


NGU Rapport 2012.007

Program og sammendrag for "Det 21. nasjonale seminar om hydrogeologi og miljøgeokjemi",  
NGU 14.-15. februar 2012.



Rapport nr.: 2012.007		ISSN 0800-3416	Gradering: Åpen
Tittel: Program og sammendrag for "Det 21. nasjonale seminar om hydrogeologi og miljøgeokjemi", NGU 14.-15. februar 2012.			
Forfatter: Tove Aune (red.)		Oppdragsgiver: NGU	
Fylke:		Kommune:	
Kartblad (M=1:250.000)		Kartbladnr. og -navn (M=1:50.000)	
Forekomstens navn og koordinater:		Sidetall: 43	Pris: kr 80,-
		Kartbilag:	
Feltarbeid utført:	Rapportdato: 08.02.2012	Prosjektnr.: 3365.00	Ansvarlig: 
Sammendrag:  <p>Rapporten presenterer program, deltagerliste og sammendrag av foredrag og postere for «Det 21. nasjonale seminar om hydrogeologi og miljøgeokjemi» ved NGU 14.-15. februar 2012.</p> <p>Rapporten inneholder sammendrag fra 23 foredrag og 4 posterpresentasjoner.</p> <p>Foredragene er gruppert i hovedtemaene hydrogeologi og miljøgeokjemi, og i samme rekkefølge som i programmet.</p> <p>Det er påmeldt 83 deltagere til seminaret hvorav 21 er ansatt ved NGU.</p> <p>Seminaret organiseres av NGU. Norsk hydrologiråd (NHR) bidrar med støtte til studenter i form av reisemidler og priser.</p> <p>Bortsett fra formatering, er sammendragene produsert direkte fra materialet levert av foredragsholderne, som er fullt ansvarlig for innholdet.</p>			
Emneord: Hydrogeologi	Hydrogeokjemi	Geokjemi	
Grunnvann	Miljøgeokjemi		



## INNHold

Seminarprogram .....	5
Deltakerliste .....	9
Sammendrag av foredrag:	
<b><i>Beskyttelse av grunnvann i løsmasser – teori og praksis</i></b>	
Oddmund Soldal og Arve Misund, Cowi as .....	13
<b><i>EUs vannrammedirektiv grunnvann – En første klassifisering</i></b>	
Lars Egil Haugen og Per Alve Glad, NVE .....	14
<b><i>Kartlegging av råvannskvalitet for grunnvannsanlegg i løsmasser - renseeffekt</i></b>	
Hanne M.L. Kvitsand, Bjørge Brattli, Liv Fiksdal, Stein W. Østerhus, Elisabeth Andersen, NTNU og Bernt Olav Hilmo, Asplan Viak AS .....	15
<b><i>Stable isotope composition (<math>\delta^2H</math> and <math>\delta^{18}O</math>) of groundwater in Norway – what do we know and where shall we go?</i></b>	
Oliver Kracht, NGU .....	17
<b><i>Grunnvannsanalyser av norske skråninger</i></b>	
Panagiotis Dimakis, NVE .....	18
<b><i>En studie i Trandumskogens potensial for utnyttelse av grunnvann ved kunstig infiltrasjon</i></b>	
Svein Ragnar Lysen, Multiconsult.....	19
<b><i>Vertical evolution of groundwater chemistry and hydrochemical stratifications – experiences using microscreen multi level groundwater samplers</i></b>	
Oliver Kracht, NGU, Jan Hansen, KIT, Merethe Mork, NTNU, Synnøve Knivslund, UiO, Ondrej Kielar, MU, Atle Dagestad, Gaute Storrø, Sylvi Gaut, NGU, Susanne Leufke, DVIAWA & Øystein Jæger, NGU .....	20
<b><i>Toxic metal removal using bioretention cells in cold climates</i></b>	
Kim H. Paus, NTNU .....	21
<b><i>Use of convection for enhancement of energy well performance</i></b>	
Heiko Liebel, NTNU .....	22
<b><i>Bedrock topography in Norway – mapping or estimating?</i></b>	
Nils-Otto Kitterød, UMB .....	23
<b><i>Hydrologiske tiltak for heving av grunnvannet og bevaring av kulturlag ved Bryggen i Bergen</i></b>	
Hans de Beer, NGU .....	24
<b><i>The main characteristics of the groundwater in the Bahi-Manyoni basin in Tanzania</i></b>	
Synnøve Mathan Knivslund, UiO .....	25
<b><i>Geochemical exploration in Finland in the past and at present</i></b>	
Alf Björklund, Magnus Minerals Oy .....	27
<b><i>Geokemi vid malmletning i Sverige</i></b>	
Kaj Lax, SGU .....	28
<b><i>Geokjemisk prospektering i Store Norske</i></b>	
Harald Hansen og Morten Often, Store Norske Gull AS .....	29
<b><i>Urban mining</i></b>	
Belinda Flem og Rolf Tore Ottesen, NGU .....	30
<b><i>EE-avfall og urban mining - ressurser i våre nærmeste omgivelser</i></b>	
Guro Kjørsvik Husby, Elretur .....	31
<b><i>Miljøutfordringer i bergindustrien</i></b>	
Elisabeth Gammelsæter, Norsk Bergindustri.....	32
<b><i>MINN - mineralressurser i Nord-Norge, status og resultater så langt</i></b>	
Jan Sverre Sandstad, NGU.....	33

<b><i>Nye resultater fra gamle løsmasseprøver i Nord-Norge</i></b>	
Tor Erik Finne, NGU .....	34
<b><i>Geokjemisk kartlegging på Nordkinnhalvøya</i></b>	
Clemens Reimann, Malin Andersson, Ola Anfin Eggen, Tor Erik Finne og Henning K.B. Jensen, NGU .....	35
<b><i>Bærekraftig utnyttelse av geologiske ressurser</i></b>	
Per Helge Høgaas, SINTEF Materialer og kjemi .....	36
<b><i>Strategies to discover unconventional economic ore-deposits in Norway</i></b>	
Rune B. Larsen, NTNU .....	37

## **POSTERPRESENTASJONER**

***Postersesjon onsdag 15. februar kl. 13:10***

<b><i>Multi-tracer experiments in glaciofluvial sediments at the Granli waterworks site (Kongsvinger, Norway)</i></b>	
Jan Hansen, Nadine Göppert, KIT, <u>Oliver Kracht</u> , Atle Dagestad, NGU & Nico Goldscheider, KIT .....	39
<b><i>An R-based wrapper script for the computation of pH-pe diagrams with PHREEQC</i></b>	
Merethe Mork, NTNU & Oliver Kracht, NGU .....	40
<b><i>Stable isotope techniques and natural tracer signals for source typing and tracking in urban aquifers</i></b>	
Oliver Kracht, NGU .....	42
<b><i>Lead isotope distribution in podzolic soil profiles on different types of bedrock in a formerly glaciated terrain (Oslo, Norway)</i></b>	
Ola M. Sæther, NGU, Göran Åberg, Laboratory for Isotope Geology & Eiliv Steinnes, NTNU .....	43

**DET 21. NASJONALE SEMINAR OM  
HYDROGEOLOGI OG MILJØGEOKJEMI**  
**Tirsdag 14. og onsdag 15. februar 2012**  
**Knut S. Heiers konferansesenter, NGU**  
**Leiv Eirikssons vei 39. Lade, Trondheim**

## *Program*

### 14. februar

- 09:00-09:30 Registrering og kaffe
- 09:30-09:35 Åpning v/adm.dir. Morten Smelror

### **HYDROGEOLOGI**

*Ordstyrer:* *Ola Magne Sæther, NGU*

- 09:35-10:20 **Beskyttelse av grunnvann i løsmasser – teori og praksis**  
Oddmund Soldal og Arve Misund, Cowi as
- 10:20-10:40 **EUs vannrammedirektiv grunnvann – En første klassifisering**  
Lars Egil Haugen og Per Alve Glad, NVE
- 10:40-11:00 **Kartlegging av råvannskvalitet for grunnvannsanlegg i løsmasser -  
renseeffekt**  
Hanne M.L. Kvitsand, Bjørge Brattli, Liv Fiksdal, Stein W. Østerhus,  
Elisabeth Andersen, NTNU og Bernt Olav Hilmo, Asplan Viak AS
- 11:00-11:20 *Spørsmål*
- 11:20-11:40 *Pause*
- 11:40-12:00 **Stable isotope composition ( $\delta^2\text{H}$  and  $\delta^{18}\text{O}$ ) of groundwater in Norway –  
what do we know and where shall we go?**  
Oliver Kracht, NGU
- 12:00-12:20 **Grunnvannsanalyser av norske skråninger**  
Panagiotis Dimakis, NVE
- 12:20-12:40 **En studie i Trandumskogens potensial for utnyttelse av grunnvann ved  
kunstig infiltrasjon**  
Svein Ragnar Lysen, Multiconsult

- 12:40-13:20 *Lunsj*
- Ordstyrer: *Bjørn Frengstad*
- 13:20-13:40 **Vertical evolution of groundwater chemistry and hydrochemical stratifications – experiences using microscreen multi level groundwater samplers**  
Oliver Kracht, NGU, Jan Hansen, KIT, Merethe Mork, NTNU, Synnøve Knivslund, UiO, Ondrej Kielar, MU, Atle Dagestad, Gaute Storrø, Sylvi Gaut, NGU, Susanne Leufke, DVIAWA & Øystein Jæger, NGU
- 13:40-14:00 **Toxic metal removal using bioretention cells in cold climates**  
Kim H. Paus, NTNU
- 14:00-14:20 **Use of convection for enhancement of energy well performance**  
Heiko Liebel, NTNU
- 14:20-14:40 *Spørsmål*
- 14:40-15:10 *Pause*
- 15:10-15:30 **Bedrock topography in Norway – mapping or estimating?**  
Nils-Otto Kitterød, UMB
- 15:30-15:50 **Hydrologiske tiltak for heving av grunnvannet og bevaring av kulturlag ved Bryggen i Bergen**  
Hans de Beer, NGU
- 15:50-16:10 **The main characteristics of the groundwater in the Bahi-Manyoni basin in Tanzania**  
Synnøve Mathan Knivslund, UiO
- 16:10-16:20 *Spørsmål*
- 17:00 Seminarmiddag på NGU

----0----

## **15. februar**

### **MILJØGEOKJEMI**

- Ordstyrer: *Rolf Tore Ottesen, NGU*
- 09:00-09:30 **Geochemical exploration in Finland in the past and at present**  
Alf Björklund, Magnus Minerals Oy
- 09:30-10:00 **Geokemi vid malmetning i Sverige**  
Kaj Lax, SGU



