

# Hjerkinnskytefelt 2001-2009

Overvåking av metaller i bekker,  
elver og grunnvannsbrønner



**Hovedkontor**

Gaustadalléen 21  
0349 Oslo  
Telefon (47) 22 18 51 00  
Telefax (47) 22 18 52 00  
Internet: www.niva.no

**Sørlandsavdelingen**

Televeien 3  
4879 Grimstad  
Telefon (47) 18 51 00  
Telefax (47) 37 04 45 13

**Østlandsavdelingen**

Sandvikaveien 41  
2312 Ottestad  
Telefon (47) 22 18 51 00  
Telefax (47) 62 57 66 53

**Vestlandsavdelingen**

Thormøhlensgate 53 D  
5006 Bergen  
Telefon (47) 22 18 51 00  
Telefax (47) 55 31 22 14

**Akvaplan-niva**

9296 Tromsø  
Telefon (47) 77 75 03 00  
Telefax (47) 77 75 03 01

Tittel Hjerkinnskytefelt 2001-2009.  Overvåkning av metaller i bekker, elver og grunnvannsbrønner	Løpenr. (for bestilling) 5918-2010	Dato 03.02.10
	Prosjektnr. Undernr. 29315	Sider Pris 27 + vedlegg
Forfatter(e) Sigurd Rognerud	Fagområde miljøgifter	Distribusjon Åpen
	Geografisk område Oppland fylke	Trykket NIVA

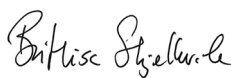
Oppdragsgiver(e) Forsvarsbygg, Region Østlandet	Oppdragsreferanse Odd-Erik Martinsen
--	---

Rapporten er en oppdatering av forrige årsrapport og omhandler resultatene fra undersøkelsene av vannkvalitet i bekker (2000-2009) og grunnvannsbrønner på Storranden (2004-2009) i Hjerkinnskytefelt. Til tross for betydelige metalldeponier etter omlag 80 års militær bruk er konsentrasjonene av metaller i feltets bekker overraskende lave. Lite nedbør, kalkrikt jordsmonn og nøytralt til svakt basisk miljø er forhold som gir lav korrosjonshastighet av prosjektilrester og liten bevegelighet av løste metaller i markvannet. Forurensningsgraden var ubetydelig for bly og generelt liten til moderat for kobber, sink og nikkel (untatt bekken fra demoleringsfeltet i Grisungdalen som var moderat til markert forurenset). Utlekking fra korroderte prosjektilrester bidro til at konsentrasjonene av kobber og sink økte i bekkene gjennom Haukberget og flyfeltet i Grisungdalen. Disse metallene i tillegg til nikkel lekker ut fra gruvegrusen til bekken på Haukberget. Konsentrasjonene av metaller varierte betydelig i grunnvannsbrønnene. Varierende oppholdstid i grunnvannsmagasinet gjennom året og veksling mellom reduktivt og oksidativt miljø i deponiet er antagelig årsaken til dette. Det har vært en negativ utvikling i vannkvaliteten i en av grunnvannsbrønnene i massedeponiet på Storranden de siste 2 årene. pH har sunket og metallkonsentrasjonene økt betydelig. Det planlegges tiltak for å stoppe videre utlekking i 2010. Høsten 2008 førte en flyøvelse med skarpe bomber til at utlekkingen av metaller økte fra målområdet i Grisungdalen, men høsten 2009 var konsentrasjonene tilbake til nivåene før denne hendelsen.

<p>Fire norske emneord</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>Hjerkinnskytefelt</li> <li>Metallkonsentrasjoner i bekker</li> <li>Metallkonsentrasjoner i grunnvann</li> <li>Forurensningsgrad</li> </ol>	<p>Fire engelske emneord</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>Hjerkinnskytefelt</li> <li>Metals concentrations in brooks</li> <li>Metals in groundwater</li> <li>Degree of impact</li> </ol>
--	--



Sigurd Rognerud  
Prosjektleder



Brit Lisa Skjelkvåle  
Forskningsleder



Bjørn Faafeng  
seniorrådgiver

Hjerkinn skytefelt 2001-2009

**Overvåkning av metaller i bekker, elver og  
grunnvannsbrønner.**


## Forord

Denne rapporten er en oppdatering av forrige årsrapport fra overvåkningen av metallkonsentrasjoner i bekker, elver og grunnvannsbrønner i Hjerkinnskytefelt (Rognerud 2009). Undersøkelsen dekker vanddirektivets krav til overvåking og kontroll av vannressurser som er utsatt for tilførsler av giftige og vanskelig nedbrytbare forbindelser. Resultatene skal brukes av Forsvarsbyggs i forbindelse oppryddinger av forurensningskilder ved tilbakeføringen av Hjerkinnskytefelt til sivile formål. Det er tidligere utgitt fem årsrapporter som omhandler forurensnings situasjonen i vassdragene i Hjerkinnskytefelt (Rognerud 2002, 2003, 2007, 2009 og Rognerud *et al.* 2004).

Prosjektet ble kontraktfestet den 17. august 2009 og Forsvarsbygg (FB), utvikling ØST er oppdragsgiver. Kontaktperson i FB er prosjektleder/koordinator Odd-Erik Martinsen.

Sigurd Rognerud (NIVA) har samlet inn alle vannprøvene unntatt i 2004 da Odd-Erik Martinsen samlet inn prøvene. Metallanalysene er gjort av AB Analytica (2001-2003) og NIVAs laboratorium i Oslo (2004-2009). En takk til Odd Erik Martinsen og personalet på Hjerkinnskytefelt for all assistanse ved prøvetakningsrundene.

Ottestad, februar 2010



*Sigurd Rognerud*

# Innhold

<b>Sammendrag</b>	<b>5</b>
<b>1. Innledning</b>	<b>6</b>
<b>2. Metoder</b>	<b>8</b>
2.1 Innsamling	8
2.2 Vannanalyser	8
<b>3. Resultater</b>	<b>8</b>
3.1 Vannanalyser i bekkene	8
3.1.1 Viktige vannkvalitetsvariable for metaller mobilitet	8
3.1.2 Alle delfelter unntatt Storranden og Svåni	10
3.1.3 Tidsutviklingen (2001-2009) i metallkonsentrasjoner i bekkene fra demoleringsfeltene, stridsvognfeltet på Haukberget og Flyfeltet	12
3.1.4 Svåni, Grisungbekken og Tjørnhøbekken	17
3.1.5 Metallkonsentrasjoner og SFTs vannkvalitetskriterier i elver og bekker	20
3.2 Vannkvaliteten i grunnvannsbrønnene	21
<b>4. Diskusjon</b>	<b>23</b>
<b>5. Litteratur</b>	<b>26</b>
<b>Vedlegg</b>	<b>28</b>

## Sammendrag

Rapporten omhandler resultatene fra overvåking av vannkvalitet i Hjerkins skytefelts bekker (2001-2009) og i grunnvannsbrønner på Storranden (2004 - 2009). Hensikten med overvåkingen er å sikre en god dokumentasjon av vannkvaliteten i skytefeltets bekker og i grunnvannsutsigene fra deponiene før anleggsarbeidet starter for fullt i 2010 hvor målet er å tilbakeføre feltet til sivile formål. Resultatene fra rapporten er en del av grunnlaget for Forsvarsbyggs arbeid med oppryddinger og sikring av forurensningskilder i forbindelse nedleggelse av Hjerkins skytefelt.

Hjerkins skytefelt (165 km<sup>2</sup>) ligger på Dovrefjell og vannforekomstene i feltet består av bekker av ulik størrelse, samt et lite antall innsjøer. Geologien er variert og dette fører til betydelige regionale forskjeller i vannkvalitet. Skytefeltet har vært i militær bruk i over 80 år. Beregninger viser at etter 1950 har det vært deponert totalt ca. 770 tonn kobber, 250 tonn bly, 30 tonn antimon og 22 tonn sink i feltet. I tillegg er betydelig mengder metallholdig grus fra gruvevirksomheten i Tverrfjellet, anrikt på arsen, nikkel, kobber, kadmium og sink, benyttet til bygging av veier, blanderinger, målområder (HFK-sletta) og kjøretreaser for stridsvogner.

Til tross for disse betydelige deponiene av metaller, er konsentrasjonene i bekkene overraskende lave. Forurensningsgraden for kobber, sink og nikkel er liten til moderat, med unntak av bekken fra demoleringsplassen i Grisungdalen og flyfeltet som er moderat til markert forurenset av kobber og sink. Høsten 2008 var det en betydelig økning i utlekkingen av metaller fra flyfeltet som følge av flyøvelser med dropp av skarpe bomber i Grisungdalen. Høsten 2009 var imidlertid konsentrasjonene av metaller tilbake til nivåene før denne hendelsen.

Bekkene i skytefeltet er ikke nevneverdig forurenset av bly. Konsentrasjonene av bly, sink og nikkel i skytefeltets bekker er på nivå med de som vanligvis observeres i norske vannforekomster, men kobberverdiene er noe høyere, antagelig som følge av utlekking fra gruvegrus og korroderte prosjektilrester på Haukberget og korroderte ammunisjonsrester i flyfeltet i Grisungdalen. De lave blykonsentrasjonene i bekkene skyldes at deponerte blyfragmenters overflate etterhvert dekkes av en skorpe bestående av blykarbonater og blyulfater som reduserer videre oksidasjon av metallisk bly til et minimum, og følgelig også utlekkingen av løst bly til markvannet. Løste blyioner som likevel lekker ut, vil bindes i jorda til metall-oksider eller som nesten uløselige bly-fosfor mineraler (pyrromorfitt). Bly i bekkene forekommer derfor i hovedsak som lite biotilgjengelige eroderte blymineraler fra nedbørfeltet, enten naturlig forekommende eller dannet ved korrosjon av prosjektilrester.

I motsetning til bly dannes det vanligvis ikke signifikante mengder av kobber-, sink- og nikkelsalter i vann, men organisk materiale i form av løste humus- og fulvosyrer danner stabile komplekser med løst kobber samt med sink og nikkel i alkalisk miljø. Dette stemmer godt overens med våre resultater der konsentrasjonene av disse metallene samvarierte signifikant med løst organisk materiale (TOC). Bindingen til ”metalltransportøren” løst organisk materiale og en mindre stabil skorpe av salter på prosjektilrestene er hovedårsaken til at disse metallene er mer mobile enn bly i skytefeltet.

