiden löses i vatten blir isotopsammansättningen -28 ‰, blir allt detta kol bikarbonat så är isotopfraktioneringen ca +10‰ och därmed blir det förväntade värdet -18 ‰. Endast karbonatvittring ger ett värde på δ<sup>13</sup>C<sub>DIC</sub> -9 ‰. Vilket sker då organiskt kol bryts ned och blir koldioxid och löses i vatten, ifall ingen isotopfraktionering sker vid nedbrytning och koldioxiden löses i vatten blir isotopsammansättningen -28 ‰. Blir allt detta kol bikarbonat så är isotopfraktioneringen ca +10‰ och därmed blir kol från CO<sub>2</sub> -18 ‰. Om sedan hälften av allt kol kommer från karbonat som ofta är 0 ‰ blir det förväntade isotopvärdet -9 ‰, (0.5\*-18+0.5\*0). Högsta och lägsta värde som ekvationen kan anta är beräknat utifrån isotopfraktioneringsdata från Zhang m fl. (1999) och att temperaturen i grundvattnet var 5 grader. Båda dessa värden är s.k. end members och de värden som sedan observeras kan ses som en blandning mellan dessa två och ger då det relativa bidraget. Detta beräknas genom att använda formeln:

$$\delta^{13}C_{DIC} = carb \cdot \delta^{13}C_{DIC-carb} + sil \cdot \delta^{13}C_{DIC-sil}$$

$$carb + sil = 1$$

## Metoder

### Provtagning i fält

Provtagning av grundvatten från sex olika grundvattenrör genomfördes vid fyra tillfällen under



Figur 1. Provtagning av metaller med 0.45 µm filter.

perioden april - september 2014. Grundvattenrören har innan provtagning omsatts med ca 3-5 rörvolym (d v s pumpats ur), för att få ett representativt prov av grundvattnet. Eftersom vattnet blivit stillastående i rören, samt att dessa består av stål, kan leda till ökande metallhalter om inte omsättning görs. Före och efter omsättning samt innan provtagning genomförs en lodning, för att se vilken nivå grundvattnet ligger på. Pumpning och provtagning sker med dränkbara pumpar

som har blivit installerade i samtliga rör utom, N11-04GW och N11-09GW. I rör N11-23GW har två pumpar

seriekopplats för att öka lyfthöjden på vattnet. Vid N11-04GW och N11-09GW genomförs provtagningen med engångsbailers (rörhämtare) då dessa rör har långsam tillrinning, rören innehåller även stora mängder silt och finmaterial, vilket gör att omsättningen endast är mellan två-tre rörvolymmer på dessa provpunkter (Hifab AB, 2011).

Prov för metallanalys har filtrerats i fält med ett engångsfilter (0.45 µm) och en engångsspruta, men även ofiltrerade prover tas för metallanalys. Provtagning för DIC har skett med att förberedda gastäta vialer innehållande fosforsyra med hjälp engångsspruta och kanyl. TOC-proverna har samlats in i plastbägare och frysts in efter provtagning. Syre- och väteisotoperna har tagits i glasvialer. I samband med provtagningen har fältanalys gjorts av pH, konduktivitet och temperatur. Alla analyser har skett på laboratoriet vid Institutionen för Geologiska Vetenskaper (IGV).

### **Ofiltrerade och filtrerade metaller**

Metallhalterna i grundvattenproven analyserades med en ICP-OES (Thermo ICAP 6500 Duo), och provmängden var 50 ml som 100 µl koncentrerad salpetersyra tillsattes (1 % syra tillsatt). Proverna förvarades i kylskåp fram till dess att de syra tillsattes, normalt gjordes det några dagar efter provtagningen. Proverna fick sedan stå kylskåp någon vecka innan analys. ICP-OES står för Inductively Coupled Plasma-Optical Emission Spectroscopy. Detta innebär att plasman exciterar atomer i provet, och spektroskopi används för att se vilka ämnen/atomer som finns i provet genom att analysera ljusintensiteten på olika våglängder. Syra tillsätts vattnet för att vara säker på att alla metaller är upplösta i provet (Hägglund A, 2009). Enligt Carl-Magnus Mörth, professor vid IGV ger denna maskin en noggrannhet om ±5 %.

### **Syre- och väteisotoper**

Heike Seigmund, Laboratorieingenjör på IGV anger att isotopanalysen av syre och väte utfördes med ett instrument från Los Gatos Research, Kalifornien, USA (LWIA, Laser Water Isotope Analyzer). Analysnoggrannheten är beräknad till bättre än 0.6‰ för δD och 0.15‰ för δ<sup>18</sup>O. Instrumentet använder sig av en s.k. CRDS teknik, Cavity Ring Down Spectroscopy (Los Gatos Research, 2014). Proverna som togs i fält förvarades i en glasvial om 100 ml, vilket senare fördes över till en septumförseglad glasvial som används i provväxlaren kopplad till instrumentet.

### **Total Organic Carbon (TOC)**

För att analysera TOC koncentrationen i proverna har en Shimadzu TOC-L CPH använts. Proverna tillsätts en liten mängd syra, vilket då omvandlar det oorganiska kolet som finns i provet till koldioxid som sedan tas sedan tas bort genom att bubbla provet med luft. TOC mäts sedan genom katalytisk förbränning där mängden CO<sub>2</sub> som bildas detekteras. Instrumentet kan upptäcka så lite som 4 µg/L (SHIMADZU, 2014).

### **Dissolved Inorganic Carbon (DIC)**

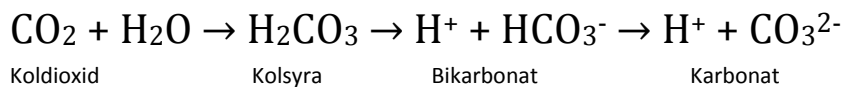
Enligt Heike Seigmund Laboratorieingenjör på IGV injicerades vattenproverna direkt i fält in i en 12 ml septum förseglad glasvial (Labco Limited, cat no 238W) som innehöll 100 µL 99 % H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>, och som tidigare blivit sköljd med helium (100 ml/min) under fem minuter. Analyserna gjordes med en Thermo Finnigan MAT 253, som är en masspektrometer som mäter isotopkvoter enligt en teknik som brukar kallas IRMS, Isotope Ratio Mass Spectrometry, där CO<sub>2</sub>-gasen i glasvialerna fördes in i masspektrometern med en enhet som heter Gasbench II. Noggrannheten i analysen är bättre än 0.1‰ för δ<sup>13</sup>C.

### Geokemiska beräkningar

Det förväntade koldioxidtrycket i grundvattnet ( $\text{CO}_2(\text{g})$ ), samt mättnadsgraden på järnhydroxider ( $\text{Fe}(\text{OH})_3$ ) och kalcit har beräknats genom att använda analysvärden från pH, alkalinitet, temperatur och de analyserade metallhalter. Beräkningen gjordes genom att mata in data i programmet PHREEQCI. PHREEQCI är utformat för att genomföra flera olika typer av geokemiska beräkningar, bland annat mättnadsgraden (eller mättnadsindex), vilket ger en uppfattning om vilka mineraler som kan kontrollera koncentrationerna av de element som finns i lösning (U.S: Geological Survey, 2014).

### Alkalinitet och $\text{CO}_2$

Nedbrytningen av organiskt material ökar  $\text{CO}_2$  halten i grundvattnet. Vid lågt pH går reaktionen nedan åt vänster. Vilket då gör att jämvikten mellan kolsyra och koldioxid + vatten blir den dominerande, vilket leder till att koldioxidhalten blir högre.



Alkalinitet definieras som,  $\text{Alk} = \text{HCO}_3^- - \text{H}^+$  i sötvatten, d v s koncentration av bikarbonatjoner minus vätejoner. Även andra system kan påverka alkalinitet, t ex organiskt kol (DOC) som fungerar som en anjon och då ger en minskande alkalinitet med högre halt av DOC.

## Resultat och diskussion

### Metaller

För att bedöma resultaten av de analyserade metallhalterna så har uppmätta halter jämförts med motsvarande halter i SGU:s rapport "Bedömningsgrunder för grundvatten 2013:01". SGU:s bedömningsgrunder tillämpar fem olika klassificeringar 1-5; mycket låg halt=1, låg halt=2, måttlig halt=3, hög halt=4 samt mycket hög halt=5. SGU:s tabell är med i bifogad bilaga. För att vattnet skall anses otjänligt som dricksvatten krävs det att halterna skall tillhöra klass 5, mycket hög halt.

Sett över hela Sverige så är grundvattenkvaliteten varierande, vilket beror på olika geologiska förutsättningar. SGU har i rapporten "Bedömningsgrunder för grundvatten 2013:01" delat upp Sverige i nio regioner och fem grundvattenmiljöer. Rotebro, samt hela Stockholmsområdet tillhör regionen 'Upplands kalkpåverkade områden'. Detta innebär att området utgörs av urberg och kalkhaltiga jordar. Jordarna har den kemiska sammansättningen på grund av sitt bergartsinnehåll, som till viss del kommer från sedimentära bergarter i Bottenhavet.

Den naturliga kemiska sammansättningen i svenska grundvatten varierar stort, och beror på vittringsbenägenheten av berggrunden, nederbördens kemiska sammansättning samt kontakttiden mellan vatten och mark. Hur lång tid det tar för ett vatten att komma ned till grundvattenmagasinet har betydelse för den kemiska sammansättningen av vattnet. Ett vatten som tar lång tid på sig reagerar mer med omgivningen än ett vatten som tar kort tid sig. Detta beror på en rad olika faktorer som t ex hur mycket det regnar och markens fysiska egenskaper. Då grundvatten inte består av en homogen blandning (d v s sammansättningen varierar under året) krävs det att flera prov tas för att kunna beskriva grundvattenkvaliteten.

**Tabell 1.** Beräknade medelvärden för metaller i grundvatten för ofiltrerade och filtrerade prov. Värdena baseras på fyra prover tagna mellan perioden april – september 2014.