- 10:00-10:25 **Geokjemisk prospektering i Store Norske**  
Harald Hansen og Morten Often, Store Norske Gull AS
- 10:25-10:35 *Spørsmål*
- 10:35-10:55 *Pause*
- 10:55-11:15 **Urban mining**  
Belinda Flem og Rolf Tore Ottesen, NGU
- 11:15-11:40 **EE-avfall og urban mining - ressurser i våre nærmeste omgivelser**  
Guro Kjørsvik Husby, Elretur
- 11:40-12:05 **Miljøutfordringer i bergindustrien**  
Elisabeth Gammelsæter, Norsk Bergindustri
- 12:05-12:30 *Presentasjon av postere*
- 12:30-13:10 *Lunsj*
- 13:10-13:30 *Postersesjon*
- Ordstyrer: Ola Eggen, NGU*
- 13:30-13:50 **MINN - mineralressurser i Nord-Norge, status og resultater så langt**  
Jan Sverre Sandstad, NGU
- 13:50-14:10 **Nye resultater fra gamle løsmasseprøver i Nord-Norge**  
Tor Erik Finne, NGU
- 14:10-14:30 **Geokjemisk kartlegging på Nordkinnhalvøya**  
Clemens Reimann, Malin Andersson, Ola Anfin Eggen, Tor Erik Finne og Henning K.B. Jensen, NGU
- 14:30-14:50 *Pause*
- 14:50-15:10 **Bærekraftig utnyttelse av geologiske ressurser**  
Per Helge Høgaas, SINTEF Materialer og kjemi
- 15:10-15:30 **Strategies to discover unconventional economic ore-deposits in Norway**  
Rune B. Larsen, NTNU
- 15:30-15:50 *Utdeling av Norsk hydrologiråds pris for beste studentforedrag og – poster*
- 15:50 *Avslutning*

## **POSTERE**

### **15. februar**

#### **Multi- tracer experiments in glaciofluvial sediments at the Granli waterworks site (Kongsvinger, Norway)**

Jan Hansen, Nadine Göppert, KIT, [Oliver Kracht](#), Atle Dagestad, NGU & Nico Goldscheider, KIT

#### **An R-based wrapper script for the computation of pH-pe diagrams with PHREEQC**

Merethe Mork, NTNU & Oliver Kracht, NGU

#### **Stable isotope techniques and natural tracer signals for source typing and tracking in urban aquifers**

Oliver Kracht, NGU

#### **Lead isotope distribution in podzolic soil profiles on different types of bedrock in a formerly glaciated terrain (Oslo, Norway)**

Ola M. Sæther, NGU, Göran Åberg, Laboratory for Isotope Geology & Eiliv Steinnes, NTNU

**DELTAKERE**

Etternavn	Fornavn	Institutt/bedrift	E-post
Alston	John Fraser		johnfalston@hotmail.com
Andersson	Malin	NGU	malin.andersson@ngu.no
Auklend	Trond		tauklend@yahoo.com
Berg	Tomm	NGU	tomm.berg@ngu.no
Berg	Torunn	NTNU	torunn.berg@chem.ntnu.no
Beylich	Achim A.	NGU	achim.beylich@ngu.no
Björklund	Alf	Magnus Minerals Oy	alf.bjorklund@gmail.com
Bolstad	Magne	Forsvarsbygg	magne.bolstad@forsvarsbygg.no
Brattli	Bjørge	NTNU	bjorge.brattli@ntnu.no
Børseth	Beate	NTNU	beatebo@stud.ntnu.no
Cramer	Jan	NGU	jan.cramer@ngu.no
Dagestad	Atle	NGU	atle.dagestad@ngu.no
de Beer	Hans	NGU	hans.debeer@ngu.no
Dimakis	Panos	NVE	pad@nve.no
Edland	Rune B.	NTNU, IGB	rune.larsen@ntnu.no
Eggen	Ola A.	NGU	ola.eggen@ngu.no
Finne	Tor Erik	NGU	tor.finne@ngu.no
Flem	Belinda	NGU	belinda.flem@ngu.no
Fredriksen	Ivar	Geonor AS	if@geonor.no
Frengstad	Bjørn	NGU	bjorn.frengstad@ngu.no
Frøyland	Lena	Forsvarsbygg	lena.froyland@forsvarsbygg.no
Gammelsæter	Elisabeth	Norsk bergindustri	eg@norskbergindustri.no
Gaut	Sylvi	NGU	sylvi.gaut@ngu.no
Glad	Per Alve	NVE	pagl@nve.no
Grudt	Magnar	Mattilsynet, Distriktskontoret i Sør-Innherred	magnar.grudt@mattilsynet.no
Hansen	Hans Jørund	Klima- og forurensningsdirektoratet	hans-jorund.hansen@klif.no
Hansen	Harald	Store Norske Gull AS	harald.hansen@snsk.no
Haugen	Lars Egil	NVE	leh@nve.no
Haugsbø	Kim Runar Søgner	NTNU	kimrunar@stud.ntnu.no

Etternavn	Fornavn	Institutt/bedrift	E-post
Henriksen	Stine	NTNU	stinh@stud.ntnu.no
Hilmo	Bernt Olav	Asplan Viak as	berntolav.hilmo@asplanviak.no
Husby	Guro Kjørsvik	Elretur as	guro@elretur.no
Høgaas	Per Helge	SINTEF Materialer og kjemi	per.helge.hogaas@sintef.no
Isaksen	Marte Eik	NTNU	marteeik@stud.ntnu.no
Jensen	Henning K.B.	NGU	henning.jensen@ngu.no
Johansen	Per Erik	Klima- og forurensningsdirektoratet	pej@klif.no
Johnsen	Iselin	Multiconsult AS	ij@multiconsult.no
Jæger	Øystein	NGU	oystein.jager@ngu.no
Karlsen	Silje	NTNU	siljeska@stud.ntnu.no
Kitterød	Nils-Otto	Universitetet for miljø- og biovitenskap	nils-otto.kitterod@umb.no
Klungvik	Camilla	NTNU	klungvik@stud.ntnu.no
Knivslund	Synnøve Mathan	Universitetet i Oslo	synnokn@student.matnat.uio.no
Kongsvik	Marita Kjøsnes	NTNU	maritakj@stud.ntnu.no
Kracht	Oliver	NGU	oliver.kracht@ngu.no
Kvitsand	Hanne	NTNU	hanne.kvitsand@ntnu.no
Larsen	Rune B.	NTNU, IGB	rune.larsen@ntnu.no
Lax	Kaj	SGU	kaj.lax@sgu.se
Liebel	Heiko	NTNU, IGB	heiko.liebel@ntnu.no
Lierhagen	Syverin	NTNU	syverin.lierhagen@chem.ntnu.no
Lysen	Svein Ragnar	Multiconsult	svein.ragnar.lysen@multiconsult.no
Løberg	Rita	Rambøll Norge AS	rita.loberg@ramboll.no
Lønmo	Nina	NTNU	ninahele@stud.ntnu.no
Løtveit	Solveig Vullum		solvul@gmail.com
Martinsen	Morten	NTNU	morten.martinsen@chem.ntnu.no
Mikkelsen	Øyvind	NTNU	oyvind.mikkelsen@chem.ntnu.no
Misund	Arve	Cowi as	armi@cowi.no
Moen	Ingvill Marie	NTNU	ingvimo@stud.ntnu.no
Mork	Merethe Weiseth	NTNU	merethew@stud.ntnu.no
Okkenhaug	Gunnhild	Mattilsynet, Distriktskontoret i Sør-Innherred	guokk@mattilsynet.no

Etternavn	Fornavn	Institutt/bedrift	E-post
Ophaug	Camilla	NTNU	camillko@stud.ntnu.no
Ottesen	Rolf Tore	NGU	rolf.ottesen@ngu.no
Paus	Kim H.	NTNU	kim.paus@ntnu.no
Pettersen	Ann-Mari	NTNU	annmari.pettersen@gmail.com
Ramstad	Randi Kalskin	Asplan Viak as	randi.kalskin.ramstad@asplanviak.no
Ramzan	Muhammad	NTNU	muhammar@stud.ntnu.no
Reimann	Clemens	NGU	clemens.reimann@ngu.no
Reinemo	Petter	NTNU	reinemo@stud.ntnu.no
Rye	Henrik	Sintef	henrik.rye@sintef.no
Sandstad	Jan Sverre	NGU	jan.sandstad@ngu.no
Schmid	Rudolf	NTNU	rudolf.schmid@chem.ntnu.no
Simensen	Jan Tore	NTNU	jantorsi@stud.ntnu.no
Skoog	Kristina	Golder Associates	kristina.skoog@golder.no
Soldal	Oddmund	Cowi as	ods@cowi.no
Storrø	Gaute	NGU	gaute.storro@ngu.no
Sørdal	Torbjørn	NGU	torbjorn.sordal@ngu.no
Sæther	Ola M.	NGU	ola.sather@ngu.no
Urdalen	Ivar	NTNU	ivar.urdalen@gmail.com
Vestland	Mari	Asplan Viak as	mari.vestland@asplanviak.no
Volden	Tore	NGU	
Været	Lars	Sweco Norge AS	lav@sweco.no
Øksenvåg	Jane H.C.	Sintef	jane.oksenvag@sintef.no
Åkesson	Rickard	Cowi as	riaa@cowi.no
Aakre	Eva Kristin	NTNU	evakria@stud.ntnu.no



# **FOREDRAG**

## **14. februar**





## Beskyttelse av grunnvann i løsmasser – teori og praksis

Oddmund Soldal og Arve Misund, *Cowi as*

Beskyttelse av grunnvann i løsmasser medfører ofte arealkonflikter. Spesielt i dalfører er bebyggelse, veier og landbruk anlagt på gode grunnvannsressurser. Det er derfor ofte umulig å møte alle anbefalinger i forhold til beskyttelse av grunnvannet. Vannet skal ha to uavhengige hygieniske barrierer. Klausulering av tilsigsområdene er normalt en barriere. I de tilfeller klausuleringen er umulig eller vanskelig i forhold til andre bruksinteresser, blir ofte løsningen å kombinere grunnvannsuttak med vannbehandling. Andre alternativ er å legge mer innsats i kartlegging av strømningsmønstre for å kunne klausulere mindre områder.

Erfaringsmessig er det sjelden at moderne grunnvannsanlegg får problemer med bakteriologisk grunnvannskvalitet selv om beskyttelsesplanene ikke er optimale.