Storranden er en løsmasseforekomst som inneholder store mengder sortert materiale og et betydelig grunnvannsmagasin. I denne løsmassen er det flere tidlige massetak med tre deponier der utlekking overvåkes i 8 grunnvannsbrønner lokalisert i eller nær deponiene. Forsvarsbygg har fått tillatelse til å fylle gruvegrus og masser som inneholder ammunisjonsrester i de to av massetakene etter gitte retningslinjer. Konsentrasjonene av metaller har variert betydelig i brønnene i perioden 2004-2009. Varierende oppholdstid i grunnvannsmagasinet gjennom året og veksling mellom reduktivt og oksidativt miljø i deponiet er antagelig årsaken til dette. Det har vært en negativ utvikling i vannkvaliteten i en av grunnvannsbrønnene med lavere pH verdier og økte metallkonsentrasjoner siste årene, uten at årsaken til dette er kjent. Det planlegges tiltak for å stoppe videre utlekking i 2010.

# 1. Innledning

Hjerkinn skytefelt (165 km<sup>2</sup>) ligger på Dovrefjell og omfattes i hovedsak av nedbørfeltene til Grisungbekken, Svåni og Grøna (Fig.1). De to første bekkene utgjør øvre deler av Drivas nedbørfelt, mens Grøna renner ned i Lågen like nordvest for Dombås. Vannforekomstene i feltet består av bekker av ulik størrelse og et lite antall innsjøer. Skytefeltet ligger i sin helhet over 1000 moh og har lav årsnedbør. Geologien er variert og dette fører til betydelige regionale forskjeller i vannkvalitet. Den nordligste delen består av feltspatholdig kvarsitt, øyegneis og innslag av kalkspatholdig fyllitt. De midtre deler består av kalkspatholdig fyllitt/glimmerskifer, mens i syd er berggrunnen dominert av grønn og grå fyllitt (Fig.2). Svåni og Grøna påvirkes av kaldt og turbid brevann sommer og høst.

Hjerkinn skytefelt har vært i militær bruk i over 80 år. I hovedsak har det vært Hæren og Luftforsvaret som har benyttet feltet. Testvirksomhet i forbindelse med våpenindustriens produktutvikling og demolering av ammunisjon har også vært en vanlig aktivitet i feltet. Det er deponert prosjektiler etter bruk av handvåpen, artilleri, bombekastere, stridsvogner, raketartilleri og fly. I feltet finnes også etterlatenskaper etter tyskerenes virksomhet under krigen. En gruppe nedsatt av Forsvarets militære organisasjon har kartfestet militær aktivitet i ulike tidsperioder etter 1950, og beskrevet omfanget av aktiviteten. På bakgrunn av dette arbeidet og metallinnholdet i prosjektiler/ammunisjon har Forsvarets Logistikkorganisasjon (FLO/Land) estimert at det totalt er deponert ca. 770 tonn kobber, 250 tonn bly, 30 tonn antimon og 22 tonn sink i skytefeltet (Roseth *et al.* 2003). Betydelig mengder metallholdig grusmasser fra gruvevirksomheten i Tverrfjellet er benyttet til bygging av veier, målområder, HFK-sletta og kjøretraséer for stridsvogner. Utløsning av metaller fra disse massene er også en potensiell forurensningskilde i skytefeltet. Gruvegrusen var anrikt på arsen, nikkel, kadmiem, sink og kobber i forhold til det en vanligvis observerer i innsjøesedimenter i Norge (Rognerud 2003). På bakgrunn av erfaringene fra undersøkelsene i 2002 ble programmet for overvåkingen i 2003 noe endret. Bekkene fra Einøvlingsvatni, Kollaområdet, Tverrfjellet, Breidskaret og Grøna (st. 12, 13, 14, 19, 20, 23 og 24) var ubetydelig forurenset og de ble ikke undersøkt i 2003. Resten av stasjonene ble også undersøkt i 2003 samt tre nye lokaliteter (st.60, 61 og 62) på Storranden. Disse er knyttet til avrenning fra et område som omfatter søppelplasser og et metall/ammunisjonsdeponi. I perioden 2004 - 2009 ble noen færre stasjoner undersøkt i bekkene.

Det er satt ned 8 grunnvannsbrønner i 3 deponier som ligger i massetakene på Storranden. Vi har undersøkt vannkvaliteten i disse brønnene i 2004 og 2006-2009. Forsvarsbygg ønsker å sikre disse eksisterende deponiene samtidig med at gruvegrus og masser som inneholder eksplosivrester skal deponeres i samme området (M3) fra og med 2010.

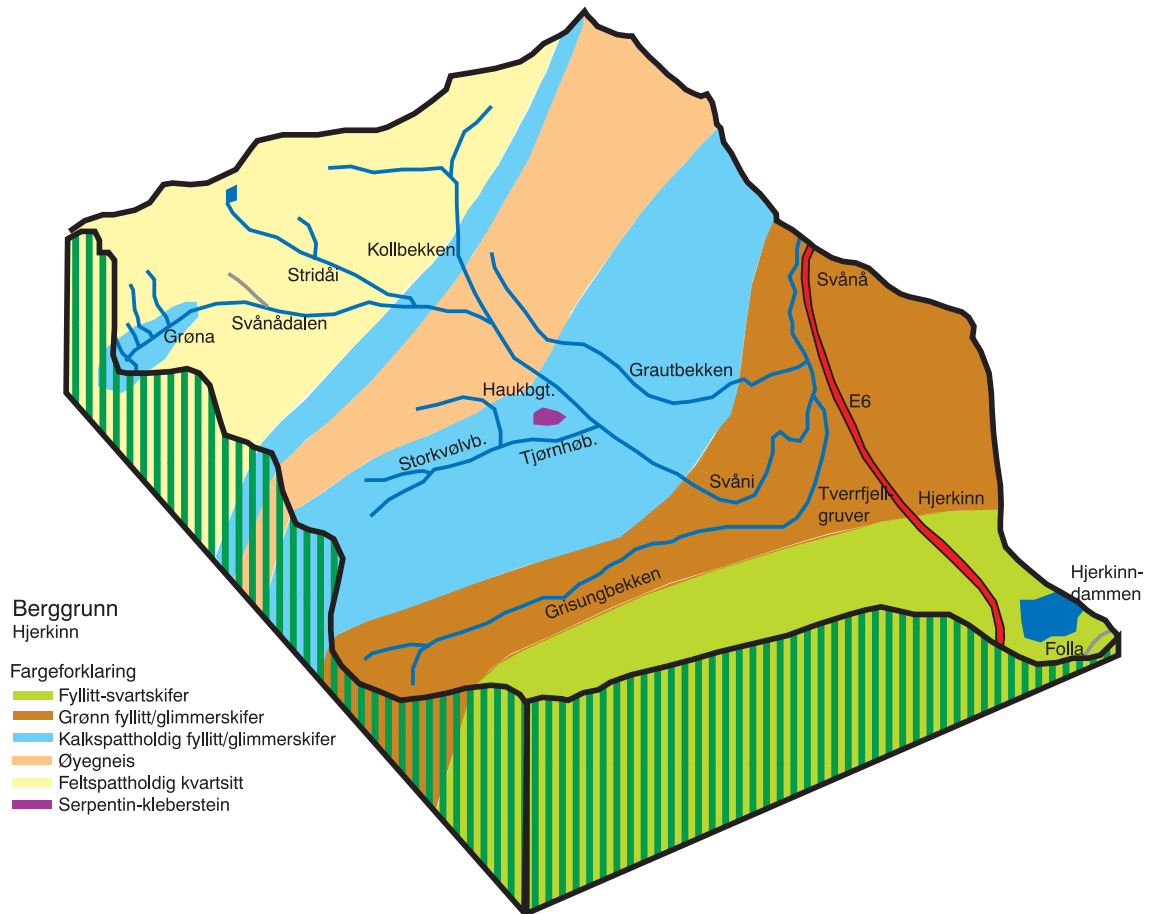
Hensikten med overvåkingen er å sikre en god dokumentasjon av vannkvaliteten i skytefeltets bekker og i grunnvannsutslaget fra deponiene. Den militære aktiviteten er nå avsluttet. Arbeidet med å tilbakeføre feltet til sivile formål startet i liten skala høsten 2009, men skal opptrappes betydelig i 2010.

Vannprøvene ble analysert med hensyn på metaller som observeres i høye konsentrasjoner i bekker som drenerer militære skytefelt (Rognerud og Bækken 2002), metaller som finnes i mindre mengder i militær ammunisjon (Rognerud *et al.* 2001), og vannkvalitetsvariable som påvirker metallers mobilitet, tilstandsform og giftighet (f.eks. pH, TOC, Ca). Konsentrasjonene av kvikksølv, kobber, bly og sink har vært såvidt lave at de ikke har ført til gifteffekter på fisk og bunndyr (Rognerud 2003).

Denne rapporten er en oppdatert versjon av forrige overvåkningsrapport (Rognerud 2009), med resultatene fra vannkjemiske analyser i bekkene og i grunnvannsbrønnene på Storranden for 2009.



**Figur 1.** Oversikt over prøvestasjonene i Hjerkinnskytefelt (avgrenset med rød strek)



**Figur 2.** En forenklet fremstilling av geologien i feltet etter Nilsen og Wolff (1989)



## 2. Metoder

### 2.1 Innsamling

Vannprøvene for metallanalyser ble innsamlet på syrevaskede plastflasker, mens vannprøver for analyse av pH og TOC ble samlet inn på plastflasker. Det ble ikke tatt prøver ved alle stasjonene ved alle prøverundene. Vannprøvene fra grunnvannsbrønnene ble hentet opp med elektriske miljøpumper som ble senket ned i rørene. Det ble benyttet separate pumper og slanger for hver brønn. Prøvene i 2009 ble samlet inn av Sigurd Rognerud (NIVA) den 19. mai og 18. september.

### 2.2 Vannanalyser

Metallanalysene er utført av SGAB Analytica (2001-2003) og NIVA (2004-2009). Alle analyser av pH og TOC er utført ved NIVAs laboratorium i Oslo. SGAB er akkreditert av SWEDAC og NIVA av Norsk Akkreditering (NA). As, Bi, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Mo, Ni, Pb, Sb og Zn ble analysert ved hjelp av ICP-MS. pH og TOC ble analysert etter henholdsvis metode A1, og G 4-2 gitt i metodebeskrivelser ved NIVAs laboratorium. Fra og med 2004 er et mindre antall metaller analysert.