Medelvärden för analysresultat av ofiltrerade metaller												
Prov	Al mg/l	Fe mg/l	Mn mg/l	As µg/l	Cu mg/l	Ni µg/l	Zn mg/l	Ca mg/l	K mg/l	Mg mg/l	Na mg/l	B mg/l
N11-04GW	0,001	1,045	0,056	129,235	0,003	1,135	0,005	39,415	8,630	10,610	84,118	1,872
N11-09GW		0,839	0,090	93,310	0,001	2,107	0,002	35,230	4,890	6,593	28,083	0,553
N11-19GW		0,097	0,003	57,420	0,003		0,002	28,990	3,819	3,222	23,233	0,417
N11-21GW		0,191	0,021	31,591	0,001	0,623	0,001	22,473	2,588	3,675	16,103	0,400
N11-22GW		0,052	0,017	53,815	0,001	0,942	0,003	44,603	4,339	6,490	17,998	0,514
N11-23GW		0,045	0,005	60,203	0,004	0,780	0,002	35,578	4,819	4,662	29,178	0,405

Medelvärden för analysresultat av filtrerade metaller												
Prov	Al mg/l	Fe mg/l	Mn mg/l	As µg/l	Cu mg/l	Ni µg/l	Zn mg/l	Ca mg/l	K mg/l	Mg mg/l	Na mg/l	B mg/l
N11-04GW	0,006	1,145	0,115	65,988	0,002		0,004	40,298	9,406	12,765	90,515	0,693
N11-09GW	0,002	0,938	0,129	53,108	0,001	1,327	0,002	63,910	7,074	10,056	38,340	0,346
N11-19GW		0,160	0,006	40,385	0,005		0,012	39,560	5,436	4,521	30,338	0,289
N11-21GW		0,643	0,072	39,268	0,001	1,280	0,001	87,288	7,239	8,677	37,455	0,295
N11-22GW		0,094	0,026	45,168	0,002	1,098	0,001	123,900	6,778	9,507	32,390	0,325
N11-23GW		0,035	0,005	35,640	0,003	0,651	0,001	35,040	4,747	4,737	27,553	0,229

Klassindelning enligt bedömningsgrunder				
1	2	3	4	5
Mycket låg halt	Låg halt	Måttlig halt	Hög halt	Mycket hög halt

### **Järn, mangan och aluminium**

Järn, mangan och aluminium är vanligt förekommande i den svenska berggrunden och är därför naturligt förekommande i grundvatten. Halterna på dessa metaller styrs av pH- och redoxförhållandena. I normala markförhållanden faller det lösta aluminiumet ut vid vittring och fastläggs i markens övre delar som aluminiumhydroxider, vilket då leder till att halter över 0,1 mg/L sällan överstigs vid pH över 5,5. Vid vatten med hög organisk halt är höga värden av järn och mangan vanliga, då nedbrytning av det organiska materialet ofta leder till reducerande förhållanden. Det leder till sjunkande redoxpotential, vilket i sin tur leder till ökade halter av järn och mangan. Aluminium visade i alla prov mycket låga halter, medan järn varierade från mycket låga till mycket höga halter. Mangan visade även den en viss variation på halterna mellan mycket låga till måttliga.

### **Bor och arsenik**

I sedimentära bergarter kan höga halter av bor (B) förekomma, vilket oftast sker då pH är högre än 6,5. Vid halter av bor över 1 mg/L anses vattnet att vara otjänligt, vilket också uppmättes i ett av proven.

Arsenik påträffas i förhöjda halter i områden med sulfidrika bergarter och malmer med äldre sedimentbergarter (och sådana finns i Mälardalen). Arsenik mobiliseras och kommer i lösning genom oxidation av sulfider där arsenik som är adsorberat till järnhydroxider frigörs när järn fällt ut. Grundvatten med höga halter järn har därför en större möjlighet att ha höga halter av arsenik. Desto högre pH vattnet har, desto större mängd arsenik finns löst i vattnet, då arseniken binder till järnhydroxider främst under sura eller nära neutrala förhållanden. Arsenik frigörs även under reducerande förhållanden, utom vid sulfatreduktion (Varsa'nyi I, et al, 2006 s.950). Arsenik är cancerframkallande och skadligt i halter över 10 µg/L i dricksvatten, och anses då vara otjänligt enligt Livsmedelsverket (Sveriges geologiska undersökning, 2013). I region F är det naturligt höga eller mycket höga arsenikhalter, men förhöjda halter kan även bero på mänsklig aktivitet. Samtliga prov i denna studie visade på halter över 10 µg/L, vilket då gör vattnet otjänligt som dricksvatten. I rapporten "*Bedömningsgrunder för grundvatten 2013:01*" av Sveriges geologiska undersökning anges att grundvatten med halter över 10 µg/L ge dricksvatten som anses vara otjänligt, medan Livsmedelverket har 10 µg/L som högsta halt av arsenik som får finnas i dricksvatten innan det klassas som otjänligt. Hur arseniknivåerna i vattnet klass indelas beror därmed på om man väljer att använda sig av SGU:s eller Livsmedelverkets bedömning. Eftersom proverna i denna rapport är tagna från grundvattnet, och dricksvattnet från vattentäckten ej har granskats, har arsenikhalterna bedömts efter nivåerna angivna i rapporten "*Bedömningsgrunder för grundvatten 2013:01*".

### **Kalcium, natrium, kalium och magnesium**

Kalcium, natrium, kalium och magnesium är de positiva joner som finns i högst halter i grundvattnet. Dessa joner tillförs vattnet genom vittring av berggrund samt även genom nederbörd. Kalcium och magnesium är de joner som tillsammans utgör vattnets hårdhet. Mineraler som innehåller Ca och Mg är ofta lättvittrade och förekommer främst i karbonatmineral (kalkbergarter). Höga halter av natrium förekommer i områden som tidigare varit täckta av hav, eller områden med sedimentär berggrund som bildats i hav. För att beräkna den totala hårdheten på vatten multipliceras halten magnesium med 1,65 innan den adderas till kalciumhalten (Sveriges Geologiska Undersökning, 2013). Oftast beräknas vattnets hårdhet med tyska hårdhetsgrader °dH, en hårdhetsgrad motsvarar ca 7,14 mg Ca/l.

$$\text{Vattnets totalhårdhet } Ca(\text{mg/L}) = Mg \cdot 1,65 + Ca$$

$$8,377 \cdot 1,65 + 64,999 = 78,821$$

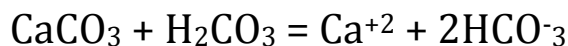
$$\text{°dH} = 78,821 / 7,14 = 11,039$$

I Sverige anges vattnets tyska hårdhetsgrader i Ca (mg/L) och halter på över 60 mg/l Ca anses vara hårt vatten. Medelvärdet av de filtrerade proverna i Rotebro gav en hårdhet på 78,82 Ca mg/l, vilket innebär att vattnet anses vara ett hårt vatten (Sveriges Geologiska Undersökning, 2013). Halterna i de olika proverna varierade från låg halt till hög halt, medelvärdena för samtliga metaller och prover tas upp i den senare delen (se 'Området i helhet').

**Tabell 2.** Beskrivning av hur °dH och Ca mg/l ger klassifikationen på vattnets tillstånd.

Tillstånd	°dH	Ca mg/l
Mycket mjukt	0-2	<15
Mjukt	2-5	15-35
Medelhårt	5-10	35-70
Hårt	10-21	70-150
Mycket hårt	>21	≥150

Kalcitmättnaden är som lägst i de grundvattenrör som har hög koldioxidhalt, mycket TOC och ett lågt pH. Detta beror på att grundvatten som är rikt på CO<sub>2</sub>, tack vare att det tillförts av organiskt material, kommer ha ett högt koldioxidtryck och ett lågt pH. Vid en hög andel av koldioxid i vattnet bildas mycket kolsyra, vilket löser upp karbonater (kalcit). Då det finns mer kolsyra tillgängligt ökar andelen Ca<sup>+</sup> som kan lösas ut i systemet utan att det blir övermättat. Därav blir systemet undermättat på kalcit vid höga halter av koldioxid och lågt pH (Eby G, 2004).

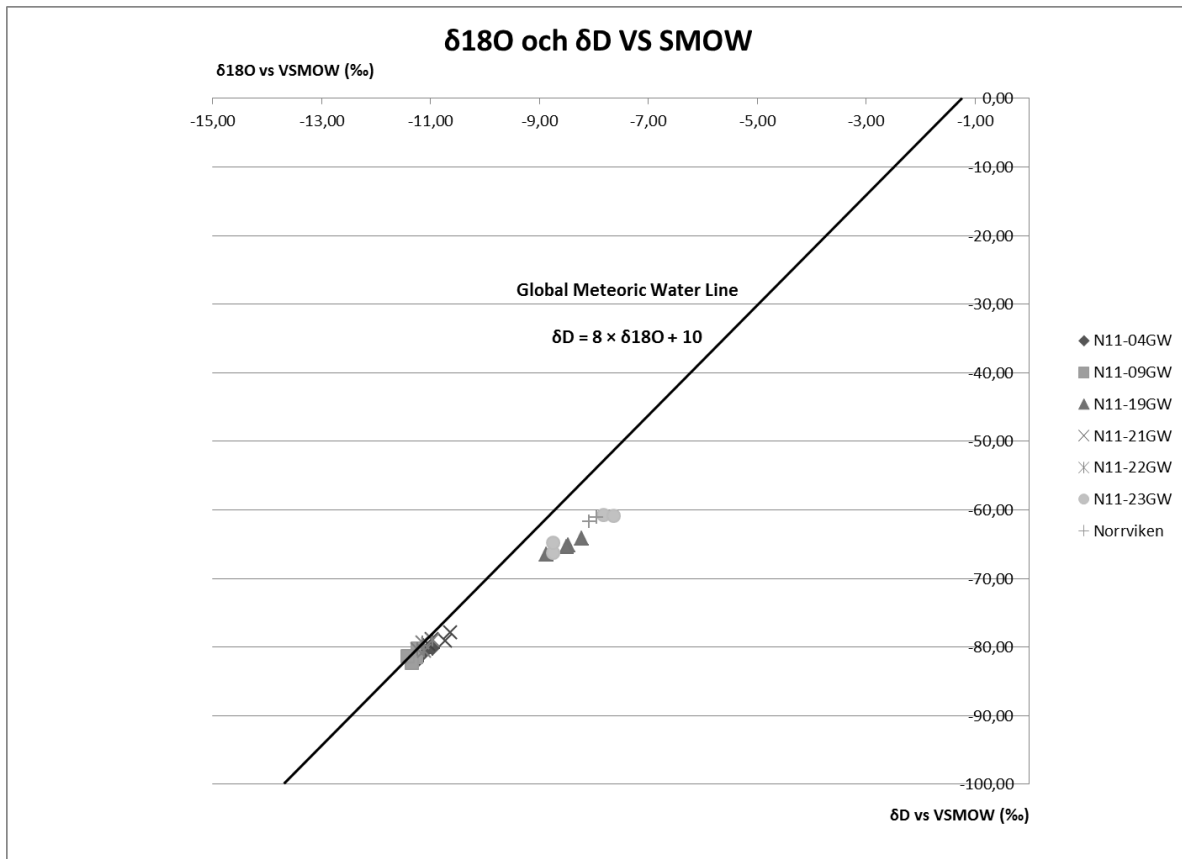


### Koppar, nickel och zink

Vanligtvis är koncentrationen av Cu, Ni och Zn låga i grundvatten, men kan vara högre beroende på berggrund och processer som frigör dessa. Metallerna i fri form förekommer främst som tvåvärda positiva joner och som organiska komplex (t ex med DOC). Alltså förväntas koncentrationen vara högre då halten organiskt material är hög. Proverna i denna studie visade på värden mellan mycket låga till låga halter.

### Syre- och väteisotoper

Syre- och väteisotoper uttrycks som ett värde i förhållande till en standard som kallas SMOW, Standard Mean Ocean Water, för att kunna se ifall vattnet är anriktat i jämförelse med standarden, dvs anrikning <sup>16</sup>O/<sup>1</sup>H eller <sup>18</sup>O/<sup>2</sup>H.



**Figur 2.** Grundvattenproverna i Rotebro har en förändring i isotopsammansättningen för dD och d18O från Global Meteoric Water Line (GMWL).