Grunnlagsdataene som brukes til planlegging er ikke alltid reelle. Planlagt forbruk er mindre enn reelt forbruk pga lekkasjer på nettet og ofte blir anleggene utvidet over tid uten at klausuleringen blir justert som følge av dette.

Det er eksempel på konfliktfylte prosesser med klausuleringsarbeidet der avbøtende tiltak som for eksempel tett overvåking blir løsningen på arealkonflikten. Det finnes frem til kompromissløsninger, men det oppleves også ignorering av avbøtende tiltak.

Det vil bli gjennomgått eksempler på prosessene frem til ferdig klausulering, hvordan tiltaksplaner blir fulgt opp i praksis og håndtering av tiltak i beskyttelsesområdet.

## **EUs vannrammedirektiv grunnvann – En første klassifisering**

*Forslag til metode for vurdering av tilstand og sårbarhet av grunnvannsforkomster i tilknytning til Vannforskriften*

**Lars Egil Haugen og Per Alve Glad, Norges vassdrags- og energidirektorat, Seksjon for vannbalanse**

Målet med Vannforskriften er å fremskaffe nødvendig kunnskapsgrunnlag for en helhetlig beskyttelse og bærekraftig bruk av, i vårt tilfelle, grunnvannsforkomstene. Dette skal oppnås gjennom en vurdering av miljøpåvirkninger av grunnvannsforkomstene. Ut fra informasjon, blant annet geografisk utstrekning, dagens tilstand, menneskeskapte påvirkninger og risiko for ikke å oppnå god miljøtilstand, skal det utarbeides forvaltningsplaner.

I Norge foreligger det svært lite målinger av grunnvannsforkomstenes kjemiske og kvantitative tilstand. Vurdering av tilstand og risiko må derfor bygge på tolkning av annen informasjon enn målinger. For å få en gjennomsiktighet i vurderingene, foreslår vi en metode for vurdering ut fra det som vi har funnet av tilgjengelig informasjon. Tilgjengelig informasjon inkluderer areal av ulike løsmasser (NGU's løsmassekart), arealbruk (NISL Arealressurskart), veilengde av ulike typer vei og jernbane (Statens kartverk) og areal av deponier fra Klif's database. Veilengde og jernbane er beregnet som areal ut fra antagelser om bredde av vei/jernbane. Informasjon om årsnedbør, årstemperatur samt avrenning (nedbør-fordamping) simuleringer med HBV-modellen er hentet fra NVE-Atlas/seNorge. I tillegg, ulike variabler for høyde over havet ut fra høydeverdi for hver 25x25 m<sup>2</sup> rute innen hver forekomst.

Ulik arealbruk er vektet ut fra antatt påvirkning. En nærmere beskrivelse vil bli gitt i foredraget. Vektet areal er summert for de ulike menneskelige aktivitetene og dividert med grunnvannsforkomstens totalareal og fremstilt som en "arealindeks". Ut fra andelen av ulike aktiviteter og størrelsen på arealindeksen er tilstand samt risiko for ikke å nå målet vurdert. Dette gir en enhetlig og gjennomsiktig vurdering av alle grunnvannsforkomstene i Norge som grunnlag for mer spesifikke lokale vurderinger og korreksjoner.

Foreløpig er kun svært enkle vurderinger av sårbarhet foretatt ut fra blant annet løsmasstype og avrenning. En gjennomgang av grunnvannsforkomstene har vist svært varierende kvalitet på grensedragning, noe som har gjort bruk av detaljert topografisk informasjon i forbindelse med vurdering av grunnvannsdyp umulig i denne omgang.

Til slutt kan det nevnes at en lignende tilnærming var benyttet ved avgrensningen av de første grunnvannsforkomstene i 2004 ("workshop-avgrensningen" - ut fra eldre excel-filer vi har funnet), men denne informasjon har forsvunnet på veien. Forslaget til metode er ikke noe direkte nytt, men like mye en gjenoppdagelse, som er modifisert.

## Kartlegging av råvannskvalitet ved grunnvannsanlegg i løsmasser – renseeffekt

Hanne M. L. Kvitsand<sup>1</sup>, Bjørge Brattli<sup>1</sup>, Liv Fiksdal<sup>2</sup>, Stein W. Østerhus<sup>2</sup>, Elisabeth Andersen<sup>3</sup> og Bernt Olav Hilmo<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Institutt for geologi og bergteknikk, <sup>2</sup>Institutt for vann- og miljøteknikk, <sup>3</sup>Institutt for bioteknologi (NTNU), <sup>4</sup>Asplan Viak AS

En rekke norske kommuner har drikkevannsforsyning basert på grunnvannsuttak fra brønner i løsmasser, hvor grunnvannet står i hydraulisk kontakt med en overflatevannkilde. Ved pumping fra slike brønner induseres overflatevann til å strømme inn mot brønnfeltet, noe som gir økt uttakskapasitet og en forbedring av kvaliteten på infiltrasjonsvannet. Denne metoden, såkalt «bank filtration (BF)», utgjør en vesentlig andel av vannforsyningen i Slovakia (50 %), Ungarn (45 %), Tyskland (16 %) og Nederland (5 %) (Hiscock et al 2002), og står i praksis for det meste av grunnvannsforsyningen fra løsmasser i Norge.

Selv om kvaliteten på overflatevannet kan forbedres betraktelig under transporten i løsmassene ved «bank filtration», eksisterer også muligheten for at forurensninger i overflatevannet når frem til brønnfeltet. I drikkevannssammenheng er mikroorganismer som finnes i avføring (fæces) hos mennesker og dyr de viktigste smittestoffene. Alle fekale mikroorganismer, inkludert virus, bakterier og parasitter, uansett om de er sykdomsfremmende eller ikke, kan nå frem til pumpebrønnene. De ulike mikroorganismene har imidlertid ulik struktur og overflate. Dette påvirker deres evne til overlevelse og adsorpsjon og/eller filtrering, og også deres evne til å medføre sykdom hos en sårbar vert. Eksempelvis er virus mindre i størrelse og overlever ofte lengre enn bakterier i mørkt og kaldt vann. De har i tillegg lav infeksjonsdose, og er den hyppigst påviste årsaken til vannbårne sykdomsutbrudd ved grunnvannsforsyning i Norge (Kvitsand et al. 2010). Etersom det er et uoverkommelig arbeid å rutinemessig analysere vannet for innhold av alle mulige fekale smittestoffer, analyseres det i stedet for bestemte bakterier som skal indikere både fersk og eldre fekal forurensning. Indikatorbakterienes egnethet til å forutsi tilstedeværelse eller fravær av virus i grunnvannssystem er på grunn av deres ulike egenskaper omdiskutert.

Til tross for at «bank filtration» er en mye brukt metode her til lands, både med og uten påfølgende vannbehandling, er den ikke godt dokumentert med hensyn til kvalitetsforbedringer på infiltrerende overflatevann. Det er i den forbindelse utført en kartlegging av råvannskvalitet i infiltrerende overflatevann og grunnvann ved to løsmasseanlegg i Midt-Norge. Den 4-måned lange kartleggingen viste at konsentrasjonen av bakteriofager<sup>1</sup> og indikatorbakterier ble redusert med  $> 2 \log^{-2}$  ( $> 99\%$ ) under «bank filtration» ved begge anleggene. I tillegg ble det oppnådd en betydelig reduksjon i fargetall og TOC, og økt reduksjon med økende avstand og oppholdstid mellom pumpebrønn og overflatevannkilde. Det ble påvist få gjennombrudd av mikroorganismer i grunnvannet. Konsentrasjonen av mikroorganismer i overflatevannet utgjør dermed en begrensende faktor ved synliggjøring av maksimalt rensepotensiale. Ved to tilfeller ble bakteriofager påvist i vannprøver fri for indikatorbakterier. Studien er den første undersøkelsen av forekomst av bakteriofager i overflatevann og grunnvann i Norge.

<sup>1</sup> Bakteriofager er virus som kun infiserer spesifikke bakterier, og benyttes som indikator for potensiell virustransport i løsmassene.

<sup>2</sup> «>»: tilsvarer minimum fjerning for brønner der det ikke ble påvist mikroorganismer. Deteksjonsgrensen utgjør nedre konsentrasjon i beregningene ved disse tilfellene.

***Referanser:***

Hiscock, K. M., Grischek, T., 2002: Attenuation of groundwater pollution by bank filtration. J. Hydrol. 266, 139-144.

Kvitsand, H. M. L., Fiksdal, L., 2010: Waterborne disease in Norway: emphasizing outbreaks in groundwater systems. Wat. Sci. Techn. 61.3, 563-571.

## **Stable isotope composition ( $\delta^2\text{H}$ and $\delta^{18}\text{O}$ ) of groundwater in Norway – what do we know and where shall we go?**

**Oliver Kracht, *Norges geologiske undersøkelse (NGU)***

The study of transient effects in hydrological cycles is highly topical as these are supposed to provide means for investigating the effects of climate change and increasing human activities. From a hydrogeological point of view, it is critical to establish suitable tools for the large scale observation of changes in groundwater recharge and depletion, their likely controls, and the expected nature of responses to changing climate, urbanization and other human activities. In this context, stable isotopes ( $\delta^{18}\text{O}$  and  $\delta^2\text{H}$  of water) can provide an expedient instrument to investigate the general hydrological setting, connections, and pathways of various scale aquifer systems. A careful investigation of the spatial and temporal evolution of stable isotope signals in Norwegian groundwaters can be a key approach. In this context, it is important to obtain a proper knowledge about the long term hydrogeological background values, as well as reliable constraints on the response time scales of our aquifers.

During years 2010 and 2011 the Geological Survey of Norway (NGU) organized two nationwide sampling campaigns on the stable isotope composition of modern groundwater. These pilot studies aimed on obtaining a first overview about the data ranges and natural variations to be expected. We used stations from the existing Norwegian Groundwater Monitoring Network (Landsomfattende Grunnvannnett, LGN) to collect samples of groundwater at 55 different locations throughout Norway. As a main characteristic of these two datasets, all  $\delta^{18}\text{O}$  and  $\delta^2\text{H}$  values of the “LGN series” were well correlated and plotted close to the global meteoric water line. This essentially documents the in principal exclusively meteoric origin of these waters, and indicates that all LGN groundwaters investigated shared the same type of origin: (1) evaporation from the ocean, and (2) isotopic enrichment by rainout (continental effect). Conversely this also indicated that other processes (re-evaporation, admixture of water with a different genesis, etc.) did not have significant influence in this dataset.