## 3. Resultater

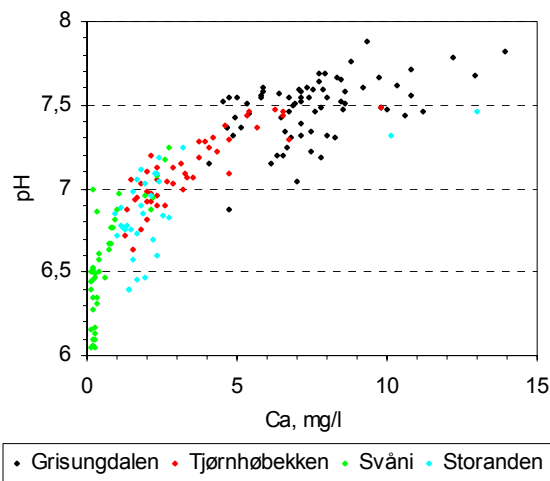
### 3.1 Vannanalyser i bekkene

Resultatene av vannanalysene (2007-2009) er gitt i vedlegget. Vi har valgt å presentere resultatene fra prøveseriene i følgende delområder: Grisungdalens bekker, Tjørnhøbekken, tilløpsbekkene til Svåni og bekkene fra demoleringsplassene. Endring i metallkonsentrasjoner i Grisungbekken og Svåni fra oppstrøms skytefeltet til ut av feltet diskuteres i et eget avsnitt, samt resultatene fra grunnvannsbrønnene fra massetakene på Storranden.

#### 3.1.1 Viktige vannkvalitetsvariable for metallers mobilitet

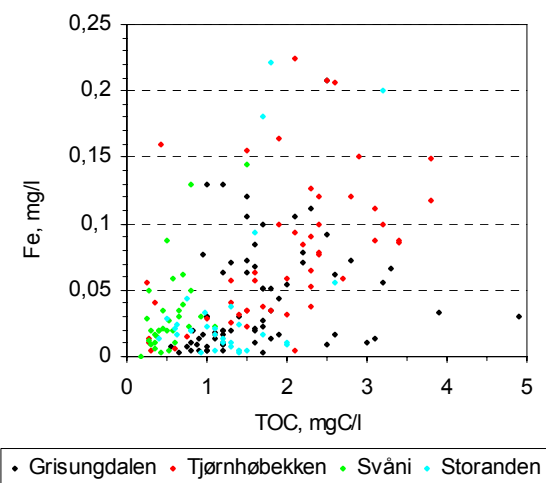
Utløsning av metaller fra berggrunn, løsavsetninger og korroderte prosjektilrester er til en stor grad avhengig av vannets pH-verdier, som i skytefeltets bekker i all hovedsak er styrt av forholdet mellom konsentrasjonene av bikarbonat ( $\text{HCO}_3$ ) og  $\text{CO}_2$ . I bekkene er konsentrasjonen av  $\text{CO}_2$  i nær likevekt med luftas  $\text{CO}_2$  og pH verdiene vil være styrt av bikarbonatkonsentrasjonen. Hovedkilden for bikarbonat i skytefeltets bekker er løsning av kalsiumkarbonat i grunnen. Det er derfor en god sammenheng mellom konsentrasjonene av kalsium og pH-verdiene i bekkene (Fig.3). Denne fremstillingsmåten er valgt fordi den viser nivåene av pH og kalsium som er svært viktig for metallers mobilitet i løsavsetningene og korrosjonshastigheten av deponerte prosjektilrester. Generelt sett er de fleste metaller mer mobile og metallrestene korroderer raskere i et surt miljø enn i et kalkrikt. Geologien i skytefeltet er variert (Fig.2) og dette gir opphav til en stor variasjon i pH og kalsiumkonsentrasjoner i de ulike delfeltene (Fig.3). Grisungdalen har kalkholdige bergarter som kalkspatholdig- og grønn fyllitt/glimmerskifer. Dette gjør at bekkene får svakt basisk reaksjon (pH 7-8) og generelt høye Ca konsentrasjoner (5-15 mg/l). Tjørnhøbekkens øvre deler drenerer områder bestående av kalkfattig øyegneis. Dette fører til at bekken har lave Ca konsentrasjoner og pH verdier nær 6, men begge øker betydelig når bekken renner gjennom det kalkspatholdige området på Haukberget. Svåni med tilløpselver drenerer områder som i hovedsak består av kvartsitt, gneis og områder med innslag av kalkspatholdig fyllitt. Dette gir lave Ca konsentrasjoner og pH-verdier mellom 6 og 7. Nedbørfeltet til Storrاندens bekker består av kalkspatholdig berggrunn overfylt av store grusavsetninger som elver har tilført, fra gneis- og kvartsittholdige områder, ved slutten av siste

istid. Vannet i bekkene blir derfor noe kalkrikere enn Svånis tilløpsbekker. Bekkene som kommer ut av løsavsetningene på Storranden og i Grisungdalen samt noen av grunnvannsbrønnene er antagelig overmettet av  $\text{CO}_2$ . Dette er antagelig årsaken til at pH var lavere enn pH ved de samme Ca-konsentrasjon i de godt utluftede bekkene (Fig.3).



**Figur 3.** Sammenhengen mellom kalsium-konsentrasjonen (Ca) og pH i bekkene i de ulike delfeltene.

Metallers mobilitet i løsavsetningene er også avhengig av konsentrasjonene av organisk stoff (TOC) og jernhydroksider (Fe). Disse stoffene binder løste metaller og gjør at de transporteres ut fra nedbørfeltet. Konsentrasjonene av disse "metall-transportørene" er lave i skytefeltets bekker og det var ingen klar samvariasjon mellom konsentrasjonene av disse variablene i noen av delfeltene (Fig.4)



**Figur 4.** Sammenhengen mellom konsentrasjonene av (TOC) og jern (Fe) i de ulike feltene.

Konsentrasjonene av As, Bi, Cd, Hg og Mo har i hele undersøkelsesperioden vært svært lave og oftest lavere enn deteksjonsgrensen for analysen. Det er derfor ikke knyttet forurensningsmessige problemer til disse metallene og de diskuteres ikke videre i rapporten. Militære etterlatenskaper inneholder også mindre mengder barium (Ba), strontium (Sr) og kobolt (Co). Vi har tidligere konkludert med at konsentrasjonene av disse metallene i bekkene er styrt av geokjemien i nedbørfeltet (Rognerud 2003). Denne konklusjonen bekreftes også av de senere observasjonene.

### 3.1.2 Alle delfelter unntatt Storranden og Svåni

Militær håndvåpenammunisjon inneholder kobber, sink, bly og antimon, mens artillerigranater inneholder bl.a jern, aluminium, kobber og sink. Innholdet av metaller i flybomber er ukjent, men det aller meste er jern. Undersøkelsene i 2002 viste at den utkjørte gruvegrusen er anrikt på kobber, sink og nikkel. Aluminium er et vanlig element i jordsmonnet og vi kan ikke skille forurensninger fra naturlig bidrag i bekkene (Rognerud 2003). Antimon forekommer i lave konsentrasjoner og svært ofte var verdiene lavere enn deteksjonsgrensen for analysen. Verdier lavere enn deteksjonsgrensen er satt til halvparten av denne i de statistiske analysene. Samvariasjonen mellom de øvrige metallene og de viktigste "metalltransportørene" i vann, organisk materiale og jern (jernhydroksider), er vist i Tab.1.

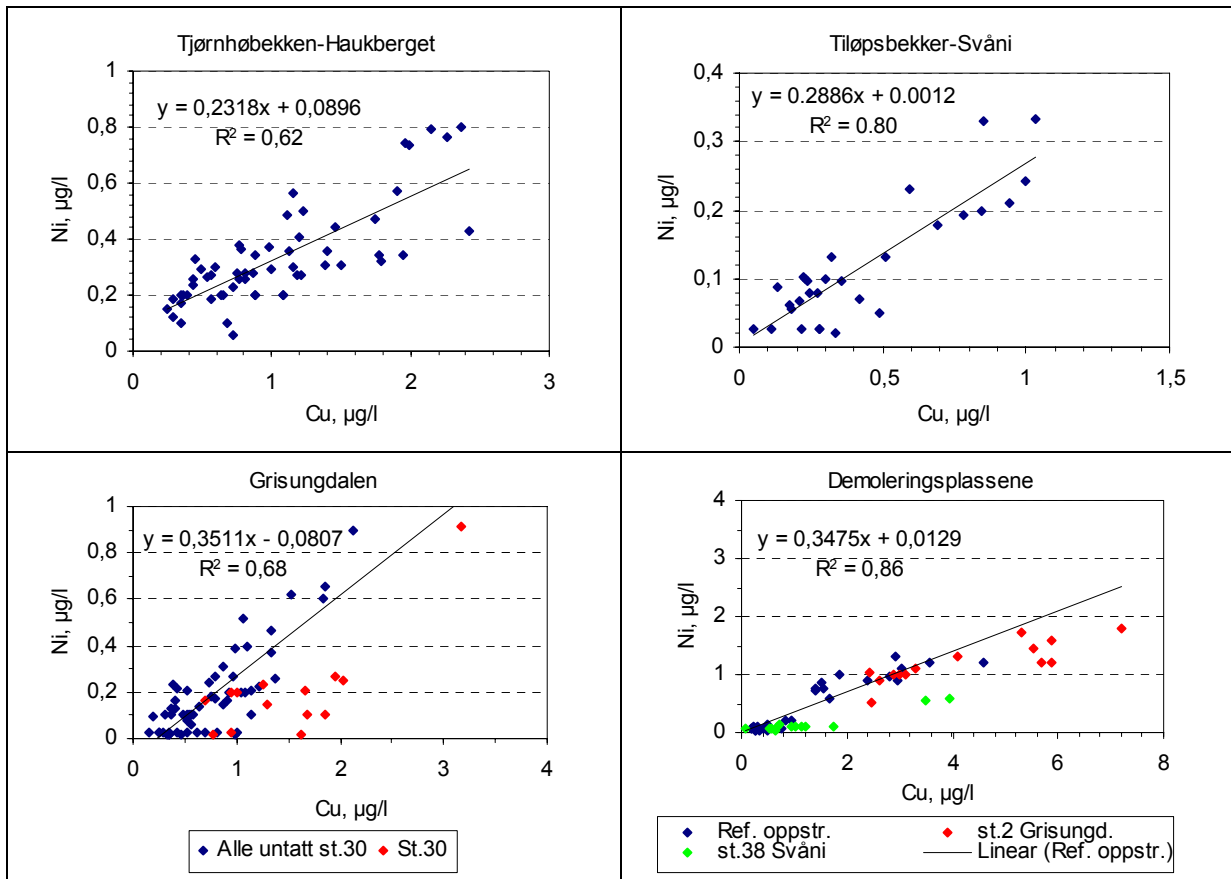
**Tabell 1.** Korrelasjonsmatrise mellom noen av de viktigste metallene samt organisk materiale (TOC) i tre delnedbørfelt i Hjerkinnskytefelt (2002-2008). Uthevede verdier viser statistisk signifikante korrelasjoner på 95 % konfidensnivå.