Av proverna som är tagna inom området framgår att grundvattenrören N11-23GW och N11-19GW har en väldigt liknande isotopisk sammansättning som sjön Norrviken. Detta beror på att det sker infiltration från sjön till grundvattnet vid dessa platser. Då grundvatten i dessa grundvattenrör har blivit blandade med Norrvikens vatten innebär detta att de har ett högre  $\delta^{18}\text{O}$  och  $\delta\text{D}$  värde än de övriga grundvattenrören. De övriga grundvattenrören har en snarlik komposition till varandra, och överensstämmer med den s.k. global vattenlinjen (ett samband som finns om vattnet kommer från nederbörd, GMWL, Global Meteoric Water Line). Det är förväntat att isotopsammansättningen på nederbörden och grundvattnet kommer att avvika från den globala linjen eftersom avdunstning av vatten gör att de lättare isotoperna blir anrikade i vattenånga och anrikningen ökar med bl. a med lägre temperatur. Isotopsammansättningen i vatten varierar efter latitud, höjd över havet och säsong. På grund av detta har sötvatten, snö och is negativa  $\delta^{18}\text{O}$  och  $\delta\text{D}$  värden, och är alltså berikade på  $^{16}\text{O}$  och H.

Proverna som är tagna från Norrviken och grundvattenrören N11-23GW och N11-19GW avviker från GMWL, då dessa har längre D än vad som beräknas från GMWL. Att dessa skiljer sig med resultaten från de övriga grundvattenrören har sin förklaring i att vattnet har längre uppehållstid för de övriga rören, och att vattnet (främst H) har avdunstat från då inte den isotopsammansättningen som GMWL förutspår.

## Total organic carbon (TOC)

**Tabell 3.** TOC mg/L för grundvattenrören i Rotebro.

Prov	Datum	TOC mg/l
N11-04GW	2013-04-05	15,3
N11-04GW	2013-06-04	16,7
N11-04GW	2013-08-20	18,0
N11-04GW	2013-09-26	17,9
N11-09GW	2013-04-05	12,2
N11-09GW	2013-06-04	11,0
N11-09GW	2013-08-20	11,5
N11-09GW	2013-09-26	10,5
N11-19GW	2013-04-05	10,9
N11-19GW	2013-06-04	11,1
N11-19GW	2013-08-20	11,6
N11-19GW	2013-09-25	10,9
N11-21GW	2013-04-05	14,1
N11-21GW	2013-06-04	14,8
N11-21GW	2013-08-20	15,4
N11-21GW	2013-09-25	14,7
N11-22GW	2013-04-04	13,4
N11-22GW	2013-06-04	16,7
N11-22GW	2013-08-20	14,9
N11-22GW	2013-09-25	14,4
N11-23GW	2013-04-05	14,0
N11-23GW	2013-06-04	11,2
N11-23GW	2013-08-20	10,4
N11-23GW	2013-09-25	10,5

grundvatten, fast i detta fall stämmer inte detta. Vilket förklaras med att området är så pass rikt på organiskt material.

Vattnets innehåll av organiska ämnen är en viktig parameter då många ämnens löslighet, förekomst och mobilitet beror på

detta. Grundvatten har vanligtvis mycket låga halter av organiskt material. Löst mängd av organiskt kol (TOC) möjliggör för metaller att finnas i lösning och transporteras som organiska komplex. Detta leder till att ju mer TOC grundvattnet innehåller desto mer metaller kan finnas i vattnet. Generellt sett så borde alltså grundvattenrören med mer TOC även innehålla mer metaller, vilket i Rotebro inte stämmer helt. Vattnet kanske är inte homogent blandat i grundvattenmagasinet, vilket påverkar resultatet men även andra faktorer påverkar lösligheten av metaller som t ex pH och redox. Grundvattenrören N11-047GW, N11-21GW och N11-22GW har mycket högre halter TOC än de andra. Detta förklaras genom att N11-19GW och N11-23GW har stor infiltration av Norrviken, vilken kan ses på isotopsammansättningen samt temperaturen i grundvattnet. Området är mycket rikt på organiskt material, vilket har till följd av att när grundvattnet blandas ut med Norrviken så blir det ett mer utblandat vatten. Grundvattnet har haft lång tid på sig att ta sig igenom marken och föra med sig organiskt material, medan grundvattenrören N11-19GW och N11-23GW konstant tillförs nytt vatten från Norrviken (där halten TOC är mycket lägre), vilket leder till att halterna med TOC inte är lika höga för de provtagningsplatserna. Vanligtvis har infiltrerande vatten högre halter av TOC än djupare liggande

Höga koldioxidhalter i grundvattnet (som presenteras i resultatdelen *Koldioxid, järnhydroxider, kalcit och götit*) tyder också på att det finns mycket organiskt material i området, detta beror troligtvis på att området var tidigare havsbotten, vilket innebär att det finns mycket organiska sediment som kan brytas ned.

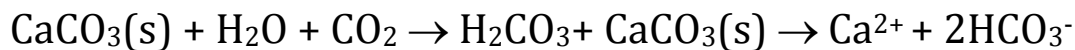
I Stockholm ligger medelvärdet på TOC i grundvatten på 5,2 mg/l, medan medelvärdet av proverna i Rotebro ger ett värde på 13,4 mg/l, vilket innebär att trots stor vatteninfiltration så ligger grundvattnet i Rotebro högt över medelvärdet (Miljöförvaltningen, 2013). Alltså, innehåller grundvattnet mer organiskt material än de flesta andra grundvatten och det betyder att metallhalten kan vara högre i Rotebro. Då detta är ett område med bostäder och industriella aktiviteter kan det

därmed antas att organiskt material kommer till systemet även från dessa källor. Sjön Norrviken får även dagvatten och vatten från enskilda avlopp samt lakvatten från Nibbletippen i utkanten av Väsby kommun (Renman E., 2011). Dessa ökar TOC-halterna både i sjön och i hela området. Livsmedelsverket anger att gränsvärde på TOC skall ställas i relation till COD (oxiderbarheten) och mätas under minst två år. Vilket inte är möjligt för detta arbete, då provtagningarna varade mellan april och september.

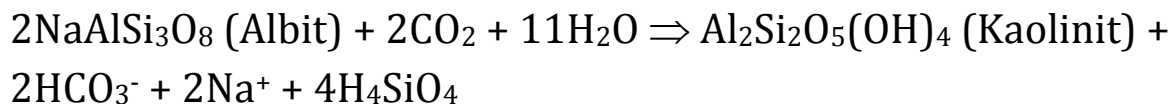
## Dissolved inorganic carbon (DIC)

Det finns två orsaker till höga halter av DIC i grundvattnen, dels karbonater/silikater som vittrar och organiskt kol som respireras. När det organiska materialet respireras så bildas koldioxid, och som kan vara en stor källa för DIC. Isotopvärdet för kol ( $\delta^{13}\text{C}$  värdet) bildat från fotosyntes (C3-växter) har ett medelvärde som är -27 ‰. Bryts detta kol ned och löses i vatten anrikas  $^{13}\text{C}$  i bikarbonat, denna process kallas för isotopfraktionering (Hoefs, 1997). Isotopfraktioneringen är temperaturberoende och blir normalt högre vid lägre temperatur. En modell där antagandet är att DIC har sitt ursprung i karbonat- respektive silikatvittring gör det möjligt att beräkna andelen från karbonat- respektive silikatvittring. Modellen bygger på följande reaktioner;

### Vittring av kalcit/karbonater



### Vittring av silikater



Från reaktionerna ovan ses att DIC (här som bikarbonat) kommer för karbonatvittring till 50 % från karbonaten själv och 50 % från  $\text{CO}_2$  i marken. För silikater kommer all DIC från  $\text{CO}_2$  i marken,

Det är nu möjligt att beräkna s.k. end members, d v s det högsta och lägsta värde som isotopvärdet i DIC kan anta och sedan används en blandningsmodell enligt följande;

$$\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}} = \text{carb} \cdot \delta^{13}\text{C}_{\text{DIC-carb}} + \text{sil} \cdot \delta^{13}\text{C}_{\text{DIC-sil}}$$

$$\text{carb} + \text{sil} = 1$$

för att beräkna ursprungsandelen för karbonat- respektive silikatvittring. Högsta och lägsta värde som ekvationen kan anta är beräknat utifrån isotopfraktioneringsdata från Zhang m fl. (1999) och att temperaturen i grundvattnet var 5 grader. Då blir det lägsta värde som ekvationen kan anta (allt kommer då från silikatvittring,  $\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC-sil}}$ ) -18 ‰ och det högsta (allt kommer från karbonatvittring  $\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC-carb}}$ ) -9 ‰.

Ekvationerna ovan används för att räkna ut hur många procent av DIC som kommer från silikater och karbonatmineral. Globalt så kommer ca 2/3 från vittring av silikater och 1/3 från karbonater (Berner

och Berner, 1996). Att det är karbonater istället för silikater som dominerar i grundvattenrören N11-19GW och N11-23GW, som båda har en stor infiltration från Norrviken är inte förvånande. I de undersökta grundvattenrören finns det ett samband mellan höga halter av TOC och höga halter av kisel. Då halterna av TOC är lägre kommer större delen från karbonatvittring, istället för som i de övriga grundvattenrören där TOC halterna är högre och silikatvittring dominerar.

**Tabell 4.** DIC värden för grundvattenrör i Rotebro.

Prov	Datum	DIC/13C	% Silikater	% Karbonater
N11-04GW	2013-06-04	-16,33	81	19
N11-04GW	2013-08-20	-16,45	83	17
N11-04GW	2013-09-26	-16,07	79	21
N11-09GW	2013-06-04	-13,95	55	45
N11-09GW	2013-08-20	-14,19	58	42
N11-09GW	2013-09-26	-13,91	55	45
N11-19GW	2013-06-04	-12,04	34	66
N11-19GW	2013-08-20	-11,62	29	71
N11-19GW	2013-09-25	-11,43	27	73
N11-21GW	2013-06-04	-16,22	80	20
N11-21GW	2013-08-20	-16,37	82	18
N11-21GW	2013-09-25	-16,09	79	21
N11-22GW	2013-06-04	-16,4	82	18
N11-22GW	2013-08-20	-16,37	82	18
N11-22GW	2013-09-25	-16,13	79	21
N11-23GW	2013-06-04	-11,49	28	72
N11-23GW	2013-08-20	-11,05	23	77
N11-23GW	2013-09-25	-10,86	21	79

$\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$  i grundvatten har normalt ett värde på -5 till -25 ‰ (U.S: Geological Survey, 2014). Vilket innebär att de värden som uppmätts får anses vara relativt låga. Det beror på att mycket organiskt material i området respirerats och som sedan har bildat DIC.