In parallel, two more detailed local application studies have been conducted in two unconsolidated glaciofluvial aquifers in S-Norway (eastern part of the Gardermoen / Øvre Romerike Aquifer - Ullensaker, and glaciofluvial deposits at the Granli waterworks - Kongsvinger). In these investigations, detailed profiles displayed systematic vertical evolution of groundwater isotopic composition, and extended local datasets enabled to discuss the discrimination between different groundwater / surface water influences.

I will summarize our experiences gained from these preliminary studies and will try to identify relationships to existing datasets, historical registrations, and networks on precipitation data. However, in summary it must be concluded that we are nowadays missing a sound background dataset on hydrogeological and hydrological stable isotopes data for Norway. Hydrogeologists could largely benefit from such a database and contour maps of stable isotope data collected from groundwater, surface water, and precipitation on a national scale and over a long time period. Such mapping of background data could then serve as a valuable reference for a variety of local studies dealing with groundwater recharge, groundwater residence time, and groundwater sustainability related questions.

## Grunnvannsanalyser av norske skråninger

**Panagiotis Dimakis, Norges vassdrags- og energidirektorat (NVE)**

Vi har brukt simuleringsverktøyet FEFLOW til å analysere grunnvannsforholdene i en idealisert skråning under en realistisk nedbørsbelastning. 30-årsnedbørserier fra 5 lokaliteter ble brukt for å vurdere modellens evne til å fange opp ekstreme grunnvannsforhold som kan føre til skredd. En sensitivitetsanalyse ble også utført for å undersøke hvordan de forskjellige parametere påvirker resultatene og for å få en bedre prosessforståelse.

Vi har fått mange interessante resultater og har kommet frem til flere konklusjoner. Her er noen av de viktigste:

1. Brattere skråninger magasinerer mindre grunnvann, men uansett skråningsvinkel får vi omtrent den samme responsen fra nedbør/snøsmelting.
2. Det øverste høyporositetslaget vil ikke påvirke resultatene på en vesentlig måte. Det er egenskapene til hovedlaget som dominerer resultatene og dermed er det dette laget som er viktig å kartlegge.
3. Likningene (Van Genuchten, Brooks-Corey, Haverkamp ,osv), som anvendes for å simulere umettede forhold vil ha stor påvirkning på resultatene.
4. Overvåkingsstasjoner burde plasseres midt på skråningen for å bedre fange opp endringer knyttet til høy nedbørshendelser.
5. Skred av løsmasser med store mektigheter vil ha en forsinket respons til nedbørshendelser. Overvåkingsstasjoner plassert nederst på skråningen kan fange dette opp, men i de fleste tilfeller vil ikke dette være av interesse for typiske norske skråninger.
6. FEFLOW kan ikke brukes som en del av et operativt skredvarslingssystem uten stor innsats. Til og med om man automatiserer datainnmatningen og resultatvisningen vil FEFLOW kreve flere timer for å utføre flere hundre scenarier.
7. Simuleringsresultatene er kun avhengige av nedbørsmengdene i scenariene og er ikke sensitive til lokale forhold. Dvs. at simuleringene tar ikke hensyn til lokale geologiske/sedimentologiske forhold. Skråningene i Bergen vil ikke reagere på 30mm nedbør siden skråningene er vant til å tolerere mye mer enn dette. Men i Otta er 30mm en ekstrem nedbørshendelse og skråningene vil muligens ikke tolerere det.

# En studie i Trandumskogens potensial for utnyttelse av grunnvann ved kunstig infiltrasjon

Svein Ragnar Lysen, *Multiconsult*

En studie av Trandumskogens potensial for utnyttelse av grunnvann ved kunstig infiltrasjon. Diplomoppgave i TGB4935 Miljø/Hydrogeologi, våren 2011. NTNU – Norges teknisk og naturvitenskapelige universitet, Fakultet for ingeniørvitenskap og teknologi, Institutt for ingeniørgeologi og bergteknikk.

Denne oppgaven undersøker potensialet for å utnytte grunnvann fra Trandumskogen som en ny drikkevannskilde til Ullensaker kommune, ved kunstig infiltrasjon av vann fra Hurdalssjøen. I den sammenheng bygger oppgaven videre på konklusjoner fra forfatters studentprosjekt ”Avsetningshistorie, løsmasseoppbygging og hydrogeologiske forhold tilknyttet akviferen i Trandumskogen, og nytten av modelleringsverktøyet GSI3D for visualisering og tolkning av geologisk data”, fra høsten 2010.

Det er utført røntgendiffraksjon (XRD) og differensialtermiske analyser (DTA) på sedimentprøver fra det planlagte brønnområdet på Trandumskogen. Prøvene domineres av silikatene kvarts, kalifeltspat, amfibol og glimmer, i tillegg til mindre mengder kalsitt og spor av sulfider. Analyseresultatene viser en mineralogisk overgangssone ved 6.5 – 9.5 meters dyp, hvor innhold av kalsitt øker betraktelig. Dette sammenfaller godt med resultater fra tidligere undersøkelser utført i Gardermoenområdet, som blant annet ved Moreppen. Men i motsetning til Moreppen, er det ved Trandumskogen tilsynelatende liten sammenheng mellom mineralogi og vannkjemi. Dette indikerer at grunnvannet på Trandumskogen gjenspeiler forvitnings-prosesser og hydrogeokjemiske forhold fra områder oppstrøms, nærmere grunnvannsskillet. Det er derfor nødvendig med ytterligere mineralogiske og vannkjemiske undersøkelser i det planlagte infiltrasjonsområdet på Trandumskogen.

Oppgaven undersøker også Trandumskogens hydrogeologiske potensial gjennom en numerisk strømningsmodell, konstruert i Visual MODFLOW. Ved pumperater over 100 L/sek og tilsvarende kunstig infiltrasjon, ble simuleringen påvirket i for stor grad av modellens grensebetingelser til å kunne gi troverdige resultater. Det vil si at den numeriske strømningsmodellen var for liten til å kunne finne Trandumskogens maksimale grunnvannskapasitet. Dermed er det nødvendig å utvide modellens grenser for å redusere modellens simuleringsbergrensninger.

Arbeidet med en slik utvidelse utføres av Dr. Tech. Sven Jonasson i Geo Logic i Gøteborg AB.

Men til tross for modellens begrensinger viser den at det infiltrerte vannet hovedsakelig vil strømme gjennom det øverste høykonduktive laget. Den viser også at det er brønnenes pumpekapasitet som er avgjørende for hvilke konsekvenser grunnvannsproduksjon vil ha på Trandumskogens naturlige forhold; ved en høy nok pumperate viser simuleringene at mesteparten av det infiltrerte vannet vil bli pumpet opp i brønnområdet. Slik vil det kunne oppstå et hydraulisk tilnærmet lukket system mellom infiltrert og utpumpet vann. Det kan ha betydning for hvor godt området vil kunne motstå mulig forurensing fra kilder oppstrøms for Trandumskogen.

## **Vertical evolution of groundwater chemistry and hydrochemical stratifications – experiences using microscreen multi level groundwater samplers**

**Oliver Kracht<sup>1</sup>, Jan Hansen<sup>2</sup>, Merethe Mork<sup>3</sup>, Synnøve Knivslund<sup>4</sup>, Ondrej Kielar<sup>5</sup>, Atle Dagestad<sup>1</sup>, Gaute Storrø<sup>1</sup>, Sylvi Gaut<sup>1</sup>, Susanne Leufke<sup>6</sup> & Øystein Jæger<sup>1</sup>**

*<sup>1</sup>Norges geologiske undersøkelse (NGU), <sup>2</sup>Karlsruhe Institute of Technology (KIT), <sup>3</sup>Norges Teknisk-Naturvitenskapelige Universitet (NTNU), <sup>4</sup>University of Oslo (UiO), <sup>5</sup>Masaryk University Brno (MU), <sup>6</sup>DVIAWA (Kanton Aargau)*

An everlasting issue in hydrogeological studies lies in the limited vertical representativeness of groundwater samples obtained from production wells or conventional observation wells. Samples obtained from longer screened intervals can unwantedly blur the actual hydrochemical zoning and heterogeneity within an aquifer. In order to obtain more reliable information on the vertical distribution of solute concentrations and groundwater quality parameters, the use of an appropriate multi-level sampling technique can be the optimal choice.

We summarize our experiences gained by using various setups of small volume multi-level samplers with microscreens in unconsolidated sedimentary aquifers at two different experimental sites in S-Norway. Experiments were conducted during year 2010 and 2011 (i) in fine to coarse grained glaciofluvial deposits in the eastern part of the Gardermoen / Øvre Romerike Aquifer (Ulensaker), and (ii) in coarse grained glaciofluvial deposits at the Granli waterworks (Kongsvinger). Samples were extracted by using a multi channel peristaltic suction pump under low flow rates.

The investigation of point water samples collected at one to two meters distances rather than samples from longer screened intervals enables for the acquisition of detailed vertical profiles of groundwater chemistry. This provides an improved knowledge about hydrochemical stratifications within the aquifer, and a better understanding of natural weathering processes, hydrochemical evolution paths, and contaminant transport. However, the benefits of obtaining this advanced level of detailedness are contingent on the minimization of vertical cross contaminations between the different samples, and the effectiveness of a multi level sampling installation is thus based on the premise of only negligible vertical flow contributions.



## **Toxic metal removal using bioretention cells in cold climates (Rensing av tungmetaller i overvann ved bruk av regnbed i kaldt klima)**

**Kim H. Paus, *Norwegian University of Science and Technology (NTNU)***

Raingardens are an emerging management practice that can reduce stormwater flows through infiltration as well as remove anthropogenic contaminants from urban stormwater by innate processes including filtration and sorption. As raingardens are increasingly being used in cold climates, information is needed regarding the effects of low temperature and salt (i.e., used for road and sidewalk deicing) on pollutant removal performance. Column experiments were performed to investigate the removal of three toxic metals (cadmium, copper, and zinc) from synthetic stormwater at two temperatures ( $3.6 \pm 0.9$  and  $19.4 \pm 1.8^\circ\text{C}$ ), and to investigate the potential for metals retained on the raingarden media to be mobilized by a 0.017 M NaCl solution. Overall, the laboratory-scale raingarden media composed of compost and sand were highly effective in retaining dissolved Cd, Cu and Zn from synthetic stormwater. Removals of cadmium and zinc were attributed to sorption, as these metals were primarily in dissolved form, while removal of copper, which was only 40% dissolved, was attributed primarily to filtration. Sorption capacities for Cd and Zn increased with increasing compost content, and were highest at low temperature. An inverse relationship between the Thomas sorption rate constants and dispersion coefficients suggested that sorption rates are controlled by dispersion in the raingarden media rather than chemical reaction rates. When high NaCl concentration was introduced in the feed water, Na cations were displacing Cd and Zn cations on sorptive sites in the raingarden media. The fraction of the initially retained Cd and Zn ions mobilized decreased with increasing compost content in the raingarden media suggesting that metals are more strongly bound to compost than to sand. The Cd and Zn peak concentrations correlated positively with the initial concentration of retained metals and were lowest at low temperature. Stormwater and meltwater containing high concentrations of NaCl due to road salt application is likely to have a low temperature and thus this result is positive in perspective of operations of raingarden in cold climates. Bed lifetime estimates showed that even with a relative thin raingarden media layer (30 cm) a long (> 40 years) lifetime with respect to Cd and Zn retention can be expected in raingarden operated in cold climates.