	Tjørnhøbekken- Haukberget, n=54					Grisungbekken m/tilløp n=60					Svåni's tilløpsbekker, n=21				
	Fe	Cu	Ni	Pb	Zn	Fe	Cu	Ni	Pb	Zn	Fe	Cu	Ni	Pb	Zn
TOC	0,27	<b>0,77</b>	<b>0,65</b>	0,42	<b>0,62</b>	0,11	0,37	0,17	0,01	0,14	0,45	<b>0,69</b>	<b>0,75</b>	0,29	0,18
Fe		0,25	0,29	0,14	0,19		0,36	0,04	0,02	0,13		0,36	0,56	0,1	0,01
Cu			<b>0,62</b>	0,34	<b>0,85</b>			<b>0,5</b>	0,07	0,24			<b>0,84</b>	0,18	0,42
Ni				0,28	0,4				0,01	0,14				0,16	0,3
Pb					0,34					0,03					0,41

Det var en god samvariasjon mellom konsentrasjonene av organisk materiale (TOC) og konsentrasjonene av kobber, nikkel og sink i Tjørnhøbekkens nedbørfelt, og mellom TOC og kobber og nikkel i Svåni's delfelter. Dette indikerer at humustoffer er en viktig "transportør" for disse elementene i bekkene. Det var en god samvariasjon mellom kobber og nikkel, og kobber og sink i Tjørnhøbekkens nedbørfelt. I Grisungbekkens nedbørfelt og i Svåni's tilløpsbekker var det bare kobber og nikkel som viste en høy grad av samvariasjon. Det er bemerkelsesverdig at bly ikke var signifikant korrelert til verken TOC eller noen av metallene. Vi kommer tilbake til dette i diskusjonen.

Den gode samvariasjonen mellom konsentrasjonene av kobber og nikkel i de fleste bekkene er oppsiktsvekkende. Militære etterlatenskaper (håndvåpen-prosjektiler, granater etc) inneholder kobber, men svært små mengder nikkel. Begge metallene er imidlertid anrikt i gruvegrus (Rognerud 2003), og en samvariasjon kan forventes i bekkene som drenerer nedre deler av Haukberget og området

nedstrøms HFK-sletta i Grisungdalen. Det var imidlertid ingen vesentlig forskjell på forholdet mellom konsentrasjonene av kobber og nikkel i bekker (3:1) fra disse områdene og fra områder der gruvegrusen ikke forekommer, selv om konsentrasjonene var høyere (Fig.5). Dette kan tyde på at geokjemien i området og gruvegrusen har nær det samme forholdet mellom disse metallene. Forholdet mellom kobber og nikkel var imidlertid noe høyere nedstrøms flyfeltet og demoleringsplassene. Dette indikerer at utsig fra kobberholdige prosjektilrester er en forurensningskilde i disse feltene (Fig.5).

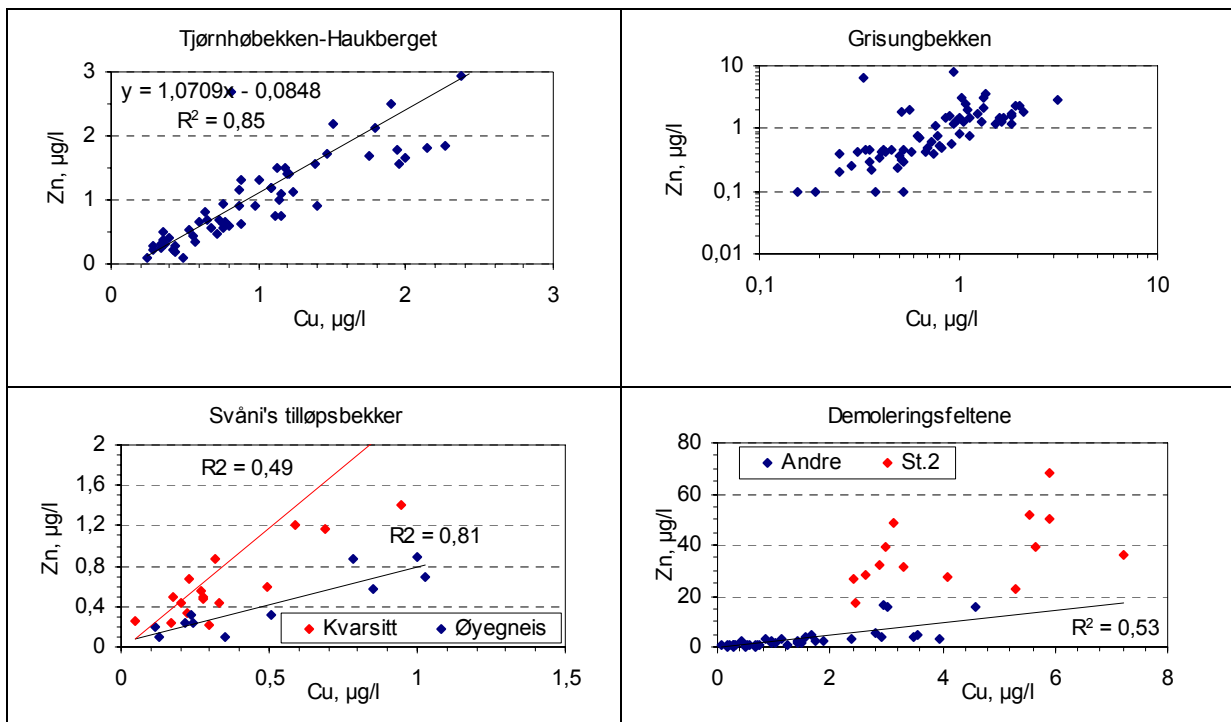


**Figur 5.** Samvariasjonen mellom konsentrasjonene av kobber og nikkel i de ulike delfeltene. Regresjonslinjen for analysene i Grisungdalen er beregnet for alle data untatt st.30 (utløpet av flyfeltet), mens i demoleringsfeltene er stasjonen oppstrøms deponiet beregningsgrunnlaget.

Det var også en god samvariasjon mellom konsentrasjonene av kobber og sink i alle feltene, men bekken nedstrøms demoleringsplassen i Grisungdalen var betydelig mer anrikt på sink enn de andre (Fig. 6). I Svånis tilløpsbekker var forholdet mellom kobber og sink lavere i de bekkene som drenerte kvarsittholdig berggrunn enn de som drenerte områder med øyegneis. Kobber og sink er bestanddeler i

de fleste ammunisjonsrester, men samtidig er disse metallene også anriktet i gruvegrus. Det er derfor ikke lett å skille mellom utlekking fra naturlig kilder, gruvegrus og korroderte prosjektiler når det gjelder sinkkonsentrasjoner i bekkene, med unntak av demoleringsplassen i Grisungdalen som helt klart er en betydelig sinkkilde (Fig.6).

På bakgrunn av denne gjennomgangen er det klart at bekkene i skytefeltet ikke er forurenset av bly. Vi kommer nærmere tilbake til årsakene til dette i diskusjonen. Videre er bekkene fra demoleringsplassene og flyfeltet forurenset av sink og kobber, mens nedre deler av Tjørnhøbekken, som påvirkes av avrenning fra Haukberget, er forurenset av nikkel, kobber og sink.



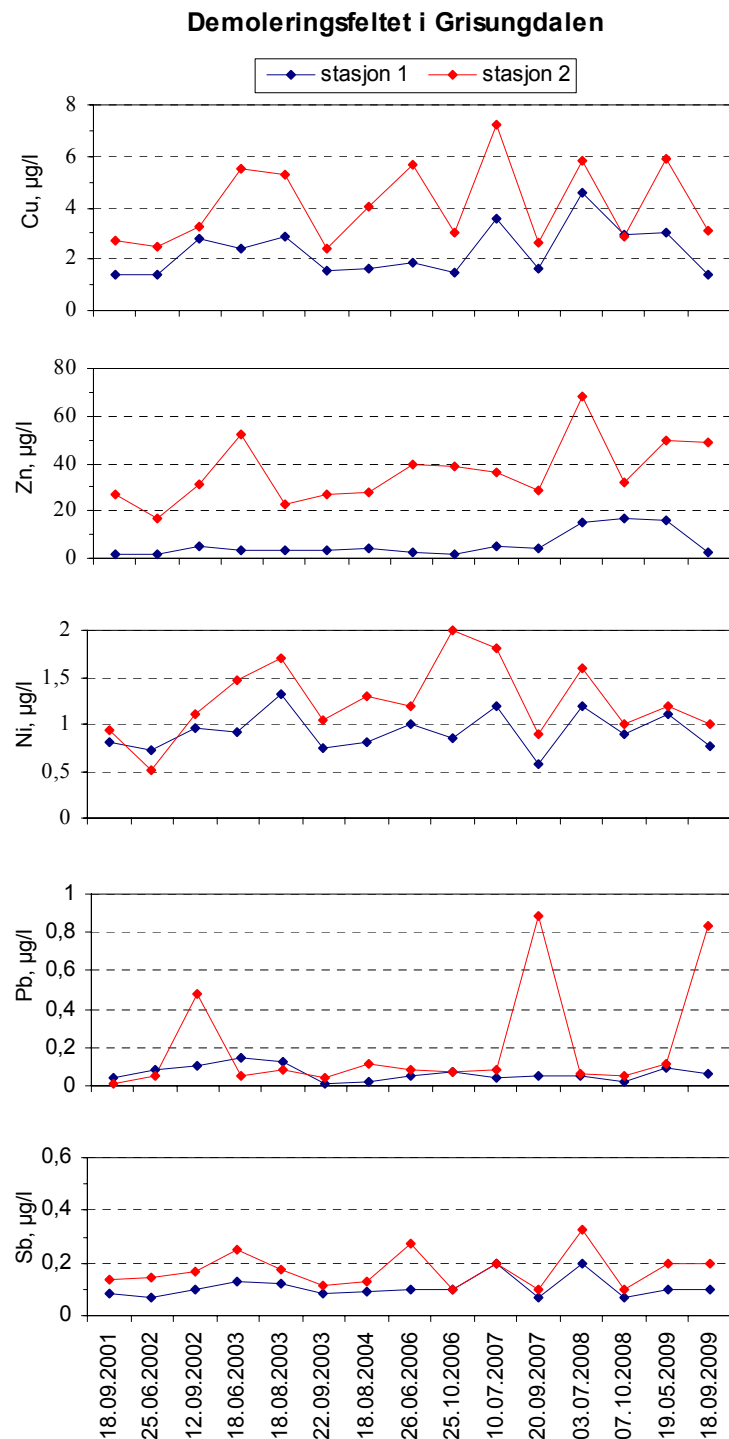
**Figur 6.** Samvariasjon mellom konsentrasjonene av kobber (Cu) og sink (Zn) i de ulike feltene. Regresjonslinjen for Svani's tilløpsbekker representerer områder bestående av øyegneis, mens linjen for demoleringsfeltene er basert på alle data eksklusive data for st.2 (nedstrøms feltet i Grisungdalen).