### Temperatur, pH, alkalinitet och konduktivitet

I grundvattnet mäts temperaturer, en viktig parameter som påverkar olika sorters processer i vattnet, t ex upplösning av mineraler, nedbrytningen av organiskt material och gasers löslighet. För att använda grundvatten som dricksvatten är det lämpligt att en jämn och låg temperatur på vattnet erhålls året runt. Alla rör, utom N-23GW, har en temperaturförändring på 2-5 °C, vilket innebär en måttlig men inte påtaglig påverkan på systemet. Detta innebär att dricksvattnet kan komma att påverkas av temperaturhöjningen, men inte så pass påtagligt att det behöver åtgärdas eller att vattnet blir odrickbart. Grundvattenrör N11-23GW har däremot förändringar i temperaturen på över 10 °C, detta rör anses då ha en mycket stor påverkan av temperaturen och detta innebär då att mikrobiologiska, kemiska processer och vattnets flödesriktningar kan komma att variera och förändras på grund av temperaturskillnaderna under året (Sveriges Geologiska Undersökning, 2013).

Alkalinitet mäter man för att få reda på vattnets buffringsförmåga, alltså kapaciteten att motstå förändringar i pH. Förändringar i pH beror på att väte eller hydroxidjoner tillförs vattnet (Eby G,

2004). Tillförsel av väte eller hydroxidjoner beror på processer i vattnet, t ex hög primärproduktion leder till undertryck av CO<sub>2</sub> i vattnet som gör att pH stiger och vittring av sulfider frigör vätejoner som gör att pH sjunker. Respiration frigör koldioxid som gör att pH sjunker. Vid nedbrytning av organiskt material är syre elektronacceptor och koldioxid bildas, koldioxid och vatten bildar kolsyra som vittrar av omgivande mineral. Vid vittring bildas bikarbonat samt baskatjoner, och bikarbonat är den största aktören i vattnets buffringsförmåga.

**Tabell 5.** Tabell över Temperatur, pH och alkalinitet för samtliga grundvattenrör i Rotebro tagna mellan perioden april – september 2014.

Prov	Datum	Temp	pH	Alkalinitet mg HCO <sub>3</sub>	Kond mS/m
N11-04GW	2013-04-05	7,2	7,54	430	122
N11-04GW	2013-06-04	9,4	7,52	450	121
N11-04GW	2013-08-20	10,03	7,56	440	105
N11-04GW	2013-09-26	9,9	7,36	460	112
N11-09GW	2013-04-05	6,4	7,23	330	97
N11-09GW	2013-06-04	9,4	7,6	280	85
N11-09GW	2013-08-20	10,7	7,77	270	70
N11-09GW	2013-09-26	8	7,33	240	94
N11-19GW	2013-04-05	10,6	7,53	200	65
N11-19GW	2013-06-04	10,1	7,64	210	60
N11-19GW	2013-08-20	11,4	7,75	190	51
N11-19GW	2013-09-25	11,8	7,43	200	55
N11-21GW	2013-04-05	9,2	7,38	360	106
N11-21GW	2013-06-04	9,4	6,95	390	104
N11-21GW	2013-08-20	9,6	7,06	380	94
N11-21GW	2013-09-25	9,3	7,09	350	98
N11-22GW	2013-04-04			390	99
N11-22GW	2013-06-04	10	7,01	400	96
N11-22GW	2013-08-20	10,1	6,56	390	94
N11-22GW	2013-09-25	9,6	6,97	390	94
N11-23GW	2013-04-05	4,3	7,66	170	65
N11-23GW	2013-06-04	15,8	7,43	160	50
N11-23GW	2013-08-20	19,5	7,17	150	44
N11-23GW	2013-09-25	17,7	7,18	160	46

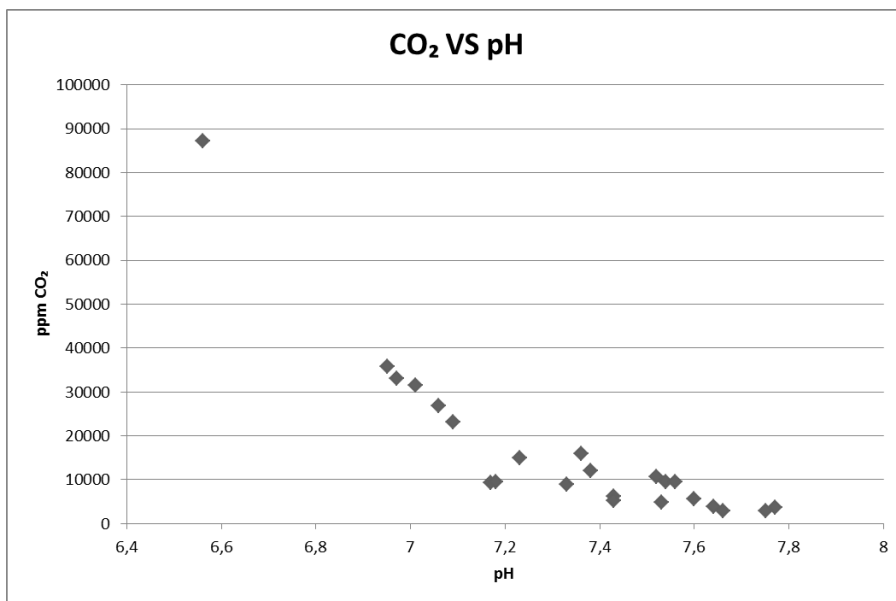
Alla grundvattenrör, utom N11-23GW, har en alkalinitet på över 180 mg HCO<sub>3</sub>/L vilket är en väldigt hög alkalinitet, motsvarar ca 3 mmol/L som kan jämföras med t ex Östersjön som har en alkalinitet om ca 2 mmol/L eller mindre. Livsmedelsverket anger att pH-värdet bör ligga mellan 7,0–9,5 för att försäkra sig om att korrosion på rör är låga, högre pH-värden kan ge utfällningar och eftersmak i vattnet. Rören N11-21GW samt N11-22GW har pH-värden under 7,0 men ej lägre än 6,5, vilket får anses vara bra. I region F, regionen dit Stockholmsområdet och Rotebro räknas, är motståndskraften mot försurning stor då det finns karbonater i både jord och berggrund (Sveriges geologiska undersökning, 2013).

Konduktivitet är ett mått på antalet lösta joner i vattnet, grundvatten har normalt högre konduktivitet än ytvatten, då vattnet har haft längre tid på sig att reagera med sin omgivning, Det

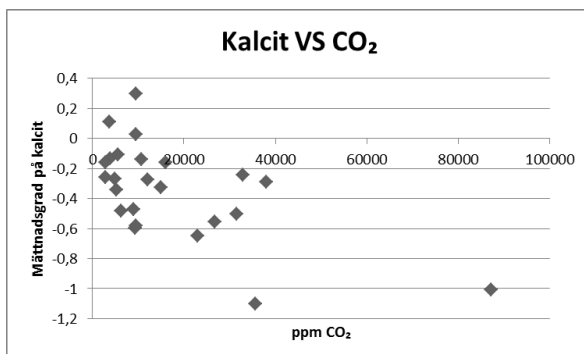
nationella riktvärdet är 75mS/m. Det nationella riktvärdet är satt till detta värde då kloridhalten har blivit uppskattat till >100mg/l i vatten med konduktivitet >70mS/m. Vilket innebär att grundvatten med naturligt höga jonhalter blir berörda av denna bedömning. Grundvattenrören N11-19GW och N11-23GW är de rör som har lägst konduktivitet, och även de rör som är mest utsatta för infiltration från Norrviken. Det är vanligt att vatten i kalkhaltiga sedimentära bergartsområden har en konduktivitet om 150 mS/m (Sveriges Geologiska Undersökning, 2013).

### Koldioxid, järnhydroxider, kalcit och götit

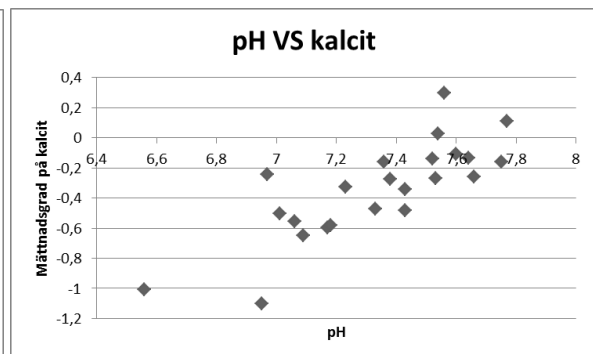
Temperatur, pH och alkalinitet används för att räkna ut mängden koldioxid som finns i grundvattnet, detta mäts i ppm (parts per million). Koldioxid i atmosfären beräknas ligga på runt 385 ppm, och koldioxiden i grundvatten kan variera med mellan 10-100 gånger högre värden (Macpherson, G.L., 2009). Höga värden på koldioxid betyder att respirationen är hög och även att mineral som kalcit och silikater vittrar snabbare. Lågt pH, hög temperatur och en hög alkalinitet ger höga halter koldioxid i vattnet. Den mest avgörande faktorn för mängden koldioxid i vatten är pH-värdet, vilket kan ses i diagrammet nedan. Desto längre pH det är i ett system desto mer koldioxid finns i form av oorganiskt kol. Låga pH-värden betyder att bikarbonat blir till koldioxid, och därför blir koldioxid-halten i grundvattnet högre med ett lägre pH.



Figur 3. Relationen mellan koldioxidhalt och pH i Rotebro.

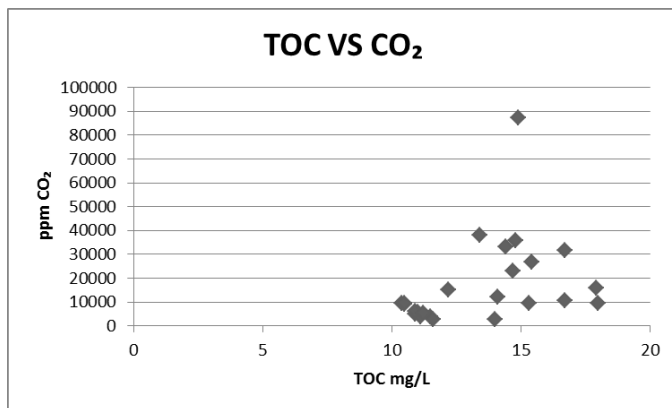


Figur 4. Relationen mellan kalcitmättnad och koldioxidhalt.



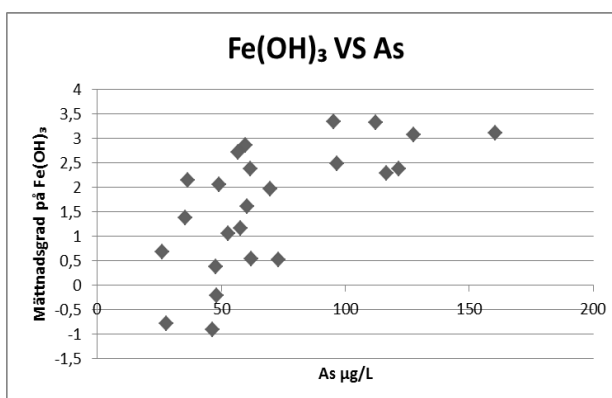
Figur 5. Kalcitmättnaden blir högre med högre pH i Rotebro koldioxidhalten i Rotebro.