## **Use of convection for enhancement of energy well performance**

**Heiko Liebel, *Norwegian University of Science and Technology (NTNU)***

Ground-stored heat is frequently used in Scandinavia for the heating and cooling of buildings. For this purpose, energy wells (100 to 400 m deep) are equipped with borehole heat exchangers (plastic tubes) that are connected to a heat pump which transfers the heat from the ground to the building.

Convection was shown in earlier studies to improve the thermal contact between borehole heat exchanger and wall in water-filled boreholes.

This study investigates the effect of convection on the required borehole length for a ground-coupled heat pump installation. Artificial convection was induced by an ordinary groundwater pump during a multi-injection rate thermal response test (MIR-TRT) which is applied to measure effective thermal conductivity and thermal borehole resistance. For comparison, a second MIR-TRT was performed without pumping of groundwater.

The required borehole length was estimated for a ground-coupled heat pump installation supplying a Swedish single-family house based on the results for the effective thermal conductivity and borehole resistance. The required borehole length decreased linearly with increasing heat input rate during the MIR-TRT without pumping of groundwater due to buoyancy-driven convection. An artificial convection stronger than naturally occurring buoyancy-driven convection during the MIR-TRT with pumping of groundwater, reduced the required borehole length by 9 % to 25 % depending on the heat input rate.

The study was financed by NTNU and NGU. The project was accomplished in cooperation with Saqib Javed (Chalmers University of Technology, Gothenburg, Sweden) and Gunnar Vistnes (NTNU).

## **Bedrock topography in Norway – mapping or estimating?**

**Nils-Otto Kitterød, *The Norwegian University of Life Sciences (UMB)***

Bedrock topography is an important variable for many practical applications. Maps of bedrock topography however, are only available for limited areas of mainland Norway. As part of mapping Norwegian groundwater resources, sediment thickness (D) is sampled and recorded in the GRANADA database ([www.ngu.no](http://www.ngu.no)). This database can be combined with digital maps of Quaternary deposits. In the project which will be presented here, the horizontal distance to exposed bedrock (L) are combined with the GRANADA data in order to estimate D in points where there is no data available. Variogram analysis reveals ranges for spatial correlation of 2.5 km for D and approximately 5 km for L. Preliminary cross-validations in the early stages of the project indicate that estimation of D is improved by including information of L. A major challenge is the scarcity of wells in areas with significant D, this is known as bias in data support.

# Hydrologiske tiltak for heving av grunnvannet og bevaring av kulturlag ved Bryggen i Bergen

Hans de Beer, *Norges geologiske undersøkelse (NGU)*

Bryggen får sin rikelige del av regnet som faller over Bergen. Men det aller meste renner vekk over brostein og gjennom avløp uten å gjøre nytte for seg. Nå skal regnvannet temmes, og ledes dit Bryggen trenger det, nemlig i undergrunnen.

Regjeringen har bevilget 45 millioner kroner til arbeidene med å heve grunnvannsnivået under Bryggen. Målet er å redusere den pågående nedbrytningen av kulturlagene, og dermed setningen av terrenget og de historiske bygningene. Over flere tiår har grunnvannet under Bryggen sunket, i hovedsak som følge av endringer i undergrunnen og lekkasjer inn i den tidligere byggegropen under SAS-hotellet, som ble bygget i 1979-80.

Siden september 2011 er det igangsatt hydrologiske tiltak for heving av grunnvannet. Tiltakene blir gjennomført for å endre vannbalansen, slik at mer vann tilføres Bryggens undergrunn enn det dreneres bort gjennom dreneringssystemet under SAS-hotellet. Tiltakene har ikke som mål å fullstendig tette spuntveggen rundt SAS-hotellet. Stedvis bør grunnvannstanden heves med mer enn 2 meter for å komme opp til nivået før bygging av hotellet. I dette foredraget blir de forskjellige tiltakene og deres forventede effekt presentert.

Drensnivået under SAS-hotellet heves, og eksisterende vann- og avløpsledninger som drenerer grunnvann, blir reparert. En økning av drensnivået vil medføre en redusert gradient, og dermed redusert grunnvannsstrømning og høyere grunnvannstander under Bryggen. På grunn av endrede grunnforhold etter bygging av hotellet, vil en økning av drensnivået derimot ikke være tilstrekkelig for å heve grunnvannet til det ønskede nivået. Derfor skal det i tillegg bygges systemer som disponerer overvannet lokalt (LOD), og tilrettelegger for infiltrasjon i undergrunnen. Viktige aspekter ved anlegg av slike infiltrasjonssystemer er grunnforbedring for å forbedre infiltrasjonsmuligheter og stoppe prefererte strømningsbaner, utforming av tekniske detaljer for langsiktig kontroll og vedlikehold, samt sikkerhet og fleksibilitet.



Infiltrasjon langs Bryggen (illustrasjon: T. Sponga, fotogrunnlag Riksantikvaren)

## **The main characteristics of the groundwater in the Bahi-Manyoni basin in Tanzania**

**Synnøve Mathan Knivslund, *Universitetet i Oslo (UiO)***

University of Dar es Salaam (UDSM) and University of Oslo (UiO) was in 2009 officially partners in Programme for Institutional Transformation, Research and Outreach (PITRO). The UiO part of the project is a contribution to the geological and hydrological investigation of the past and present groundwater distribution in the Bahi-Manyoni area - The formation of the Kilimatinde beds and the hydrogeology of the area.

My master thesis is a part of this project and I concentrate on the hydrogeology of the area.

2 fieldtrips have been conducted in December 2010 and October/November 2011 to collect sediment and water samples. From these efforts are put into finding the influence sediments and bedrocks have on the composition of the groundwater and if pathways of trace elements, within the study area, can be detected, especially heavy metals and radioactive elements.

Here a presentation of the main characteristics of the groundwater in the Bahi-Manyoni basin will be given. A total of 69 water samples have been analysed and Piper- and activity diagrams interpretation in correlation with SEM analyses of suspended sediments in water samples, results from soil extraction, XRD and XRF analyses of 30 sediment samples and other analyses done on the major chemistry of the samples.

The distribution of the chemistry in the study area will also be looked upon.



# **FOREDRAG**

## **15. februar**





## Geochemical exploration in Finland in the past and at present

**Alf Björklund, *Magnus Minerals Oy***

The application of geochemical methods in Finland dates back to the 1940s, when till geochemistry first was applied as a complement to boulder tracing. Later biogeochemistry and stream sediment geochemistry were tested and applied and in 1971 the Pahtavaara Zn- Cu deposit in Lapland was located in a stream sediment survey. The application of systematic till geochemistry in detailed mineral exploration became common in the early 1960s and in the early 1970s this method, in parallel with stream sediment and humus geochemistry was applied also at a regional scale. These media were collected by the Geological Survey of Finland in a nation-wide regional survey initiated in 1971. Chemical analysis of the fine fraction of till (<0.62 µm) became routine after extensive tests with different grain sizes. Coarser fractions of till have also been used for heavy mineral separation and analysis in regional and especially prospect-scale surveys. Lake sediments were collected and analyzed in large areas in eastern Finland during the uranium exploration boom in the mid 1970s, but the results have not had any significant use.

During the 1980s and 1990s fine-fraction (<62 µm) till geochemistry became the dominating method for exploration and cartography in Finland. For detailed prospect scale mineral exploration, grain counting and the geochemistry of heavy minerals also became standard practice, especially because the interpretation of anomalies in the fine fraction of till was found to be difficult. It became evident that long down-ice anomalies from bedrock sources did not exist in the way they were described in the early days of applied geochemistry. Also strong anomalies in the fine fraction of till frequently occur without any apparent source rock underneath or up-ice.

At present counting and analysis of heavy minerals and gold nuggets has become standard practice. The applicability of Enzyme Leach and MMI (Mobile Metal Ions) has been widely tested recently for prospect scale mineral exploration. The results have so far been quite inconclusive.

A number of nation-wide projects employing till geochemistry have been carried out during the past 30 to 40 years. Based mainly on the Finnish low-density sampling (1 sample/4 sq km) and the Nordkalott Project (1 sample/ca 25 sq km) it is apparent that regional anomalies in geochemical provinces do not correlate well with bedrock units. The reason for this has not been investigated and understood by geochemists. New evidence of fast upward movement of chemical compounds and nano particles in combination with the evolution of the perspective in economic geology toward a fluid flux-centric concept gives new insight in the formation of geochemical provinces. It is becoming apparent, that these provinces are formed by diffuse fluid flow to the surface from large metal-rich saline conduits in the lithosphere below. This would explain the fact, that all major Finnish base-metal deposits are in geochemical provinces revealed by the metal contents in the fine fraction of till. The consequence is that exploration for such deposits should be focused on such strong geochemical provinces. However, the deposits are not found in the peak anomalies in the fine fraction of till within the provinces. This and experience of detailed geochemical sampling has shown that fine-fraction till geochemistry is a poor tool for prospect-scale exploration unless the sampling hits the sub-cropping ore.

## Geokemi vid malmletning i Sverige

**Kaj Lax, *Sveriges geologiska undersökning***

Drivkraften bakom geokemisk kartläggning dominerades ursprungligen av vetenskaplig nyfikenhet samt av möjligheterna att finna malmer och mineraliseringar. Sverige tillhörde, liksom de nordiska grannländerna, föregångsländer inom geokemisk prospektering. Som exempel kan Nils Herman Brundin nämnas. Han fick redan 1939 patent på en geokemisk malmletningsmetod ("Method of locating metals and minerals in the ground", U. S. patent 2,155,980, beviljat 16/5, 1939)

Ursprungligen var de metoder som användes ofta beroende av förkoncentrering av de metaller eller andra ämnen som var intressanta. Dessutom var analysmetoderna begränsade såtillvida att de element som analyserades ofta var få till antalet. Under senare halvan av 1900-talet skedde en stark utveckling avseende analysmetoder, och de multielementmetoder som utvecklades medgav säkra analyser av många element på de ofta låga haltnivåer som förekommer i naturen. Dessutom moderniserades provtagningsmetoder, kvalitetskontroll, samtidigt som databehandling numera medger avancerade tolkningar – på gott och på ont.