### 3.1.3 Tidsutviklingen (2001-2009) i metallkonsentrasjoner i bekkene fra demoleringsfeltene, stridsvognfeltet på Haukberget og Flyfeltet

Disse fire feltene er vist og kommentert i Fig. 7-10.

I hele måleperioden har konsentrasjonene av kobber og sink økt i bekkene gjennom demoleringsfeltet fra referansestasjonen (st.1) til utløpet av feltet (st.2). Økningen har vært størst for sink (nær 40 µg/l). Dette er rimelig da sink generelt er mer mobilt enn kobber fra landdeponier. Det har også vært høyere nikkel og antimonkonsentrasjoner i bekken ved utløpet av feltet selv om påslaget har vært relativt beskjedent. Med unntak av tre episoder var konsentrasjonene av bly nær de samme i bekken ved inn og utløp av feltet. Episodene kan ha sammenheng med forstyrrelser av deponiet (demolering). Vi må regne med at det ligger en god del bly i deponiet i forbindelse med demolering av ammunisjon. De lave blykonsentrasjonene i bekken viser hvor sterkt bly bindes i et alkalisk miljø slik som det er i dette deponiet (Fig.3, og i vedlegget). Det er rimelig at det dannes ei skorpe av uløselige korrosjonsprodukter av bly på prosjektilrestene og at dette også hindrer en større utlekking av antimon som bly er legert med.

Det bør nevnes at variasjonene i bekkens metallkonsentrasjoner påvirkes av vannføringen. Selv om Hjerkinns ligger i regnskyggen så må vi forvente episodisk høyere konsentrasjoner i første fase av regnværperioder når løste metaller letter vaskes ut av deponiet.

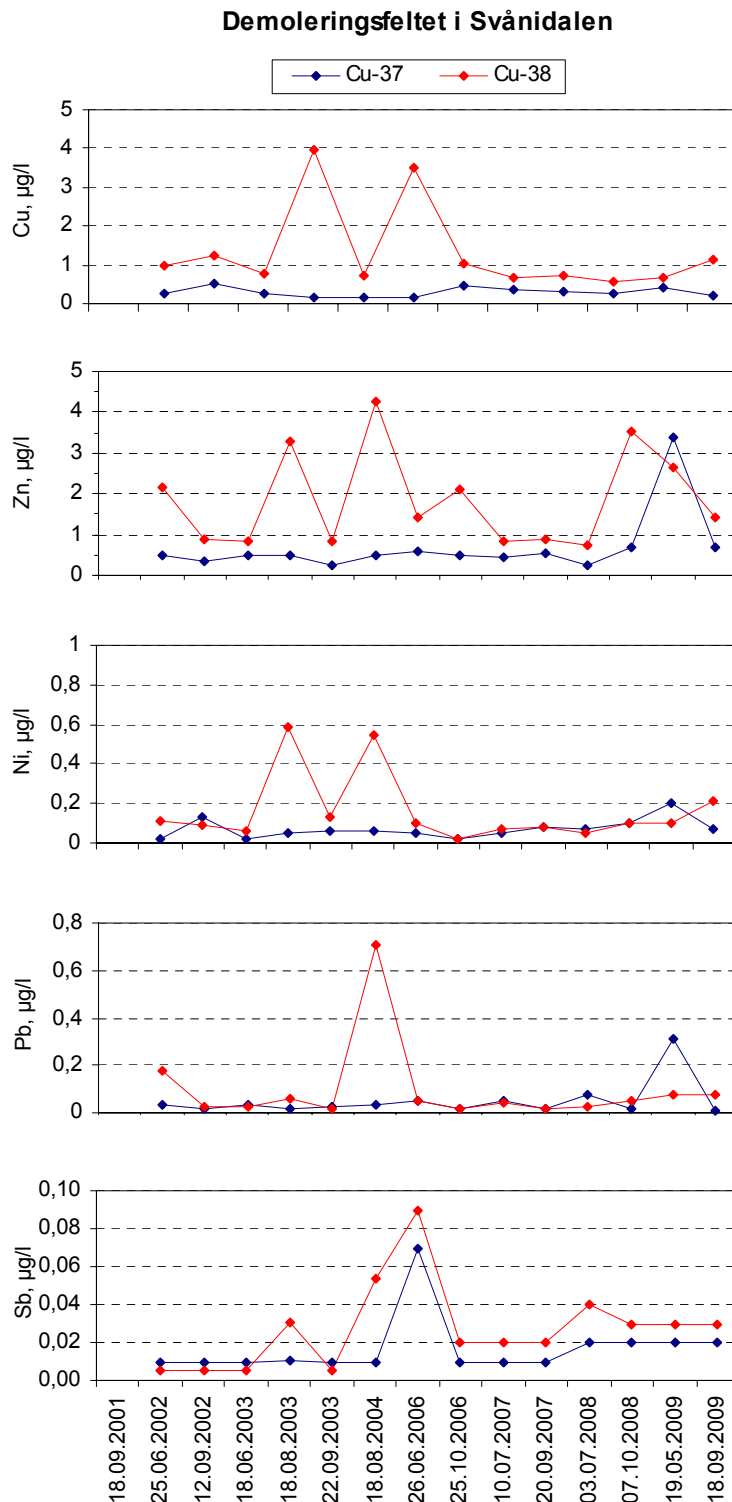


**Figur 7.** Konsentrasjoner av kobber (Cu), sink (Zn), nikkel (Ni), bly (Pb) og antimon (Sb) i bekkene oppstrøms (blå kurver) og nedstrøms (rød kurver) Grisungdalen demoleringsfelt i Hjerkinnskytefelt i perioden 2001-2009.

Konsentrasjonene av kobber og sink har økt i bekken gjennom demoleringsfeltet i hele undersøkelsesperioden (Fig.8). Denne økningen er imidlertid langt mer beskjeden enn i bekken som avvanner demoleringsfeltet i Grisungdalen.

Konsentrasjonene av bly, antimon og nikkel har vært lave i hele måleperioden. Det har ikke vært noen klar tidstutvikling i metallkonsentrasjonene, men episodisk har det vært høyere verdier som antagelig har sammenheng med variasjoner i nedbør og vannføring.

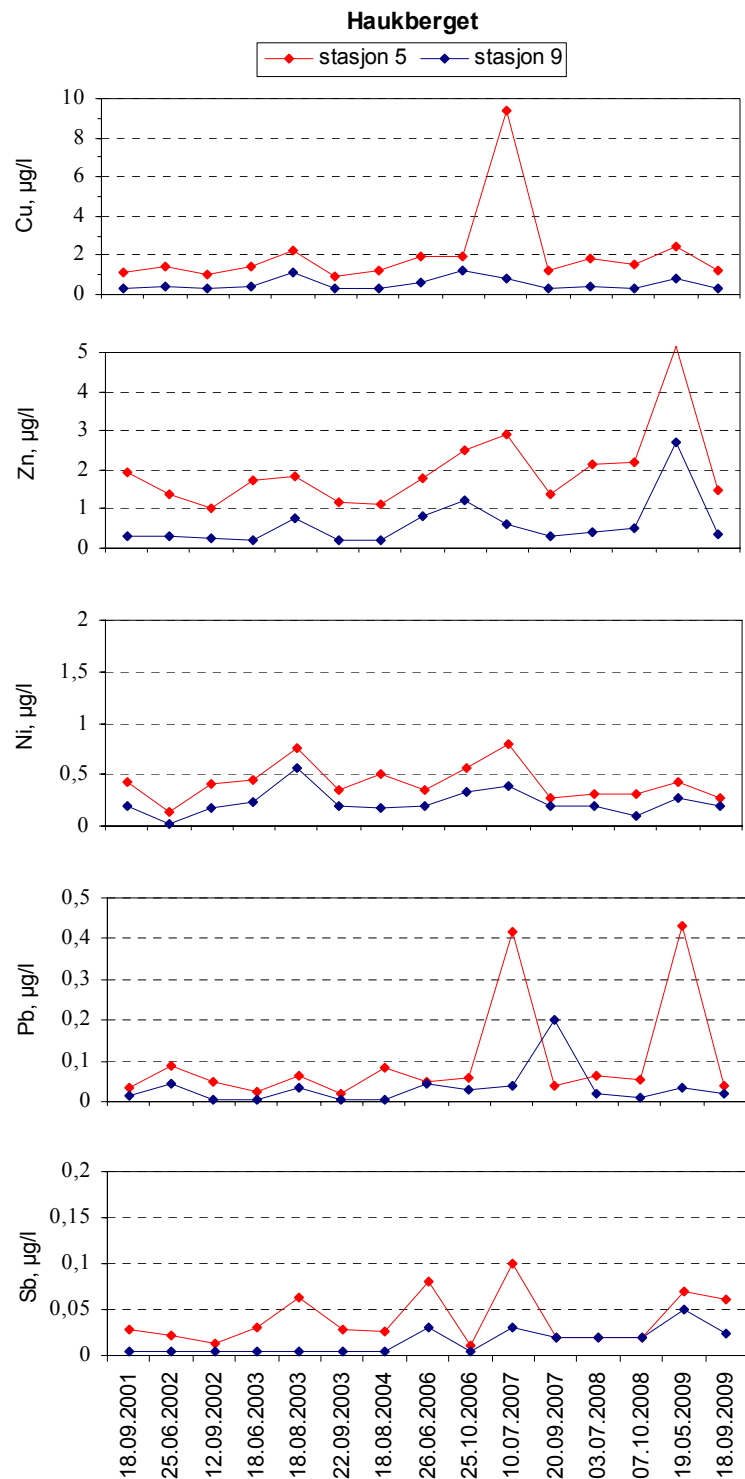
En av årsakene til at dette demoleringsfeltet ikke forurensrer bekken nevneverdig kan være at mye av grunnvannsiget fra demoleringsfeltet i Svånidalen har lang veg før det når bekken. Det er derfor store sjanser for at mye av korrosjonsproduktene bindes i jorda før det når bekken. Det er også mulig at mye av kobber og sinkforurensningen vi måler skyldes korrosjon av metallrester som ligger spredt på bakken over et stort område i bekkens nedbørfelt.