Halten av koldioxid i grundvattnet (eller med andra ord partialtrycket på  $\text{CO}_2$ ) i Rotebro var väldigt höga. Isotopvärden på sulfat som blev analyserade i en tidigare rapport (se bifogad bilaga) anger att grundvattnets  $\delta^{34}\text{S}_{\text{SO}_4}$  värde var lägre än 0 ‰ i samtliga rör utom N11-04GW. Det betyder att källan förmodligen är vittring av sulfider i de flesta grundvattenrör, på grund av tidigare bakteriell sulfatreduktion. En alternativ förklaring är att det finns sulfider i berggrunden. För att sulfatreduktion skall kunna ske krävs det en kolkälla, vanligtvis från organiskt material såsom TOC. Rör N11-04GW som hade positiva isotopvärden tyder då på att svavlet kommer från en annan källa, eller möjligen att sulfider finns på olika nivåer i marken.

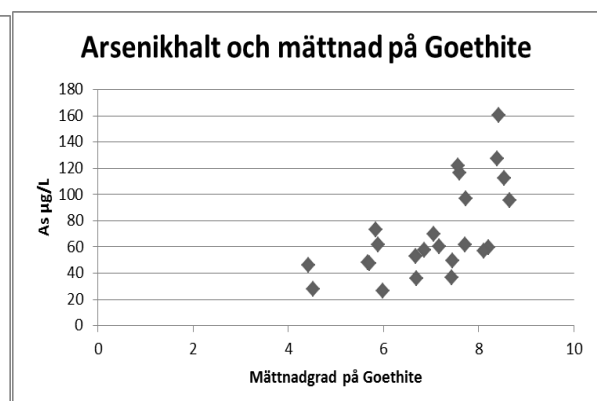


Figur 6. Koldioxidhalten och TOC mängden i grundvattnet i Rotebro.

Järnhydroxider är övermättade i detta område (se bifogad bilaga). Då järnhydroxider och organiskt kol finns i stora mängder brukar även arsenikhalterna vara förhöjda, därför att arsenik binder till järnhydroxider. Under reducerande förhållanden så avges även arsenik från mark och berggrund (Varsányi I, et al, 2006 s.950). I systemet finns även en kraftig övermättnad på mineralet götit (goethite), vilket har beteckningen  $\text{FeO}(\text{OH})$ . Höga halter av götit, järnhydroxider och organiskt kol bidrar alltså till de väldigt höga halterna av arsenik i området, då arsenik binder väldigt lätt till järnhydroxider och organiskt mineral.



Figur 7. Järnhydroxidens relation till arsenik.



Figur 8. Övermättnad av götit (goethite) ger höga halter arsenik.

## Området i helhet

Det finns två grundvattenrör som man kan se en tydlig infiltration från Norrviken, de är N11-19GW och N-23GW. Båda grundvattenrören har en snarlik isotopsammansättning för vatten som Norrviken, samt har en betydligt lägre konduktivitet, alkalinitet, TOC, DIC och koldioxidhalt. Dessutom kommer även största delen av DIC från vittring av karbonater, istället för silikatvittring som är den dominerande i de övriga grundvattenrören. Grundvattenrör N11-09GW har liknande isotopsammansättning för vatten som N11-21GW och N11-22GW, fast har lägre halt av koldioxid, konduktivitet, alkalinitet och TOC. DIC kommer i detta grundvattenrör från 55 % silikatvittring, vilket skiljer sig från de andra två grundvattenrören där DIC har sitt ursprung i ca 80 % silikatvittring. På grund av att det inte finns lika mycket organiskt kol blir även koldioxidhalten lägre eftersom organiskt kol bryts ned till koldioxid vid respiration.

Metallanalyserna visar att arsenikhalterna i området är väldigt höga, samt att halterna på järn, bor och kalcium också är höga. Måttliga halter av kalium, magnesium och natrium förekommer. Då det finns mycket organiskt material i området skapas reducerande förhållanden under nedbrytningen av organiskt material (troligen sulfatreduktion), vilket löser ut järn från mark och berggrund. Kalcium finns i höga halter då den förekommer i både karbonater och i lättvittrade silikater i jämförelse med silikater som innehåller kalium och natrium, magnesium förekommer i rätt mycket mindre mängder och därför blir halten lägre, trots att magnesium finns där kalcium finns. Det finns inte några mätvärden för krom och kadmium på grund av att dessa har varit under detektionsgränsen för samtliga prover. Arsenik däremot förekommer i höga och beror med all sannolikhet på en övermättnad av järnhydroxider (götit) och att organiskt kol, som arsenik binder till.

**Tabell 6.** Medelvärdena av metallhalterna för samtliga grundvattenrör baserade på 48 prover, varav 24 filtrerade samt 24 ofiltrerade, tagna i perioden april – september 2014.

Medelvärde av samtliga grundvattenrör för ofiltrerade metaller											
Al mg/l	Fe mg/l	Mn mg/l	As µg/l	Cu mg/l	Ni µg/l	Zn mg/l	Ca mg/l	K mg/l	Mg mg/l	Na mg/l	B mg/l
0,001	0,378	0,032	70,929	0,002	1,117	0,002	34,381	4,847	5,875	33,118	0,693

Medelvärde av samtliga grundvattenrör för filtrerade metaller											
Al mg/l	Fe mg/l	Mn mg/l	As µg/l	Cu mg/l	Ni µg/l	Zn mg/l	Ca mg/l	K mg/l	Mg mg/l	Na mg/l	B mg/l
0,004	0,502	0,059	46,593	0,002	1,089	0,004	64,999	6,780	8,377	42,765	0,363

De grundvattenrör som har högst TOC halter, och högst värden av konduktivitet, alkalinitet och koldioxid är N11-21GW och N11-22GW. Dessa rörs DIC kommer till 80 % från silikatvittring. De provpunkter som har högst TOC har även DIC till största delen från silikatvittring, medan de provpunkter med lägst TOC har karbonatvittring som källa till DIC. Grundvatten med höga halter av TOC får det mesta av sitt DIC från silikatvittring. Då även dessa har högst halt av TOC, blir även vattnet surare på grund av att TOC fungerar som en svag syra. Grundvattenrören N11-21GW och N11-22GW har också högst koldioxid halt, vilket främst har att göra med att de är dessa som har lägst pH.

## Slutsatser

Syre- och väteisotoper i vatten har används för att studera vattnets ursprung. Variation mellan grundvattenrören beror på att grundvattnet har olika uppehållstid i marken som då ger upphov till olika värden som har sin grund i att det finns en säsongsvariation. Mätningarna har också avslöjat att det i flera grundvattenrör förekommer inflöde av vatten från Norrviken.

Koldioxidhalterna i området är höga, men det får anses vara normalt för grundvatten. Det finns dock vissa provpunkter som har mycket höga halter, koldioxidhalter på uppemot 90000 ppm. Dessa höga värden återfinns när pH omkring 6,5, alkaliniteten ca 390 mg HCO<sub>3</sub>, och TOC halterna är nästan tre gånger så höga som normalt i Stockholmsområdet. Då det finns mycket organiskt material i området bryts detta ned av bakterier, och frigör då koldioxid till omgivningen. Koldioxiden går sedan ut i grundvattnet. De högsta värdena på koldioxidhalt finns i N11-22GW och N11-04GW.

Höga halter av metaller finns området, vilket beror på att det finns mycket organiskt material i området. Den mest anmärkningsvärda metallhalten är arsenik, vars medelvärde för filtrerade prover är nästan 5 gånger den rekommenderade maxgränsen för dricksvatten.

Isotopvärden,  $\delta^{13}\text{C}$ , av DIC ligger alla omkring -16 ‰. En modell utvecklades i studien där ursprunget av DIC kunde studeras. De grundvattenrör med mellan 70-75% DIC från karbonatvittring är N11-19GW och N11-23GW. Då höga halter av TOC finns även höga halter av kisel i marken. Grundvattenrören med högst TOC så är andelen ca 80 % DIC från silikatvittring. De grundvattenrör som har mest infiltration från Norrviken har lägst TOC halter och andelen av DIC från karbonatvittring är 70-75%.

Det finns höga halter TOC i området, vissa prover visar över tre gånger så mycket som medelvärdet i Stockholmsområdet. Medelvärdet ligger på 5,2 mg/L medan det högsta provet visade 18,0 mg/L och det lägsta 10,4 mg/L. Detta har sin grund i att området består av gammal havsbotten.



## Referenser

### Böcker och artiklar

Attendorn, H.-G. & Bowen, R. NC. (1997). *Radioactive and stable isotope geology*. Cornwall: Chapman & Hall.

Berner, E.K. & Berner, R. (2012). *Global environment; Water, air and geochemical cycles –second edition*. Princeton: Princeton University Press.

Dahlqvist, R. & Björkvald, L. (2011). *E4 Rotebro, ny väg över järnväg. Kontrollprogram grundvatten*. Sollentuna kommun: Trafikverket

Eriksson Anders. (2009). *Grundvattenmagasinet Stockholmsåsen – Sollentuna (K 153)*. Stockholm: Sveriges geologiska undersökning.

Eby Nelson G. (2004). *Principles of Environmental Geochemistry*. Belmont: Brooks/ Cole, Cengage Learning.

Faure Gunter. (1986). *Principles of isotope geology – second edition*. USA: John Wiley & Sons.

Hoefs J. (1997) *Stable isotope geochemistry*. Springer-Verlag.

Hägglund Thorn, A. (2009). *Geochemistry of Fe, Mn, U and Ni in a former uranium open pit mine – size fractionation throughout the water column*. Stockholm: Institutionen för Geologi och Geokemi, Stockholms Universitet.

Ingri Johan. (2012). *Från berg till hav – en introduktion i miljö kemi*. Lund: Studentlitteratur.

Ire´n Varsa´nyi a, Lajos O´. Kova´cs, (2006). *Arsenic, iron and organic matter in sediments and groundwater in the Pannonian Basin, Hungary*. *Applied Geochemistry* 21 (2006) 949–963.

Macpherson, G.L. (2009). *CO<sub>2</sub> distribution in groundwater and the impact of groundwater extraction on the global C cycle*. *Chemical Geology* 264 (2009) 328-336.

Miljöförvaltningen, 2013, Stockholms stad, *Grundvatten i Stockholm 2011-2012*. Miljöförvaltningen i Stockholm.

Olsson, J.(2013). *Studie av ursprung av vatten i Rotebro*, Bachelor thesis - Degree project in Geochemistry 15 hp. Stockholms Universitet. Stockholm.

Renman, E.(2011). *Jordbruk och djurhållning inom Oxundaåns avrinningsområde – beskrivning, bakgrund och förslag till åtgärder*. Sollentuna: Oxunda vattensamverkan.

Sveriges geologiska undersökning. (2013). *Bedömningsgrunder för grundvatten 2013:01*. Uppsala.

Zhang J., Quay P. D., and Wilbur D. O. (1995) *Carbon isotope fractionation during gas-water exchange and dissolution of CO<sub>2</sub>*. *Geochimica et Cosmochimica Acta* **59**, 107-114.