Idag dominerar morängeokemi och litogeokemi stort, medan andra metoder är relativt ovanliga. Av de fynd som gjorts är Björkdal (guld) den gruva i Sverige som är mest känd för att ha hittats genom geokemisk malmletning, men även andra, lyckade exempel finns.

## **Geokjemisk prospektering i Store Norske**

**Harald Hansen og Morten Often, *Store Norske Gull AS***

Store Norske Gull AS, datterselskap av Store Norske Spitsbergen Kulkompani, er et leteselskap som aktivt prospekterer etter metaller i Troms, Finnmark og på Svalbard. Selskapets strategi er å samle data med de beste tilgjengelige metodene innen geofysikk og geokjemi, og bearbeide med den beste geologiske kunnskap.

Presentasjonen beskriver SNGs geokjemiske metoder og strategier for prospekteringsarbeidet, både på regionalt og mer detaljert nivå. Resultater fra Karasjok Grønnsteinsbelte og fra Svalbard blir presentert.

SNGs gullundersøkelser på Svalbard har bakgrunn i geokjemisk kartlegging gjort i et samarbeid mellom Store Norske og Norsk Hydro på midten av 80 tallet. Dette arbeidet resulterte i flere funn av gullanomalier langs vestkysten av Svalbard. En av disse var Svansen, et område nord for Ny-Ålesund.

Store Norske ønsket å teste forekomsten med kjerneboring og opprettet i 2003 datterselskapet Store Norske Gull AS med det formålet, men fikk ikke tillatelse til å gjennomføre arbeidet.

Imidlertid ble de geokjemiske datasettene tatt fram igjen i 2008 og flere interessante anomalier sør for Ny-Ålesund ble undersøkt i felt. Geofysikk fra helikopter, geokjemisk prøvetaking og geologisk kartlegging påviste flere gullførende strukturer av stor utstrekning. Noen av disse strukturene ble rekognoserende kjerneboret i 2010. Søknad om videre kjerneboring vurderes nå av Sysselmannen.

## Urban mining

### **Belinda Flem og Rolf Tore Ottesen, *Norges geologiske undersøkelse***

Norges geologiske undersøkelse har over statsbudsjettet fått bevilget 100 mill kr fordelt over 4 år for satsning på mineralleting i Nord Norge. Prosjektet har betegnelsen MINN. Målet med prosjektet er å skape et bedre datagrunnlag for dokumentasjon av potensialet for drivverdige forekomster av metaller og industrimineraler i den nordlige landsdelen.

Verden opplever for tiden stort press på tilgangen av sjeldne jordartsmetaller. Grunnstoffene som faller inn under begrepet sjeldne jordarter er lantan, cerium, praseodym, neodym, promethium, samarium, europium, gadolinium, terbium, dysprosium, holmium, erbium, thulium, ytterbium, og lutetium. Scandium og yttrium har liknende kjemiske egenskaper som de sjeldne jordartene. Disse grunnstoffene er metaller og de lette sjeldne jordartene t.d. cerium er like vanlig i jordskorpen som kobber og bly, mens de tunge REE t.d. lutetium, opptrer i konsentrasjoner tilsvarende det vi finner for gull. Primærkildene for sjeldne jordartsmetaller er mineraler i berggrunnen. Utvinning av disse metallene fra berggrunnen er svært komplisert, på nåværende tidspunkt er det Kina som har mest kompetanse på dette og 90-95 % av all utvinning av disse metallene skjer der.

Sjeldne jordartsmetaller opptrer vanligvis i forskjellige mineraler i samme forekomst. Utvinning av metallene er meget komplisert og en rekke kjemiske prosesser må benyttes. De prosessene representerer store miljøutfordringer. Mange av forekomstene inneholder uran, thorium og radium og spesielle hensyn til både miljø og arbeidernes helse må tas.

Siden miljøbelastningen ved utvinning av sjeldne jordarts metaller er ekstra miljøbelastende er det viktig at disse metallene får et langt liv og helst flere liv, at de tas vare på og resirkuleres. Lite har vært gjort for å finne metoder for resirkulering av disse metallene, men nå begynner prisene og bli så høye at industrien ser nødvendigheten og lønnsomhet i å gi disse metallene en lengere levetid.

To eksempler på aktører som har kommet langt i utvikling av teknologi for resirkulering av sjeldne jordartselementer er Hitachi, som har annonsert at de har utviklet teknologi for resirkulering av REE-magneter fra harddisk (HDD) motorer, air conditioner og andre kompressorer, og Umicore og Rhodia som sammen har utviklet en metode for resirkulering av REE fra nikkel metall hydrid (NiMH) oppladbare batterier. Rhodia driver også forskning på gjenvinning av sjeldne jordarts elementer fra GSFL lamper.

Geokjemilaget på NGU ønsker å sette urban mining på den faglige og politiske dagsordenen i Norge. Satsingen gjennomføres i samarbeid med Elretur som er spesialister på elektrisk og elektronisk avfall.

## EE-avfall og urban mining - ressurser i våre nærmeste omgivelser

Guro Kjørsvik Husby, *Elretur*

Å sammenligne gjenvinning av EE-avfall med god gammeldags gruvedrift gir en soleklar miljø- og klimaseierherre. Derfor er det nødvendig å sette seg inn i begrepet urban mining – ikke bare for å se på hva som er best for klima og miljø – men hvorfor det er avgjørende for vår fremtidige utvikling å ta vare på ressursene som vi lever midt oppi.

Hvorfor er det så viktig å ta vare på metallene fra EE-avfall?

I elektriske og elektroniske produkter finnes svært mange forskjellige stoff. Jern, kobber, gull, kobolt og aluminium er kjente metaller som lar seg gjenvinne fra EE-avfall. I tillegg finnes det flere metaller som er ukjente for de fleste – metaller som er definerte som sjeldne på jorden, men som det er stor etterspørsel etter (rare earth metals). Råvareprisen på disse metallene stiger for hvert år som går – ettersom etterspørselen øker, tilgangen minsker og ikke minst det viser seg at ny teknologi og utvikling har et behov for disse sjeldne metallene.

Nyvinninger innen lasere, røntgenmaskiner, spesielle batterier, solcellepaneler, hybridbiler og vindmøller – dette er alle eksempler på fremtidsrettede høyteknologiske produkter som er eller kan være avhengige av jordas aller sjeldneste metaller. Av alle grunnstoffene i det periodiske system er 17 betegnet som ”rare earth metals”. Noen av disse, som blant annet er benyttet i lasere og røntgenmaskiner er scandium, yttrium, praseodym og neodym.

I 2010 ble 91,5 % av alt EE-avfall samlet inn av Elretur gjenvunnet. Jern er det metallet som det gjenvinnes størst tonnasje av, hele 21 000 tonn jern kom ut på verdensmarkedet igjen for å brukes på nytt. Over 3000 tonn kobber ble gjenvunnet, og 944 tonn aluminium. 580 kilo nikkel og 85 kilo gull ble også solgt ut på markedet igjen.

Disse metallene hører ikke med under kategorien *rare earth metals* . Ikke i dag. Men hva som er fremtidens gruvedrift, hvor klima- og miljøspørsmålene må hensyn tas i mye større grad, vil ikke være gruvedriften slik den historisk sett har vært.

Gevinstene ligger i *urban mining*.

## **Miljøutfordringer i bergindustrien**

**Elisabeth Gammelsæter, *Norsk Bergindustri***

Foredraget vil drøfte bærekraftighetsbegrepet i bergindustrien og sette denne diskusjonen inn i en bredere sammenheng knyttet til en omdømme- og samfunnsansvarsdiskusjon. Det vil bli orientert om regjeringens arbeid for å legge fram en mineralstrategi. Under miljøutfordringer vil følgende utfordringer bli drøftet: deponi og avfall, biologisk mangfold, friluftsliv, kulturminner, vannkvalitet, kjemikalier, klima, utslipp til luft og støv.

## **MINN - mineralressurser i Nord-Norge, status og resultater så langt**

**Jan Sverre Sandstad, Norges geologiske undersøkelse**

Programmet Mineralressurser i Nord-Norge (MINN) startet i 2011 etter at Regjeringen ga Norges geologiske undersøkelse (NGU) et tilsagn om 100 millioner kroner over fire år for å kartlegge mulighetene for metalliske og andre mineralressurser i nord. Det meste av midlene brukes til innsamling og prosessering av høyoppløselige geofysiske data, og i tillegg kommer oppfølgende geologisk og geokjemisk kartlegging. Gjennom MINN vil vi få bedre grunnlagsdata og økt kunnskap om den geologiske utviklingen. Det vil danne grunnlag for økt aktivitet fra prospekteringselskaper, og dermed øke mulighetene for påvisning og utvikling av nye mineralforekomster. Bedre dokumentasjon av ressurspotensialet vil også være til stor nytte ved arealplanlegging og vil kunne minske arealkonflikter.

Programmet startet med re-analysering av 2.200 tidligere innsamlede jordprøver fra de tre nordligste fylkene. Analyseresultatene var ferdig før sommeren 2011, og geokjemiske anomalier på Nordkinnhalvøya ble fulgt opp med tettere prøvetaking. Resultatene fra disse prøvene vil være ferdig til dette møtet. Geofysiske målinger fra fly og helikopter over et areal på til sammen 15.000 km<sup>2</sup> er gjennomført. Med helikopter ble magnetiske, elektromagnetiske og radiometriske data innsamlet fra Rombak vest for Narvik, Mauken i Målselv, Vannøya nord for Tromsø og Repparfjord i Vest-Finnmark. Magnetiske og radiometriske data ble innsamlet fra fly over store deler av indre Finnmark. I tillegg er også tidligere innsamlede geofysiske data re-prosessert. NGU har registrert at det er stor interesse for disse data. De er fritt tilgjengelige på NGUs hjemmesider, og flere selskaper har lastet ned data fra flere områder.