**Figur 8.** Konsentrasjoner av kobber (Cu), sink (Zn), nikkel (Ni), bly (Pb) og antimon (Sb) i bekkene oppstrøms (blå kurver) og nedstrøms (rød kurver) Svånidalen demoleringsfelt i Hjerkinnskytefelt i perioden 2001-2009.

I Tjørnhøbekken økte konsentrasjonene av kobber, sink, nikkel, bly og antimon gjennom stridsvognfeltet på Haukberget (Fig.9), mens i flyfeltet økte bare kobber og sink (Fig.10). Konsentrasjonene oppstrøms feltene av disse metallene var nær den samme. Dette er rimelig da begge feltene ligger i fylittområdet og forventes å ha nær like konsentrasjoner av metaller.

Det er imidlertid interessant at konsentrasjonene av nikkel, bly og antimon øker noe gjennom Haukberget og ikke i flyfeltet. Det er kjørt ut store mengder gruvegrus for oppbygging av kjøretøraséer og blenderinger på Haukberget, men det er også deponert mye prosjektiler fra håndvåpen og mitraljøser, inneholdende kobber, sink, bly og antimon. I flyfeltet derimot er det ikke kjørt ut gruvegrus, og det er hovedsakelig brukt som målområde for fly og artilleri. Disse ammunisjonsrestene inneholder kobber og sink, men ubetydelige mengder nikkel, bly og antimon. Gruvegrusen er anriket på kobber, sink og nikkel, men ikke bly og antimon (Rognerud 2003). Økning i nikkelkonsentrasjonen i Tjørnhøbekken indikerer derfor at gruvegrus er en kilde til dette. Gruvegrus bidrar muligens også til noe av økningen for kobber og sink. Likevel indikerer økte konsentrasjoner av bly og antimon at det korroderer håndvåpenprosjektiler i feltet og at dette bidrar til økningen av kobber og sink konsentrasjonene.

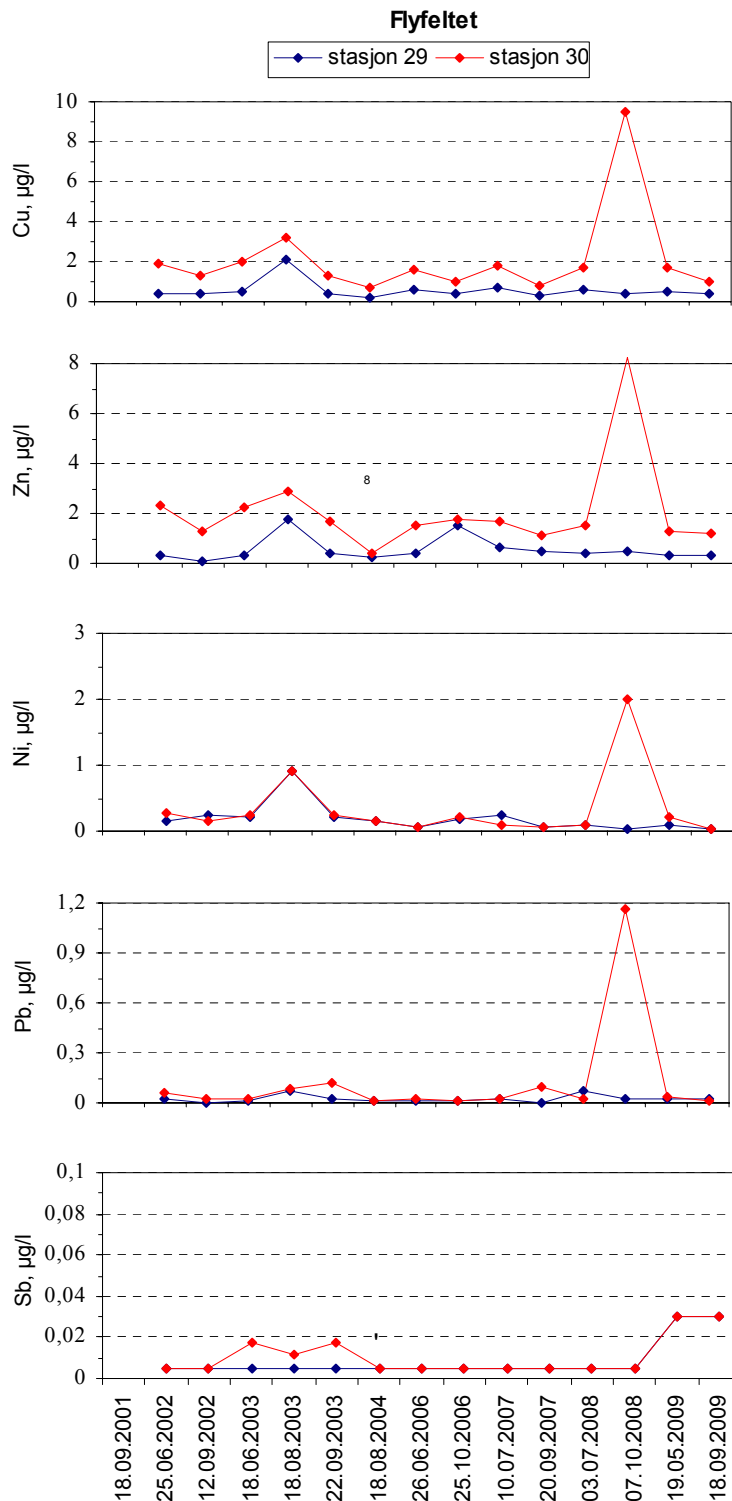


**Figur 9.** Konsentrasjoner av kobber (Cu), sink (Zn), nikkel (Ni), bly (Pb) og antimon (Sb) i Tjørnhøbekken oppstrøms (blå kurver) og nedstrøms (rød kurver) stridsvognbanene ved Haukberget i perioden 2001-2009.



I bekken fra flyfeltet var det en betydelig økning i metallkonsentrasjoner høsten 2008, som også førte til økninger i Grisungbekken. Årsaken anses å være flyøvelsen med dropp av skarpe bomber i Grisungdalen høsten 2008. I 2009 var imidlertid konsentrasjonene tilbake til nivåene som var før høsten 2008.

Denne overvåkningserien viser at betydelige forstyrrelser av deponiområder, slik som ved drop av kraftig flybomber, fører til endringer i drenerings-mønsteret i feltet og eksponerer nye forurensningskilder for utlekking. Likevel er det positivt at effekten ser ut til å være kortvarig og at det er gode utsikter til at flyfeltet ikke vil bli noen nevneverdig forurensningskilde for Grisungbekken i fremtiden nå som den militære aktiviteten er avsluttet.