### Internetkällor

Kolets kretslopp: <http://publications.lib.chalmers.se/records/fulltext/72643.pdf>, 2014-05-19

SHIMADZU: <http://www.ssi.shimadzu.com/products/product.cfm?product=toc-l4>, 2014-04-22

Los Gatos Research: <http://www.lgrinc.com/analyzers/overview.php?prodid=16&type=isotope>, 2014-05-29

PHREEQCI: <http://pubs.usgs.gov/tm/06/a43/>, 2014-05-29

Sveriges Meteorologiska och Hydrologiska Institut:

<http://www.smhi.se/kunskapsbanken/hydrologi/det-hydrologiska-aret-1.280>. 2014-05-29

U.S: Geological Survey: [http://wwwrcamnl.wr.usgs.gov/isoig/period/o\\_iig.html](http://wwwrcamnl.wr.usgs.gov/isoig/period/o_iig.html), 2014-05-29

U.S: Geological Survey: [http://wwwrcamnl.wr.usgs.gov/isoig/period/c\\_iig.html](http://wwwrcamnl.wr.usgs.gov/isoig/period/c_iig.html), 2014-06-05

# Bilagor

## Metaller

Fullständiga analysresultat för metaller på ofiltrerade och filtrerade prover i Rotebros grundvatten. Klassningen baseras på jämförelse med SGUs bedömningsgrunder för grundvatten (SGU, 2013), se nästa sida.

	Datum	Prov	Al mg/l	Fe mg/l	Mn mg/l	As µg/l	Cu mg/l	Ni µg/l	Zn mg/l	Ca mg/l	K mg/l	Mg mg/l	Na mg/l	B mg/l
Ofiltrerade	2013-04-05	N11-04GW	0,000677	1,753	0,0825	112,16	0,006405	1,135	0,004374	39,2	8,848	11,77	106,5	2,392
Ofiltrerade	2013-06-04	N11-04GW		1,154	0,01961	160,4	0,002417		0,007878	23,86	7,698	10,91	77,76	1,947
Ofiltrerade	2013-08-20	N11-04GW		0,841	0,02783	127,6	0,002674		0,004135	62,94	11,59	11,23	84,95	1,581
Ofiltrerade	2013-09-26	N11-04GW		0,4336	0,09384	116,78	0,001618		0,002301	31,66	6,384	8,53	67,26	1,567
Ofiltrerade	2013-04-05	N11-09GW		1,319	0,1305	121,7	0,000653	2,434	0,001807	44,14	6,245	8,214	40,05	0,7622
Ofiltrerade	2013-06-04	N11-09GW		1,112	0,06907	95,21	0,000848	1,59	0,002245	31,48	4,741	6,513	21,52	0,4813
Ofiltrerade	2013-08-20	N11-09GW		0,2052	0,05873	59,72	0,002244	1,965	0,002955	35,21	5,148	6,776	27,64	0,509
Ofiltrerade	2013-09-26	N11-09GW		0,7202	0,1013	96,61	0,001023	2,439	0,000548	30,09	3,427	4,87	23,12	0,4597
Ofiltrerade	2013-04-05	N11-19GW		0,00231	0,000944	61,98	0,002772		0,000922	33,03	4,369	3,656	27,19	0,4475
Ofiltrerade	2013-06-04	N11-19GW		0,09976	0,00232	61,83	0,00408		0,003574	33,98	4,189	4,047	26,96	0,4224
Ofiltrerade	2013-08-20	N11-19GW		0,1599	0,00538	56,66	0,002791		0,001665	25,42	3,379	2,905	18,92	0,4188
Ofiltrerade	2013-09-25	N11-19GW		0,1258	0,002774	49,21	0,002088			23,53	3,338	2,279	19,86	0,3789
Ofiltrerade	2013-04-05	N11-21GW		0,254	0,02175	36,56	0,001042	0,6833	0,000545	27,95	2,98	3,106	16,55	0,3763
Ofiltrerade	2013-06-04	N11-21GW		0,1499	0,000551	26,3	0,00081			10,01	1,934	2,526	16,55	0,3835
Ofiltrerade	2013-08-20	N11-21GW		0,3587	0,0198	35,64	0,000972		0,001045	28,84	2,855	5,198	17,26	0,4301
Ofiltrerade	2013-09-25	N11-21GW		0,001977	0,04011	27,862	0,001194	0,5618	0,000828	23,09	2,584	3,87	14,05	0,4108
Ofiltrerade	2013-04-04	N11-22GW		0,007014	0,01696	48,27	0,001568	0,66	0,000847	36,04	3,18	5,101	14	0,4955
Ofiltrerade	2013-06-04	N11-22GW		0,05004	0,008833	47,7	0,001445		0,00278	34,83	4,209	6,391	19,54	0,4755
Ofiltrerade	2013-08-20	N11-22GW		0,05576	0,006195	46,36	0,001133		0,004614	30,87	2,658	4,468	18,49	0,4857
Ofiltrerade	2013-09-25	N11-22GW		0,09674	0,03708	72,93	0,001829	1,223	0,002445	76,67	7,308	10	19,96	0,598
Ofiltrerade	2013-04-05	N11-23GW		0,03188	0,002093	69,78	0,004227	0,8469	0,002584	37,19	4,895	4,78	31,65	0,4534
Ofiltrerade	2013-06-04	N11-23GW		0,04518	0,004136	60,51	0,003937	0,8625	0,002877	36,09	5,231	4,627	28,75	0,3997
Ofiltrerade	2013-08-20	N11-23GW		0,05804	0,007189	57,73	0,003195	0,85	0,001803	34,21	4,626	4,518	27,69	0,398
Ofiltrerade	2013-09-25	N11-23GW		0,04485	0,005835	52,79	0,003227	0,5603	0,001129	34,82	4,523	4,721	28,62	0,369
Filtrerade	2013-04-05	N11-04GW		0,3108	0,1223	68,34	0,001639		0,001602	43,29	9,504	12,98	108,2	0,7429
Filtrerade	2013-06-04	N11-04GW	0,003719	1,464	0,06831	52,71	0,001294		0,00614	36,87	8,777	11,87	86,48	0,6186
Filtrerade	2013-08-20	N11-04GW	0,008967	2,546	0,1469	76,86	0,001647		0,005989	35,92	9,594	13,54	69,36	0,6599
Filtrerade	2013-09-26	N11-04GW	0,004509	0,2582	0,1219	66,04	0,001969		0,00248	45,11	9,747	12,67	98,02	0,7521
Filtrerade	2013-04-05	N11-09GW		0,7204	0,1716	59,37	0,001117	1,38	0,002286	109,7	8,126	11,68	49,69	0,4495
Filtrerade	2013-06-04	N11-09GW	0,001729	1,172	0,1276	51,4	0,001065	1,333	0,004362	46,63	6,99	10,58	30,97	0,3193
Filtrerade	2013-08-20	N11-09GW	0,00102	1,151	0,09643	52,82	0,000917	0,7737	0,00223	50,51	6,435	9,284	34,23	0,3267
Filtrerade	2013-09-26	N11-09GW	0,003181	0,7067	0,1206	48,84	0,001772	1,822	0,000593	48,8	6,746	8,679	38,47	0,2871
Filtrerade	2013-04-05	N11-19GW		0,005484	0,005874	43,17	0,004495		0,000745	44,57	5,84	5,217	32,79	0,3186
Filtrerade	2013-06-04	N11-19GW		0,135	0,003722	42,11	0,006055		0,000509	44,49	5,768	4,966	33,8	0,3021
Filtrerade	2013-08-20	N11-19GW		0,2394	0,00749	41,99	0,004736		0,001077	36,13	5,306	4,008	28	0,2798
Filtrerade	2013-09-25	N11-19GW		0,2584	0,007604	34,27	0,00425		0,0448	33,05	4,831	3,893	26,76	0,2553
Filtrerade	2013-04-05	N11-21GW		0,6811	0,1011	38,47	0,000682	1,833		98,29	6,891	7,517	37,97	0,3387
Filtrerade	2013-06-04	N11-21GW		0,6936	0,04927	42,15	0,000678	1,305	0,000625	50,23	7,276	9,395	36,2	0,2998
Filtrerade	2013-08-20	N11-21GW		0,5851	0,04543	37,62	0,001038	0,8859	0,00105	84,63	7,768	9,025	35,1	0,2818
Filtrerade	2013-09-25	N11-21GW		0,6109	0,09247	38,83	0,000804	1,096		116	7,019	8,769	40,55	0,2602
Filtrerade	2013-04-04	N11-22GW		0,001051	0,02928	49,57	0,00136	1,458	0,001453	112,9	4,91	6,778	25,9	0,2912
Filtrerade	2013-06-04	N11-22GW		0,1047	0,01801	47,67	0,001979	0,9019	0,000614	132,3	7,601	10,82	34,36	0,3325
Filtrerade	2013-08-20	N11-22GW		0,1181	0,01808	38,86	0,001621	0,8433	0,001716	125	7,252	10,32	35,1	0,3285
Filtrerade	2013-09-25	N11-22GW		0,1513	0,03866	44,57	0,001521	1,188	0,001227	125,4	7,347	10,11	34,2	0,3466
Filtrerade	2013-04-05	N11-23GW		0,008192		36,94	0,003561	0,7721	0,001028	35,81	4,657	4,606	27,99	0,2593
Filtrerade	2013-06-04	N11-23GW		0,03671	0,004587	36,69	0,003541	0,5935		33,45	4,778	4,717	25,52	0,2194
Filtrerade	2013-08-20	N11-23GW		0,04626	0,00484	31,06	0,003178			36,38	4,913	4,85	29,08	0,2101
Filtrerade	2013-09-25	N11-23GW		0,05056	0,005754	37,87	0,002898	0,588		34,52	4,639	4,774	27,62	0,2258

mycket låg halt
låg halt
måttlig halt
hög halt
mycket hög halt

Tabell från Sveriges geologiska undersökning rapport "Bedömningsgrunder för grundvatten 2013:01" sida 23. Tabellen användes för att se vilka halter på metaller som klassas som mycket låg halt, låg halt, måttlig halt, hög halt samt mycket hög halt.

Tabell 1. Sammanställning av bedömningsgrundernas klassindelning. Riktvärden och nivåer för att vända trend på nationell nivå i föreskrifterna SGU-FS 2008:2 anges också. Parametrar för vilka en påverkansbedömning gjorts är markerade i starkare färg.