Den geologiske oppfølgingen ble i 2011 gjennomført fra Repparfjord til Kautokeino i Vest-Finnmark, på Senja, Mauken og omkring Altevatnet i Sør-Troms, og i Vesterålen. Strukturgeologisk kartlegging i tilknytning til kjente mineraliseringer og prøvetaking for datering var viktige oppgaver i tillegg til generell berggrunnskartlegging. Mange av områdene har stort potensial for mineral- og metallforekomster, i første rekke kobber, gull, jern og nikkel. De nye geofysiske data kunne brukes under feltarbeidet i enkelte av disse områdene, og videre tolkning av disse har fortsatt utover vinteren. Studentoppgaver er påbegynt både i Repparfjord og på Mauken i samarbeid med universitet og industri. Et slikt samarbeid vil bidra til økt kompetanse og nødvendig rekruttering.

## Nye resultater fra gamle løsmasseprøver i Nord-Norge

**Tor Erik Finne, Norges geologiske undersøkelse**

Regjeringen annonserte i oktober 2010 en 4(5)-årig satsing på leting etter mineralressurser i Nord, med NGU som utøvende statlige aktør. For geokjemi var det klart at utviklingen på analysesiden og dreining av markedet aktualiserte reanalyse av prøvekolleksjoner innsamlet for 2-3 tiår siden. Allerede før feltsesongen 2011 forelå det dermed nye geokjemidata som dekket hele Nord-Norge.

I løpet av første del av 1980-tallet ble størstedelen av Finnmark og deler av Nord-Troms dekket av geokjemisk kartlegging i Nordkalottprosjektet. Det var et samarbeid mellom NGU, SGU og GTK, der banebrytende ideer førte til innsamling og analyse av en rekke ulike medier og en prøvetakingstetthet på ca 1/100 av det som var akseptert i fagmiljøet på den tiden. I 1986 ble en forenklet versjon gjennomført i Nordland og Troms. Data fra disse prosjektene ble rapportert, og i noen grad fulgt opp av NGU og industrien i den siste fase av forrige bølge med mineralprospektering i Norge.

Løsmasseprøver ble valgt som prøvemedium for reanalysene. Fra Finnmark var det kun materiale siktet < 60µm i små mengder som var tilgjengelig på lager på Løkken, mens det fra Nordland og Troms forelå flere kg usiktet materiale fra alle lokaliteter. For Finnmark ble det med 7,5 g innvekt som minimum satt sammen en kolleksjon av prøver fra 1147 lokaliteter. Sammen med felt- og innvektsdubletter og kontrollprøver, ble i alt 1246 prøver sendt til kommersielt laboratorium i Canada for ekstraksjon med konge vann og analyse av 65 grunnstoffer. Splitting og sikting av alle prøvene fra Nordland og Troms til <63µm ville sprengte tidsrammen, og valget falt på fraksjonen <2mm. For å kunne se de to datasettene i sammenheng, ble 93 prøver fra Nord-Troms også siktet til <63µm og analysert sammen med Finnmarkprøvene. Fra Nordland og Troms ble prøver fra 993 lokaliteter randomisert etter samme mal som for Finnmark, og sammen med feltdubletter og kontrollprøver ble 1058 prøver håndtert av samme canadiske lab. Eneste prosedyreendring var 15g innvekt isf 7,5g for å bedre representativiteten på prøver med større kornstørrelse.

Resultatene ble rapportert i NGU rapport 2011.044 (og 2011.045; engelsk utgave), samtidig som datafilene ble tilgjengelig på ngu.no, den 16.06.2011. Eksempler på noen av de mange anomaliområder blir vist, og sammenhengen mellom <63µm og <2mm, og mellom ekstraksjon med salpetersyre og konge vann blir diskutert.



## Geokjemisk kartlegging på Nordkinnhalvøya

**Clemens Reimann, Malin Andersson, Ola Anfin Eggen, Tor Erik Finne og Henning K.B. Jensen, Norges geologiske undersøkelse**

Nordkinnhalvøya består av en serie Neoproterosoiske fluviale, krysslagrede sandsteiner tilhørende Kalak dekkekompleks, med opphav i grunnfjellområder i det Fennoskandiske skjold (Roberts, 2007). Ved første øyekast kan området synes lite lovende med tanke på mineralprospektering. Flere geokjemiske undersøkelser med lav prøvetakingstetthet viser imidlertid klare geokjemiske anomalier (REE, U og Th, men også Pb, Bi, Zn og Sb) på Nordkinnhalvøya og på nærliggende Varangerhalvøya (Nordkalottprosjektet – Bølviken et al., 1986, Kola prosjektet – Reimann et al., 1996, re-analyse av gamle Nordkalottprøver – Reimann et al., 2011). På grunn av tallrike anomalier ble det bestemt å dekke Nordkinnhalvøya (ca 2000 km<sup>2</sup>) med en lokal skala geokjemisk undersøkelse med prøvetakingstetthet 1 prøve per 2 km<sup>2</sup>. I løpet av sommeren 2011 ble det samlet ca 800 nye jordprøver med 1 km avstand langs omlag 30 linjer som krysset halvøya i øst-vest retning med 2 km linjeavstand. På grunn av logistiske/budsjettmessige hensyn ble området Koifjordfjellet-Sandfjellet utelatt, i likhet med deler av Digermulhalvøya i sør, der helikopterlandingstillatelse ikke ble innvilget innenfor det aktuelle tidsrommet.

Alle prøvene ble lufttørket og siktet gjennom 2 mm nylonduk. Underlagt strenge kvalitetskontrollprosedyrer gjennomførte et kommersielt laboratorium kongevannekstraksjon og analyser av 65 elementer, inklusive alle REE unntatt Pm. Den geografiske fordelingen av de fleste elementene viser klart de geologiske enhetene. Høyeste sum REE overskrider 2000 mg/kg, og de høye REE-verdiene er klart knyttet til en av sandsteinsenhetene. Flere andre geokjemiske anomalier avtegner seg også i datasettet.

### **Referanser**

- Bølviken, B., Bergstrom, J., Björklund, A., et al. 1986. Geochemical Atlas of Northern Fennoscandia, Scale 1:4,000,000. Mapped by Geological Surveys of Finland, Norway and Sweden with Swedish Geological Co. and the Geological Survey of Sweden. Nordic Council of Ministers, 19 p. and 155 maps.
- Reimann, C., Äyräs, M., Chekushin, V., Bogatyrev, I., Boyd, R., Caritat, P. De, Dutter, R., Finne, T.E., Halleraker, J.H., Jæger, Ø., Kashulina, G., Lehto, O., Niskavaara, H., Pavlov, V., Räisänen, M.L., Strand, T., Volden, T., 1998. Environmental Geochemical Atlas of the Central Barents Region. ISBN 82-7385-176-1. NGU-GTK-CKE Special Publication, Geological Survey of Norway, Trondheim, Norway, 745 pp.
- Reimann, C., Finne, T.E., Filzmoser, P., 2011. New geochemical data from a collection of till samples from Nordland, Troms and Finnmark. NGU report 2011.045, 152 pp.
- Roberts, D., 2007. Palaeocurrent data from the Kalak Nappe Complex, northern Norway: a key element in models of terrane affiliation. Norwegian Journal of Geology 87: 319-328.

## **Bærekraftig utnyttelse av geologiske ressurser**

**Per Helge Høgaas, *SINTEF Materialer og kjemi***

Begrepet bærekraftig utvikling er definert som en samfunnsutvikling som imøtekommer dagens konsumbehov uten å forringe mulighetene for kommende generasjoner til å få dekket sine. (Brundtlandkommisjonen 1987)

Bærekraftig utnyttelse av geologiske ressurser vil spesielt utfordre mineralnæringen innenfor miljømessige forhold knyttet til avgangsdeponering, utslipp av drivhusgasser og anvendelse av best mulig produksjonsteknologi.

Myndighetene vil utfordres i forhold til avklaring av rammebetingelser, lovverk og urfolksproblematikk.

Utvikling av ny- og grønn teknologi har medført økt bruk av sjeldne jordarter og spesialmetaller. En stor del av produksjonen av disse ressursene foregår i land preget av politisk ustabilitet og liten miljøvennlig profil.

# Strategies to discover unconventional economic ore-deposits in Norway

Rune B. Larsen, NTNU

In this presentation unconventional (or exotic) ore-deposits are defined as:

- a) *Deposits that are not having a surface expression and occur in geological settings where we never or rarely would expect them to be in economic quantities.*
- b) *Deposits that do have a surface expression as sub-economic occurrences but where the genesis and geological setting traditionally excludes economic deposits at depth.*
- c) *Deposits of rare or conventional metals and minerals that occur in new geological settings*

Examples of deposits falling under the categories (a) and (b) could for example be the Cu-Ni-PGE deposits that are known from the Seiland Igneous Province (SIP) in N. Norway. They are unusual because they are associated with peridotitic parental melts that were emplaced at the roots of a gigantic magmatic plumbing system at an unprecedented (?) depth of 20-30 km. This example will be discussed in detail because we now have new TDEM data from the Rein fjord intrusion in SIP, that provides important clues to the ore-forming potential of the ultra mafic parental melts.

The enigmatic W-Mo deposits in Nordland are also awaiting a good ore-genetic model that may en- or dis-courage future prospecting campaigns. The known deposits particularly deviates from classical occurrences with the absence of parent intrusions and with only having W and Mo as economic metals. We have recent data on fluid inclusions, stable isotopes and geochronology that may improve our modeling of their genesis. Most of the Mo-deposits in SW Norway are also lacking obvious links to intrusive granitic rocks. Here, we have studied one of the few exceptions in Lyngdal, where Mo occurrences are closely associated with the Kleivan charnockite.

Future challenges, falling under (c) include the economic exploitation of Cu-Zn-Au sulphide deposits in active hydrothermal fields in Mid Oceanic settings. Contrary to classical VOLCEX deposits they did *not* form in ensimatic back-arcs and the ore grades are 3-4 times of any known onshore deposit.

An example of unconventional rare metal deposits could be the Th-U-REE deposits at i.e. Ytterøya and Leksvik in the Northern part of the Trondheims Fjord. Here, Th occurs in hydrothermal breccia zones with 0.1 – 1.2 wt% Th. Th occur in thorumite that is relatively coarse-grained, hence more easy to recover than the much debated minute thorite grains in the alkaline rocks of Fens-Feltet in S. Norway.

An overly successful example of an unconventional mineral deposit (point “c” above) would be the >330 mill ton Engebøfjell eclogite hosted rutile deposit. Two decades of research by A. Korneliussen (Geological Survey of Norway) is an luminous example (perhaps a warning?) of what it takes in terms of patience and perseverance and not least faith in “the good idea” in order to nurse a new type of resource to an economic deposit.