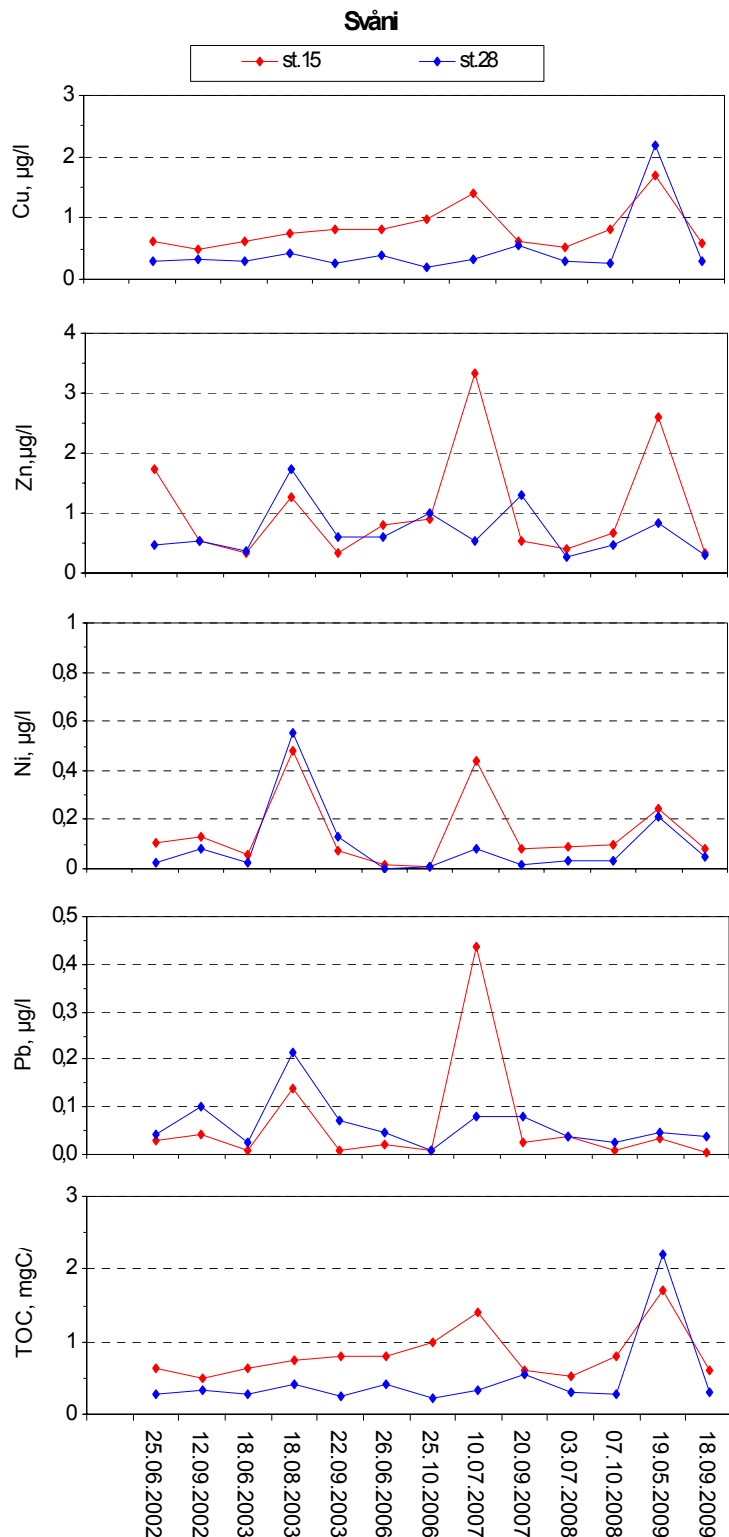


**Figur 10.** Konsentrasjoner av kobber (Cu), sink (Zn), nikkel (Ni), bly (Pb) og antimon (Sb) i bekken oppstrøms (blå kurver) og nedstrøms (rød kurver) flyfeltet i perioden 2001-2009.

### 3.1.4 Svåni, Grisungbekken og Tjørnhøbekken

Svåni er påvirket av smeltevann fra breer i Snøhettaområdet og elva har turbid vann med høyt innhold av uorganisk materiale fra slutten av juni til begynnelsen av september. Dette betyr at de fleste metaller er bundet i den uorganiske fraksjonen ved Maribu (st.28) oppstrøms skytefeltet (Fig.1 og 11). Selv om brevannet fortynnes noe nedover av tilrennende bekker i området ned mot Svånis utløp av feltet (st.15) er elva klart påvirket av brepartikler også ved denne stasjonen (se Rognerud 2007).

Konsentrasjonen av TOC øker i Svåni på vei gjennom feltet (Fig.11), med unntak av i snøsmeltingen i 2009. Kobber er assosiert til TOC i Svåni (Tab.1), og økende humuspåvirkning fører til økte kobberkonsentrasjoner som har sitt opphav i berggrunn i nedre del av skytefeltet og antagelig litt fra etterlatenskaper etter militær aktivitet. Konsentrasjonene av bly og sink var, med et par unntak, ikke forskjellig inn og ut av feltet (Fig.11). Episodisk høyere verdier kan skyldes erosjon ved høy vannføring. Konsentrasjonene av andre metaller relatert til militær aktivitet var lav. Avrenningen av metaller etter militær aktivitet har derfor ingen nevneverdig betydning for vannkvaliteten i Svåni når den renner ut av feltet. Svåni har relativt høy vannføring i hele den isfrie perioden og elva har derfor stor evne til å fortynne eventuelle utslipp av metaller fra menneskelig aktivitet.



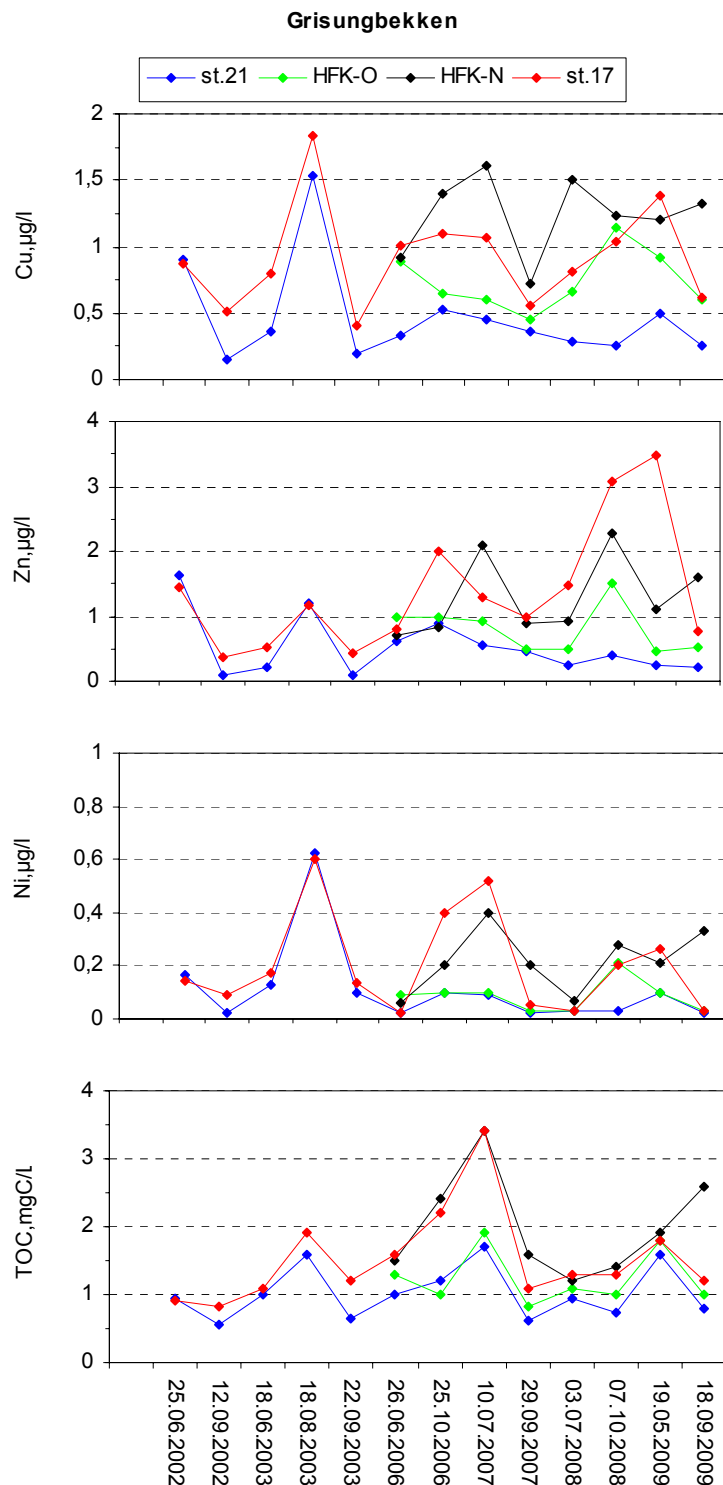
**Figur 11.** Konsentrasjoner av totalt organisk karbon (TOC), sink (Zn), kobber (Cu) og nikkel (Ni) i Svåni inn (st.21) og ut av feltet (st.17) i perioden 2002 til 2009.

I Grisungbekken har konsentrasjonene av TOC og metaller vært lavere inn i feltet (st.21) enn ut av feltet (St.17) i hele perioden (Fig.12). Årsaken til dette er antagelig utlekking av metaller fra HFK-sletta og flyfeltet, mens TOC økningen skyldes naturlige forhold. Forskjellene var størst i fra sommeren 2006 til sommeren 2007 (Fig.12). I denne perioden var det området ved HFK sletta som bidro til denne økningen. Kobber, sink og nikkel er assosiert til TOC og disse økte også i denne perioden og kilden var høyst sannsynlig området ved HFK-sletta.

Fra høsten 2007 til våren 2009 økte konsentrasjonene av særlig kobber og sink betydelig. Mye av denne økningen, særlig for kobber, skjedde ovenfor HFK-sletta. Det er rimelig å anta at flyfeltet er hovedårsaken. Høsten 2009 synes imidlertid kobber og sink-konsentrasjonene å være tilbake til nivåene før høsten 2009.

For sink kan også bekken fra demoleringsfeltet være en kilde. Denne bekken har mindre vannføring enn bekkene fra flyfeltet, men konsentrasjonene av sink er betydelig høyere enn i bekken fra flyfeltet, og den renner inn i Grisungbekken mellom, flyfeltet og HFK-sletta.

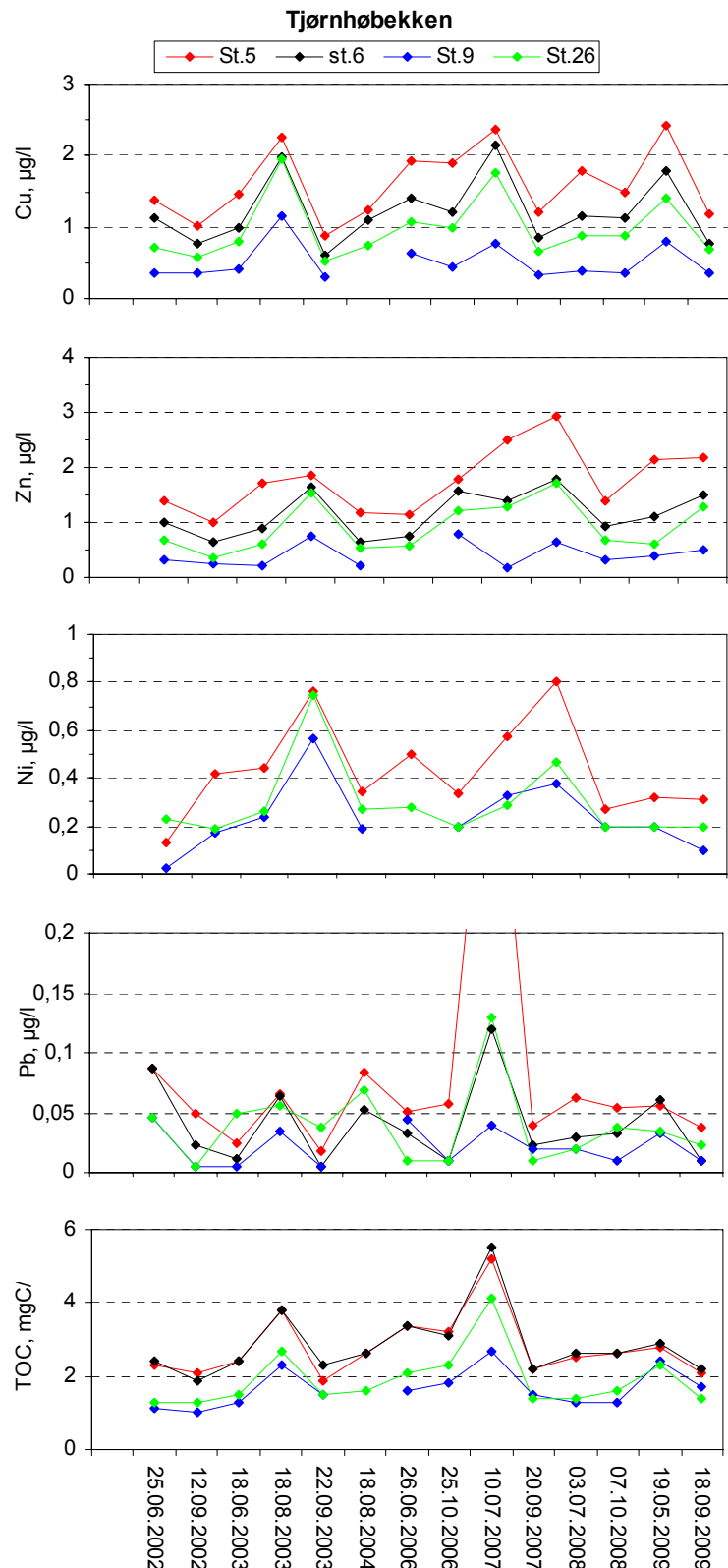
Selv om konsentrasjonene av metaller ikke er høye så viser dette at forurensningskildene i Grisungdalen i hovedsak skyldes avrenningen fra Flyfeltet, HFK-sletta og noe fra demoleringsfeltet.