Kategori	Parameter	Enhet	Norm**	Klassindelning enligt bedömningsgrunder					Enligt SGU-FS 2008:2 bilaga T*	
				1	2	3	4	5	Utgångspunkt för att vända trend	Riktvärde
Förorening	Alkalinitet, HCO <sub>3</sub>	mg/l	T	>180	60-180	30-60	10-30	≤10		
	pH		T	>8,5	7,5-8,5	6,5-7,5	5,5-6,5	≤5,5		
Redox	Redox	klass	T	Aeroba	Svagt aeroba	Svagt anaeroba	Anaeroba	Blandvatten		
	Syre	mg/l	T	≥10	7,5-10	5-7,5	2,5-5	≤2,5		
Organiska ämnen och partiklar	COD <sub>500</sub>	mg O <sub>2</sub> /l	T	<0,5	0,5-2	2-4	4-8	≥8		
	Färg	mg Pt/l	T	<5	5-15	15-30	30-60	≥60		
	Turbiditet	FNU	T	<0,5	0,5-1,5	1,5-3	3-6	≥6		
Salt	Klorid	mg/l	MPT	<5/20	20-50	50-100	100-300	≥300	50/75***	100
	Konduktivitet	mS/m	MPT	<10/25	25-50	50-75	75-150	≥150	55/65***	75
	Sulfat	mg/l	MPT	<5/10	10-25	25-50	50-100	≥100	100	250
Kväve	Ammonium	mg/l	MPT	<0,05	0,05-0,1	0,1-0,5	0,5-1,5	≥1,5	0,5	1,5
	Nitrat	mg/l	GPT	<2	2-5	5-20	20-50	≥50	10	50
	Nitrit	mg/l	T	<0,01	0,01-0,05	0,05-0,1	0,1-0,5	≥0,5		
Metaller	Aluminium	mg/l	T	<0,01	0,01-0,05	0,05-0,1	0,1-0,5	≥0,5		
	Järn	mg/l	T	<0,1	0,1-0,2	0,2-0,5	0,5-1	≥1		
	Mangan	mg/l	T	<0,05	0,05-0,1	0,1-0,3	0,3-0,4	≥0,4		
Metaller	Arsenik	µg/l	MPT	<1	1-2	2-5	5-10	≥10	5	10
	Uran	µg/l	T	<5	5-10	10-15	15-30	≥30		
Metaller	Bly	µg/l	MPT	<0,5	0,5-1	1-2	2-10	≥10	2	10
	Kadmium	µg/l	MPT	<0,1	0,1-0,5	0,5-1	1-5	≥5	2	5
	Kviksilver	µg/l	MPT	<0,005	0,005-0,01	0,01-0,05	0,05-1	≥1	0,05	1
Metaller	Koppar	mg/l	T	<0,02	0,02-0,2	0,2-1	1-2	≥2		
	Krom	µg/l	T	<0,5	0,5-5	5-10	10-50	≥50		
	Nickel	µg/l	T	<0,5	0,5-2	2-10	10-20	≥20		
	Zink	mg/l	T	<0,005	0,005-0,01	0,01-0,1	0,1-1	≥1		
Baskatjoner	Kalcium	mg/l	T	<10	10-20	20-60	60-100	≥100		
	Kalium	mg/l	T	<3	3-6	6-12	12-50	≥50		
	Magnesium	mg/l	T	<2	2-5	5-10	10-30	≥30		
	Natrium	mg/l	T	<5	5-10	10-50	50-100	≥100		
	Totalhårdhet	mg/l	T	<15	15-35	35-70	70-150	≥150		
	Totalhårdhet	dH	T	<2,1	2,1-4,9	4,9-9,8	9,8-21	≥21		
Organiska ämnen	Bor	mg/l	T	<0,01	0,01-0,1	0,1-0,5	0,5-1	≥1		
	Fluorid	mg/l	T	<0,4	0,4-0,8	0,8-1,5	1,5-4	≥4		
	Fosfat	mg/l	T	<0,02	0,02-0,04	0,04-0,1	0,1-0,6	≥0,6		
Radioaktiva ämnen	Radon	Bq/l	T	<100	100-500	500-1000	1000-2000	≥2000		
Bekämpningsmedel	Växtskyddsmedel	µg/l	GPT	<0,01	0,01-0,025	0,025-0,05	0,05-0,1	≥0,1/0,5****	Detekterat	0,1/0,5****
Organiska ämnen	1,2-dikloreten	µg/l	PT	<0,02	0,02-0,1	0,1-0,5	0,5-3	≥3	0,5	3
	Bensen	µg/l	PT	<0,02	0,02-0,1	0,1-0,2	0,2-1	≥1	0,2	1
	Benso(a)pyren	µg/l	PT	<0,0005	0,0005-0,001	0,001-0,002	0,002-0,01	≥0,01	0,002	0,01
	Kloroform	µg/l	PT	<1	1-20	20-50	50-100	≥100	10	100
	Sum PAH4*****	µg/l	PT	<0,001	0,001-0,01	0,01-0,02	0,02-0,1	≥0,1	0,02	0,1
	Trikloretan + Tetrakloretan	µg/l	MPT	<0,1	0,1-1	1-2	2-10	≥10	2	10
Mikrobiologisk bedömning	Siv***** SOS*****	T	Tjänligt Tjänligt	Tj m. anm Tjänligt	Otjänligt Tjänligt	Otjänligt Tj m. anm	Otjänligt Otjänligt			
Temperatur	Temperatur	ΔT	P	<0,5	0,5-2	2-5	5-10	≥10		
Kvantitet			PT							

\* Föreskrifterna kommer att revideras under 2013.

\*\* M = ingår i minimiförteckningen över förorenande ämnen och indikatorer för vilka medlemsstaterna enligt grundvattendirektivet ska överväga att fastställa tröskelvärden (riktvärden för grundvatten), G = Riktvärdet för grundvatten är i överensstämmelse med EU-gemensam miljövalitetsnorm angiven i grundvattendirektivet, P = Upptaget i SGU-FS 2008:2 och påverkansbedömning i bedömningsgrunder, T = Tillståndsklassning i bedömningsgrunder.

\*\*\*Det högre värdet gäller Västkusten.

\*\*\*\* Värde 0,5 µg/l avser summan av uppmätta bekämpningsmedel (inkl. metaboliter).

\*\*\*\*\* Sum PAH4 avser summan av benso(b)fluoranten, benso(k)fluoranten, benso(ghi)perylen och inden(1,2,3-cd)pyren.

\*\*\*\*\* Bedömning efter Livsmedelsverkets respektive Socialstyrelsens normer för dricksvatten.

## Syre-och väte isotoper

Isotopvärden för samtliga prover av  $\delta D$  vs SMOW och  $\delta^{18}O$  vs SMOW i Rotebros grundvatten, samt två prover är även tagna i sjön Norrviken.

Prov	Datum	Övrigt	$\delta D$ vs VSMOW (‰)	$\delta^{18}O$ vs VSMOW (‰)
N11-04GW	2013-04-05		-80,19	-10,96
N11-04GW	2013-06-05		-80,96	-11,13
N11-04GW	2013-08-21		-82,23	-11,25
N11-04GW	2013-09-25		-81,95	-11,36
N11-09GW	2013-04-05		-81,49	-11,26
N11-09GW	2013-06-05		-80,22	-11,23
N11-09GW	2013-08-21		-82,24	-11,34
N11-09GW	2013-09-26		-81,30	-11,41
N11-19GW	2013-04-05		-65,15	-8,46
N11-19GW	2013-06-05		-66,52	-8,86
N11-19GW	2013-08-20		-65,33	-8,51
N11-19GW	2013-09-25		-64,19	-8,23
N11-21GW	2013-04-05		-79,12	-10,73
N11-21GW	2013-06-04		-77,83	-10,64
N11-21GW	2013-08-20		-79,59	-11,03
N11-21GW	2013-09-25		-78,82	-10,98
N11-22GW	2013-04-04		-79,33	-11,14
N11-22GW	2013-06-04		-78,95	-10,95
N11-22GW	2013-08-20		-80,33	-11,23
N11-22GW	2013-09-25		-80,56	-11,11
N11-23GW	2013-04-05		-66,20	-8,75
N11-23GW	2013-06-04		-64,78	-8,74
N11-23GW	2013-08-20		-60,68	-7,82
N11-23GW	2013-09-25		-60,87	-7,64
Norrviken	2013-10-06	vass	-61,06	-7,94
Norrviken	2013-10-06	strand	-61,72	-8,08

Tabell på syre- och väteisotoper i Rotebro grundvatten från rapport av Jenny Olsson.(2013). *Studie av ursprung av vatten i Rotebro*, Bachelor thesis Degree project in Geochemistry 15 hp, Stockholms Universitet, Stockholm

Prov	Datum	Sample ID	$\delta D$ vs VSMOW (‰)	$\delta^{18}O$ vs VSMOW (‰)
N11-19GW	2012-09-27	1	-64,45	-7,77
N11-21GW (a)	2012-09-27	2	-76,80	-10,15
N11-21GW (b)	2012-09-27	3	-77,79	-10,26
N11-22GW (a)	2012-09-27	4	-78,14	-10,82
N11-22GW (b)	2012-09-27	5	-76,48	-11,14
N11-23GW	2012-09-27	6	-60,69	-8,06
N11-04GW	2012-09-28	7	-79,63	-11,67
N11-09GW	2012-09-28	8	-78,34	-11,55
N11-19GW	2012-10-29	9	-66,37	-7,74
N11-21GW	2012-12-03	10	-81,34	-10,70
N11-22GW	2012-12-03	11	-80,25	-10,90
N11-23GW	2012-12-03	12	-62,47	-7,99
N11-04GW	2012-12-04	13	-79,73	-11,36
N11-09GW	2012-12-04	14	-79,70	-11,34
N11-19GW	2012-12-04	15	-61,91	-8,06
N11-19GW	2013-01-30	16	-64,78	-8,59
N11-21GW	2013-01-30	17	-81,80	-11,28
N11-22GW	2013-01-30	18	-81,48	-11,38
N11-23GW	2013-01-30	19	-67,00	-8,83
N11-04GW	2013-01-31	20	-82,67	-11,79
N11-09GW	2013-01-31	21	-85,27	-12,00
Norrviken A	2013-02-10	22	-67,87	-8,97
Norrvine B	2013-02-10	23	-67,11	-8,91
Norrviken C	2013-02-10	24	-66,60	-8,83

## Sulfider

Tabell  $\delta^{34}S$  isotopvärden i sulfat, som tyder på vittring av sulfider. Data från rapport av Jenny Olsson.(2013). *Studie av ursprung av vatten i Rotebro*, Bachelor thesis Degree project in Geochemistry 15 hp, Stockholms Universitet, Stockholm.

$\delta^{34}S$ vs CDT	N11-04GW	N11-09GW	N11-19GW	N11-21GW	N11-22GW	N11-23GW
Sept.	X	X	-0,35	-0,79	-0,41	-0,71
Dec.	1,75	-1,23	-0,56	-1,01	-0,81	-0,45
Jan.	1,9	-0,67	-0,87	-1,05	-0,1	-0,03

## Koldioxid, järnhydroxider, kalcit och götit

Beräknade halt av koldioxid samt mättnadsindexvärden på järnhydroxider och mineralerna kalcit och götit på grundvattnet i Rotebro från dataprogrammet PHREEQCI.