# **POSTER- PRESENTASJONER**



## **Multi- tracer experiments in glaciofluvial sediments at the Granli waterworks site (Kongsvinger, Norway)**

**Jan Hansen<sup>1</sup>, Nadine Göppert<sup>2</sup>, Oliver Kracht<sup>3</sup>, Atle Dagestad<sup>3</sup> & Nico Goldscheider<sup>2</sup>**

*<sup>1</sup>Student at Karlsruhe Institute of Technology (KIT), <sup>2</sup>Karlsruhe Institute of Technology (KIT), <sup>3</sup>Norges geologiske undersøkelse (NGU)*

Heterogeneity and anisotropy of the subsurface have a dominant effect on the transport behavior of solutes and contaminants in groundwater. In formerly glaciated regions, like Scandinavia, many of the most important groundwater resources are situated in glaciofluvial sediments, which are commonly characterised by a high degree of heterogeneity and anisotropy in their hydraulic properties. We present the results of a collaborative master thesis project between the Karlsruhe Institute of Technology (KIT) and the Geological Survey of Norway (NGU), which aimed at building up a better understanding of the spatial distribution of the effective hydraulic aquifer parameters and groundwater travel times by performing a multi-tracer test with fluorescence dyes.

The experiment was conducted in fall 2011 at the waterworks Granli, the principal water supply for Kongsvinger (municipality in SE-Norway). Tracer was introduced as a Dirac pulse into injection wells, whilst applying in-well homogenization of the injected solute over a screened well section from 5 m down to 40 m below ground. Consecutively, samples have been extracted from a multi-level sampling well at 8 different levels (8, 12, 16, 20, 24, 28, 36 and 40 m below ground) and from several other wells. Our objective was to explore the hydraulic response of the tracers to the highly heterogeneous architecture of the glaciofluvial sand and gravel deposits at the Granli site.

The results of this study will help to improve the delineation of protection zones around the groundwater abstraction wells, and to better identify the hydraulic flow paths and interconnections within the aquifer. In a broader context, the outcomes contribute to the long-term vulnerability assessment of the Granli aquifer, which is subject to various threats, like (i) elevated iron and manganese concentrations presumably caused by the influence of decaying organic matter from surface waters and wetlands, and (ii) microbiological contaminations in connection with recurring flooding events.

### *Acknowledgements:*

*Our fieldwork was generously supported by GIVAS (Glåmdal Inter-Municipal Water and Sewage Company), and by internal funds of the Institute of Applied Geosciences (KIT) and the Geological Survey of Norway (NGU). This study was also part of the activities within the Marie Curie Initial Training Network IMVUL (Towards improved groundwater vulnerability assessment, [www.see.leeds.ac.uk/imvul](http://www.see.leeds.ac.uk/imvul)).*

# An R-based wrapper script for the computation of pH-pe diagrams with PHREEQC

Merethe Mork<sup>1</sup> & Oliver Kracht<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Student at Norges Teknisk-Naturvitenskapelige Universitet (NTNU)*, <sup>2</sup>*Norges geologiske undersøkelse (NGU)*

This poster contribution presents the results of a student semester-project (5. Klasse siv. ing. Miljø- og hydrogeologi) which aimed to develop and test an external wrapper program for the computation of pH-pe diagrams based on modeling outputs obtained with PHREEQC.

When investigating stability relations in aquatic solutions or rock-water interactions, the number of dissolved species and mineral phases involved can be overwhelming. To facilitate an overview about equilibrium relationships and how chemical elements are distributed between different aqueous ions, complexes, and solids, predominance diagrams are a widely used tool in aquatic chemistry. In the simplest approach, the predominance field boundaries can be calculated based on a set of mass action equations and log K values for the reactions between different species. Example given, for the popular redox diagram (pH-pe diagram), half cell reactions according to Nernst's equation can be used (Garrels & Christ 1965). In such case, boundaries between different species represent lines of equal activity. However, for boundaries between solids and dissolved species a specific concentration needs to be stipulated.

An alternative approach can be the computation of predominance diagrams using the full speciation obtained from a geochemical speciation program. Technically this requires the coupling of the speciation program with an external program, in order to iterate over a grid of pH and pe values. Thereby the diagram can be explicitly based on a chemical laboratory analysis. This approach can be more realistic, because it allows for variable activities along the boundary lines, whereas the total amount of each element in the system remains constant.

The aim of this project was to develop and test an external wrapper program for the computation of hydro-geochemical predominance diagrams with PHREEQC. The wrapper code was programmed in the R environment for scientific computing (R Development Core Team 2011). R was chosen because it is freely available under the GNU General Public License, and it provides an open simulation platform with many possibilities for extension and integration of the simulation code. The underlying geochemical calculations are performed in PHREEQC (Parkhurst & Appelo 1999). PHREEQC was selected for the core task because it is a well established geochemical model with capabilities to simulate a wide range of equilibrium reactions between water and minerals. The coupling between R and PHREEQC was established by the main principle of “soft coupling” (file transfer).

The wrapper program reads in analytical data of the analyzed solution in the standard PHREEQC input file format and then iterates over a systematic selection of pH and pe values. Thereby the pH-pe combinations which are outside of the chemical stability limits of water have to be omitted. A set of solution definitions created from all selected valid pH-pe values is then transferred to PHREEQC for the calculation of a corresponding subset of hydrochemical speciations based on thermodynamic equilibrium. Some of the solutions do not converge in PHREEQC and therefore a loop structure was programmed which transfers a new set of solutions (starting where the failed solution ended) to PHREEQC when convergence problems occur.

The results of the PHREEQC simulations are subsequently analyzed by a postprocessor function in order to derive a two-dimensional representation of the different dominant aquatic species in



the pH-pe plane. In this step, the most abundant species at each grid point is identified as the predominant one. To investigate the utility of the program, spatial variations in the speciation of iron were calculated from chemical compositions of water samples taken from a current NGU field project (eastern part of the Trandumskogen / Øvre Romerike aquifer in S-Norway).

### ***References***

Garrels, R.M. and Christ, C.L (1965): Solutions, Minerals, and Equilibria.

Parkhurst, D.L. and Appelo, C.A.J., (1999): User's guide to PHREEQC. USGS Water-Resources Investigations Report 99-4259.

R Development Core Team (2011): R: A language and environment for statistical computing.  
<http://www.R-project.org/>

## **Stable isotope techniques and natural tracer signals for source typing and tracking in urban aquifers**

**Oliver Kracht, *Norges geologiske undersøkelse (NGU)***

Sustainable approach to urban water management requires an integrated assessment of all major components of the urban water cycle (natural groundwater, run-off and rainwater, domestic and industrial wastewater). In order to be able to evaluate and mitigate the negative environmental effects of water use and wastewater production, we need (i) adequate tools to investigate the structural integrity of urban drainage systems and their hydraulic interaction with the surrounding aquifers, and (ii) suitable means for the monitoring of diffusive groundwater contaminations and for the surveillance of remediation strategies for contaminated aquifers.

I will present a selection of experimental field studies based on natural and artificial tracer systems (stable isotopes, high resolution in-situ time series of chemical parameters), with regard to their suitability for applications in urban groundwater and urban drainage systems related questions. Selected applications are concerning: (i) the integrity of urban drainage systems, (ii) source typing the diffusive spread of wastewater-born groundwater contaminations and quantifying the associated material fluxes in urban aquifers, and (iii) assessment and remediation of contaminated aquifers.

Application area 1:

The integrity of urban sewer systems in terms of infiltration gains and exfiltration losses nowadays represents a very important element in sustainable urban water resource management as well as having significant economic consequences for sewer system operators and wastewater utilities. I will summarize on different experimental techniques which employ natural tracers (stable isotopes measured in sewers and in urban aquifers) to obtain a better understanding regarding the performance of wastewater collection infrastructure. Optimized experimental design and a detailed analysis of the resulting data and associated uncertainties can provide a better quality knowledge than associated with traditional methods.

Application area 2:

As a second consideration, I will demonstrate the monitoring of the pathways of major inorganic electron acceptors (sulphate, nitrate) in contaminated aquifers by means of innovative stable isotope technique. The objective is to identify the sources and potential biological transformations of these anions. The results are of high relevance for both the identification of contaminant sources and the evaluation of self or in-situ remediation capacities.

Application area 3:

A third consideration concerns the source typing and tracking the diffusive spread of wastewater losses and their associated threat of contamination to urban groundwater. An application study demonstrates the use of stable isotope techniques to investigate a massive nitrate contamination of an extended aquifer underlying a larger metropolitan area in NE-Brazil. By natural isotopic fingerprinting the contamination was traceable to result from the massive spill of sanitary effluents to the aquifer from septic pits. Furthermore it was shown that no indication of bacterial nitrate reduction preserved in the isotopic signatures. The outcomes of this study are of significant importance with respect to recommendations given for aquifer restoration and the declaration of groundwater protection zones.

## **Lead isotope distribution in podzolic soil profiles on different types of bedrock in a formerly glaciated terrain (Oslo, Norway)**

**Ola M. Sæther<sup>1</sup>, Göran Åberg<sup>2</sup> & Eiliv Steinnes<sup>3</sup>**

*<sup>1</sup>Geological Survey of Norway, <sup>2</sup>Laboratory for Isotope Geology, <sup>3</sup>Department of Chemistry, NTNU*

Lead (Pb) has been exploited by man during thousands of years for a variety of metallurgical, medicinal, and industrial purposes. The cumulative output of Pb from mining is estimated to be 260 million metric tonnes and 85% of this has occurred over the last two centuries. Global annual production of Pb from mining was about 3 million tonnes at the turn of the millenium.

Terrestrial ecosystems all over Norway have been contaminated moderately to strongly by Pb and other trace elements from atmospheric deposition. With the aim of developing a method for mapping the accumulated content of anthropogenic Pb and how deep in the soil profile the atmospherically deposited Pb has penetrated, the concentration of Pb and the <sup>206</sup>Pb and <sup>207</sup>Pb ratio has been studied in podzolic forest soils at four locations with different lithology, i.e. age and type of bedrock, in the Oslo area.

The concentrations of Pb in the soil profiles are 6.6-38.1 mg/kg (median 10.3). The <sup>206</sup>Pb/<sup>207</sup>Pb ratio ranges between 1.168-1.314 (median 1.267) over the entire profile. In the upper 5 cm the range is 1.168-1.191, similar to ratios determined in recent atmospheric deposition. Applying three different methods, the amount of anthropogenically deposited lead is estimated at 1-6 t/km<sup>2</sup>.