	CO <sub>2</sub>	Goethite	Fe(OH)3(a)	Calcite
	ppm	Mättnad	Mättnad	Mättnad
N11-04GW	9492,924	8,538	3,3208	0,0282
N11-04GW	10757,22	8,4156	3,1105	-0,1403
N11-04GW	9495,11	8,395	3,065	0,2986
N11-04GW	16010,32	7,6034	2,2785	-0,1592
N11-09GW	14996,85	7,5582	2,3733	-0,3269
N11-09GW	5645,469	8,6455	3,3404	-0,1072
N11-09GW	3717,064	8,2074	2,8511	0,1109
N11-09GW	8947,465	7,7312	2,4819	-0,4738
N11-19GW	4837,266	5,8887	0,5363	-0,2678
N11-19GW	3909,309	7,7162	2,3834	-0,1361
N11-19GW	2804,142	8,1003	2,7165	-0,1612
N11-19GW	6227,303	7,4569	2,0576	-0,4829
N11-21GW	12092,05	7,4333	2,1361	-0,2742
N11-21GW	35686,17	5,9788	0,6737	-1,1008
N11-21GW	26736,22	6,6908	1,3778	-0,5558
N11-21GW	23046,24	4,5168	-0,7843	-0,6511
N11-22GW	38018,94	5,6727	-0,2184	-0,2899
N11-22GW	31571,85	5,7033	0,3745	-0,5041
N11-22GW	87277,04	4,4263	-0,9065	-1,0084
N11-22GW	32960,97	5,8374	0,5244	-0,246
N11-23GW	2847,738	7,0624	1,9633	-0,2601
N11-23GW	5167,732	7,1636	1,6105	-0,3447
N11-23GW	9270,433	6,8573	1,1658	-0,5962
N11-23GW	9436,262	6,6843	1,0596	-0,5797

## Bilaga beskrivning av Grundvatten

### N11-04GW

Grundvattenrör N11-04GW har högst konduktivitet, 105-122 mS/m, Alkalinitet ligger på 430-460 mg HCO<sub>3</sub>, Detta grundvattenrör har mycket höga halter av arsenik, bor och järn. Magnesium och natrium klassas som höga halter, och nickel, kalcium kalium och mangan har måttliga halter. Temperaturen i grundvattnet ligger på 7,2–10,3 °C. TOC-halten varierar mellan 15,3 – 18,0 mg/L, vilket innebär att den klart är över medelvärdet för övriga områden i Stockholm på 5,2 mg/L. Höga halter av TOC ger vanligen högre halter metaller i vattnet, högre koldioxidhalter och därmed DIC. Det beräknade partialtrycket är från ca 9500 – 16000 ppm. Atmosfären har ett värde på omkring 385 ppm, och grundvatten kan i många fall ha tryck som är mellan 10–10000 gånger högre. Partialtrycket kan därför sägas vara rätt normalt.  $\delta^{13}\text{C}$  i DIC varierar från -16,07 – -16,43 och en blandningsmodell visar att ca 80 % av kolet är från silikatvittring och 20 % från karbonatvittring.  $\delta\text{D}$  värdet i vatten är -80,19‰ till -81,95‰, och  $\delta^{18}\text{O}$  -10,96‰ till -11,36‰.

### N11-09GW

Konduktivitet är på omkring 85-94 mS/m vilket innebär att konduktiviteten är godkänd. Då konduktiviteten är lägre kan man förvänta sig lägre halter av metaller i grundvattenröret. Temperatur är på mellan 6,4–10,7 °C, och som i tidigare rör skall inte denna temperaturförändring innebära att kemiska och biologiska processer påverkas nämnvärt av temperaturförändringarna. Alkaliniteten i detta grundvattenrör var lägre, och ligger på 240-330 mg HCO<sub>3</sub>, vilket fortfarande klassas som hög då den är över 180 mg HCO<sub>3</sub>. TOC halterna låg på 10,5-12,2 mg/L och även DIC halterna låg på (-13,91) – (-12,2) <sup>13</sup>C, vilket då ca 55 % består av vittring från silikater. Båda dessa är något lägre än i somliga rör, vilket beror på att dessa är sammankopplade då organiskt kol omvandlas till oorganiskt koldioxid vid respiration. Mindre halter av TOC ger då även mindre halter av DIC i grundvattnet. Trots att TOC halterna är lägst i detta grundvattenrör på området så klassas värdena fortfarande som höga, då de är över medelvärdet i Stockholmsområdet som ligger på 5,2 mg/L. Koldioxidhalten för de ofiltrerade vattenproverna låg på 3 717,1 - 14997 ppm, vilket ligger inom värden som kan klassas som normala för grundvatten.  $\delta\text{D}$  vs VSMOW (‰) för detta rör låg på -80,22 till -82,24 samt  $\delta^{18}\text{O}$  vs VSMOW (‰) gav värden på -11,23 till -11,41.

### N11-19GW

Konduktivitet var näst lägst i detta grundvatten rör, med värden på 51-65 mS/m. Då detta är under det nationella värdet på 75 mS/m anses detta vara låg, och innebär då att det finns lite joner i vattnet. Även alkaliniteten var låg i detta rör med halter på 200-210 mg HCO<sub>3</sub>, vilket innebär att detta grundvatten rör har lägst alkalinitet av de sex som har använts under dessa provtagningar. Alkaliniteten anses dock fortfarande vara hög, fast detta rör är mer känsligt för förändringar i pH än de övriga. Temperaturen är jämn under året med värden på 10,1-11,8 °C, vilket innebär att temperaturförändringarna inte skall påverka de kemiska och biologiska processerna i grundvattnet. Detta rör hade mycket höga halter av arsenik samt måttliga halter av bor, natrium, kalcium och zink. TOC halterna var relativt låga om man jämför med N11-04GW och hade halter på 10,9-11,9 mg/L., DIC halterna var även lägre med värden på (-11,43) – (-12,04) <sup>13</sup>C, då ca 70 % kom från vittring av karbonater. Koldioxid halterna var även bland de lägre i detta rör, då det finns mindre organiskt kol och oorganiskt i detta rör, värdena låg på 2804,1–6 227,3 ppm och anses ligga inom normalvärden

för koldioxid i grundvatten.  $\delta D$  vs VSMOW (%) låg på -64,19 till -66,52 och  $\delta 18O$  vs VSMOW (‰) låg på -8,23 till -8,86. Dessa isotopvärden skiljer sig från de övriga rören, men har en snarlik komposition med N11-23GW och Norrviken. Vilket tyder på att en stor infiltration sker från Norrviken i detta rör. Detta kan även tydas i att DIC kolet kommer mest från karbonater, och att konduktiviteten är betydligt lägre än i grundvattenrören N11-04GW, N11-09GW, N1121GW och N11-22GW. Grundvattnet har en högre konduktivitet då vattnet har ett längre uppehållstillstånd i marken och därmed kan föra med sig och vittra mera joner, medan sjövattnet har en lägre konduktivitet.

### **N11-21GW**

Konduktivitet var över det satta värdet på 94-106 mS/m, vilket menas då med att den är godkänd och att det finns lösta joner i vattnet. Alkalinitet var på 350-390 mg  $HCO_3$ , vilket anses väldigt högt då det godkända värdet är 180 mg  $HCO_3$ . Detta rör kan alltså motstå pH-förändringar väldigt väl, vilket gör att vattnet inte lika lätt blir surt eller basiskt och vittar omgivningen. Temperaturen ligger på en jämn nivå med värden på 9,2–9,6 °C, en konstant och låg temperatur ser till att de kemiska och biologiska processerna inte påverkas av förändringarna. TOC halterna var något högre i det grundvatten rör med halter på 14,1-15,4 mg/L, vilket är över medelvärdet i Stockholmsområdet som ligger på 5,2 mg/L. Tack vare en hög halt av TOC har även DIC halterna varit stora, med värden på (-16,09) - (-16,37) ‰, eftersom koldioxiden (som räknas som oorganiskt kol) ökar via respiration av organiskt material. Mycket hög halt av arsenik, hög halt kalcium och järn samt måttliga halter kalium, magnesium, natrium och bor påträffades. Högre halter av metaller är vanligt då det finns mycket organiskt material i marken, då det finns mer kolloider för joner att bindas till. Den beräknade halten på koldioxid i detta rör, på de ofiltrerade proverna, låg på 12092–35686 ppm. Dessa värden är högre än grundvattenrören N11-04GW, N11-09GW och N11-19GW vilket beror på att TOC halten var större än i N11-09GW och N11-19GW samt att detta grundvatten har lägst pH av dessa fyra rör. Koldioxid är väldigt känsligt för förändringar i pH, och är som allra störst ju lägre pH det är.  $\delta D$  vs VSMOW (%) hade värden på -77,83 till -79,59 samt  $\delta 18O$  vs VSMOW (‰) -10,64 till -11,03.

### **N11-22GW**

Provtagningarna visade en konduktivitet på 94-99 mS/m, och en hög alkalinitet på 390-400 mg  $HCO_3$ . Båda dessa är över de rekommenderade gränsvärdena och anses vara höga. Detta innebär att detta grundvattenrör har mycket joner i vattnet och en hög buffringsförmåga. Temperaturen i vattnet ligger på 9,6–10,1 °C vilket är relativt låg för området och inte borde påverka biologiska och kemiska processer i grundvattnet. TOC halterna ligger på 13,4-16,7 mg/L, och är som de övriga grundvattenrören över medelvärdet i Stockholm. Då TOC halterna som nämnt även påverkar halten av DIC ligger dessa värden på -16,13 till -16,4 ‰ varav cirka 80 % kommer från vittring av silikater i marken och berggrund. Höga halter av TOC leder till högre halter av metaller, då dessa binds till kolloider som bildas. Mycket hög halt av arsenik, höga halter av bor och kalcium samt måttliga halter av kalium, natrium och magnesium har påträffats. pH-värdet i detta grundvatten rör är som lägst och har därför högst halt av koldioxid, vilka halter är mellan 31572–87277 ppm. Dessa värden är klart över det normala, då det kan vara upp mot 38500 ppm koldioxid i grundvatten alltså upp mot 100 gånger mot det som finns i atmosfären. Detta beror på den stora mängden organiskt kol som finns tillgängligt, hög alkalinitet (390 mg  $HCO_3$ ) och att ett lågt pH på 6,56.  $\delta D$  vs VSMOW (%) är på -78,95 till 80,56 samt  $\delta 18O$  vs VSMOW (‰) ligger på -10,95 till -11,23.

### **N11-23GW**

I detta rör är både konduktivitet och alkalinitet låg, med halter på 44-65 mS/m och 150-170 mg HCO<sub>3</sub>. Temperatur ligger på 4,3–19,5 °C, vilket innebär att förändringarna är stora och att detta kan påverka de biologiska och kemiska processerna som i grundvattnet. δD vs VSMOW (‰) ligger på -60,68 till -66,20 samt δ<sup>18</sup>O vs VSMOW (‰) har värden på -7,64 till -8,75. Alla dessa faktorer leder till slutsatsen att dessa grundvatten rör har en kraftig infiltration från Norrviken, då dess isotopiska komposition nästan är densamma som Norrviken. Konduktiviteten samt alkaliniteten påverkas och blir lägre då det kommer in mer ytvatten i systemet, eftersom grundvatten har längre uppehållstid i marken och därmed löser upp fler joner och har en högre konduktivitet. TOC halterna i detta grundvatten rör är 10,4-14,0 mg/L, och klassas som högt fast det är ändå bland de lägre värdena som uppmätts av TOC i de sex grundvattenrören i Rotebro. DIC värden ligger på -10,86 till -11,49<sup>13</sup>C varav ca 75 % kommer från karbonater. Grundvattnet i detta rör har uppmätts innehålla mycket hög halt av arsenik samt måttliga halter av kalcium, natrium och bor. Koldioxiden ligger på 2847,7–9 436,3 ppm, vilket är halter som ändå kan räknas som normala för koldioxid i grundvatten då de kan vara 10-100 gånger större än atmosfärshalten, som ligger på omkring 385 ppm.