**Figur 12.** Konsentrasjoner av totalt organisk karbon (TOC), sink (Zn), kobber (Cu) og nikkel (Ni) i Grisungbekken inn (st.21) og ut av feltet (st.17) nær samløpet med Svåni i perioden 2002 til 2009

Konsentrasjonene av TOC og metaller har vært lavest i Tjørnhøbekken oppstrøms Haukberget II (st.9) i hele perioden og høyest etter Haukberget I og II (st.5 og 6, Fig.13). Etter Haukberget I og samløpet med Storkvølvbekken synker både TOC og metallkonsentrasjonene (st.26). Dette skyldes høyst sannsynlig at Storkvølvbekken har lavere TOC og metallverdier og derved virker fortynnende på bekken fra stridsvognteltene på Haukberget.

Konsentrasjonene av metaller i Tjørnhøbekken øker fra referansen (st.9) til utløp av Haukberget II (st.6) og videre til utløpet av Haukberget I (st.5). Mellom st.6 og 5 er det store mengder gruvegrus i kjøretrassene for stridsvognene. Det er rimelig å anta at metallutlekkning fra disse er årsaken til økningen på denne strekningen. Det har ikke vært noen klar tidstrend i konsentrasjoner av metaller eller TOC i undersøkelsesperioden.

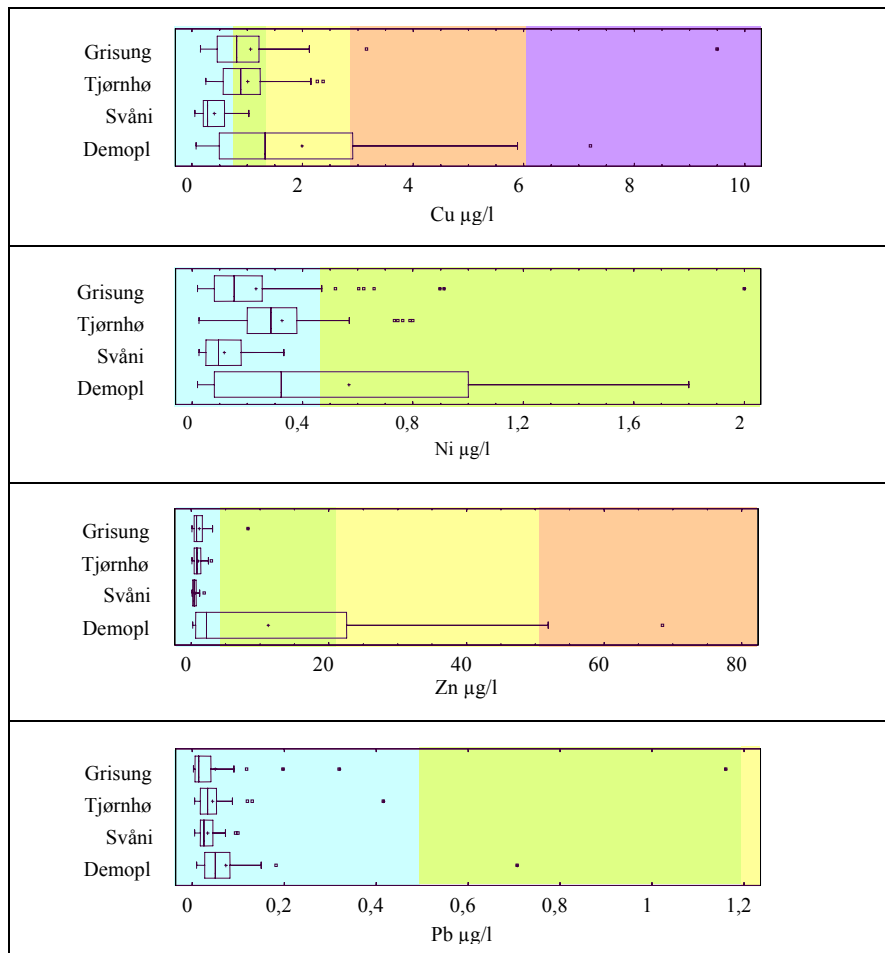


**Figur 13.** Konsentrasjoner av totalt organisk karbon (TOC), sink (Zn), kobber (Cu) og nikkel (Ni) i Tjørnhøbekken inn i feltet (st.9), etter Haukberget II (st. 6), etter Haukberget I (st.5) og ut ved utløpet i Svåni (st.26) i perioden 2002 til 2009.

### 3.1.5 Metallkonsentrasjoner og SFTs vannkvalitetskriterier i elver og bekker

En samlet oversikt over alle metallanalysene i delfeltene i lys av SFTs vannkvalitetskriterier viser at bekkene er ubetydelig forurensset av bly, lite til moderat av nikkel, sink og kobber, unntatt bekken fra demoleringsfeltet i Grisungdalen som er moderat til markert forurensset av kobber (Fig.14).

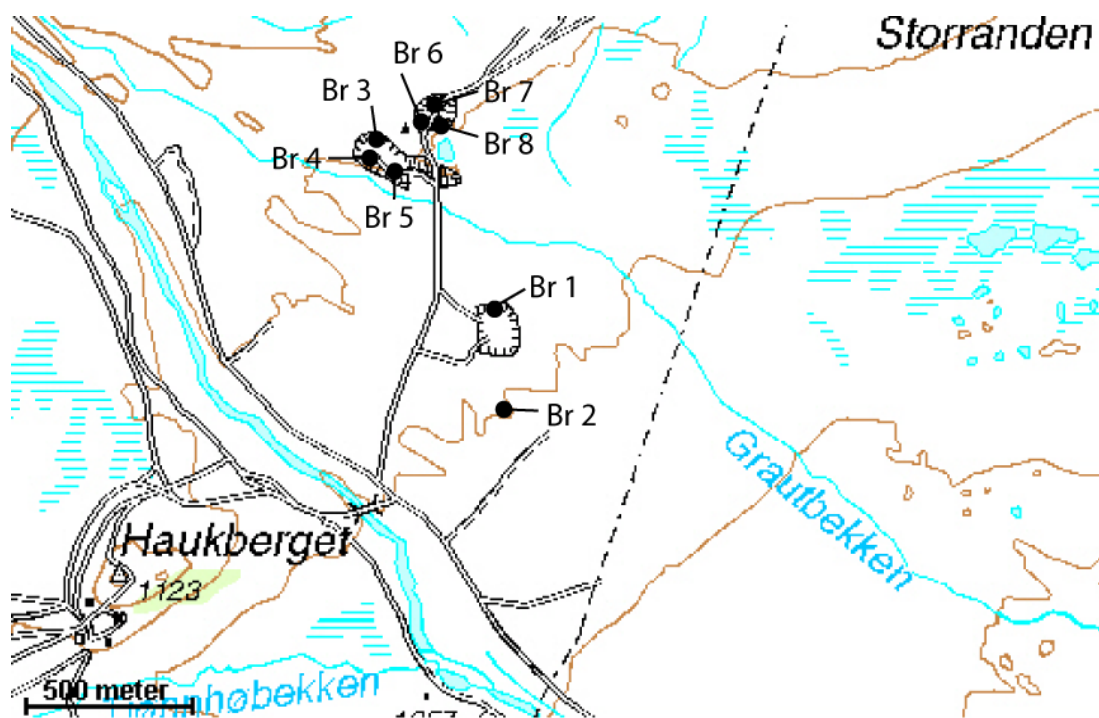
Det er episodisk enkelte høyere konsentrasjoner enn vanlig. Dette er atypiske verdier som blir registrert når vannføringen er spesielt lav og det kan skyldes at utlekkinger av metaller fra fyllinger av gruvegrus og metallrester i bekkefaret får økt innflytelse. Dette får imidlertid liten betydning for vannkvaliteten i Grisungbekken og Svåni på grunn av fortynningen av vann fra lite forurensede områder. Dersom en tar i betraktning de betydelige potensielle forurensningskildene i skytefeltet må forurensningsgraden i bekkene betegnes som overraskende lav.



**Figur 14.** Boksplott for konsentrasjonene av de viktigste metallene i delfeltene. Boksene inkluderer 50 % av observasjonene, medianen er markert med strek og middelveidien med +. Linjene fra boksene er trukket til laveste og høyeste kvartil (25 til 75 % av observasjonene), mens observasjoner utenfor disse er markert med firkanter. Fargeangivelsene representerer SFTs tilstandsklasser for metaller i vann. Blå: ubetydelig forurensset, grønn: moderat forurensset, gul: markert forurensset, orange: sterkt forurensset og rød: meget sterkt forurensset.

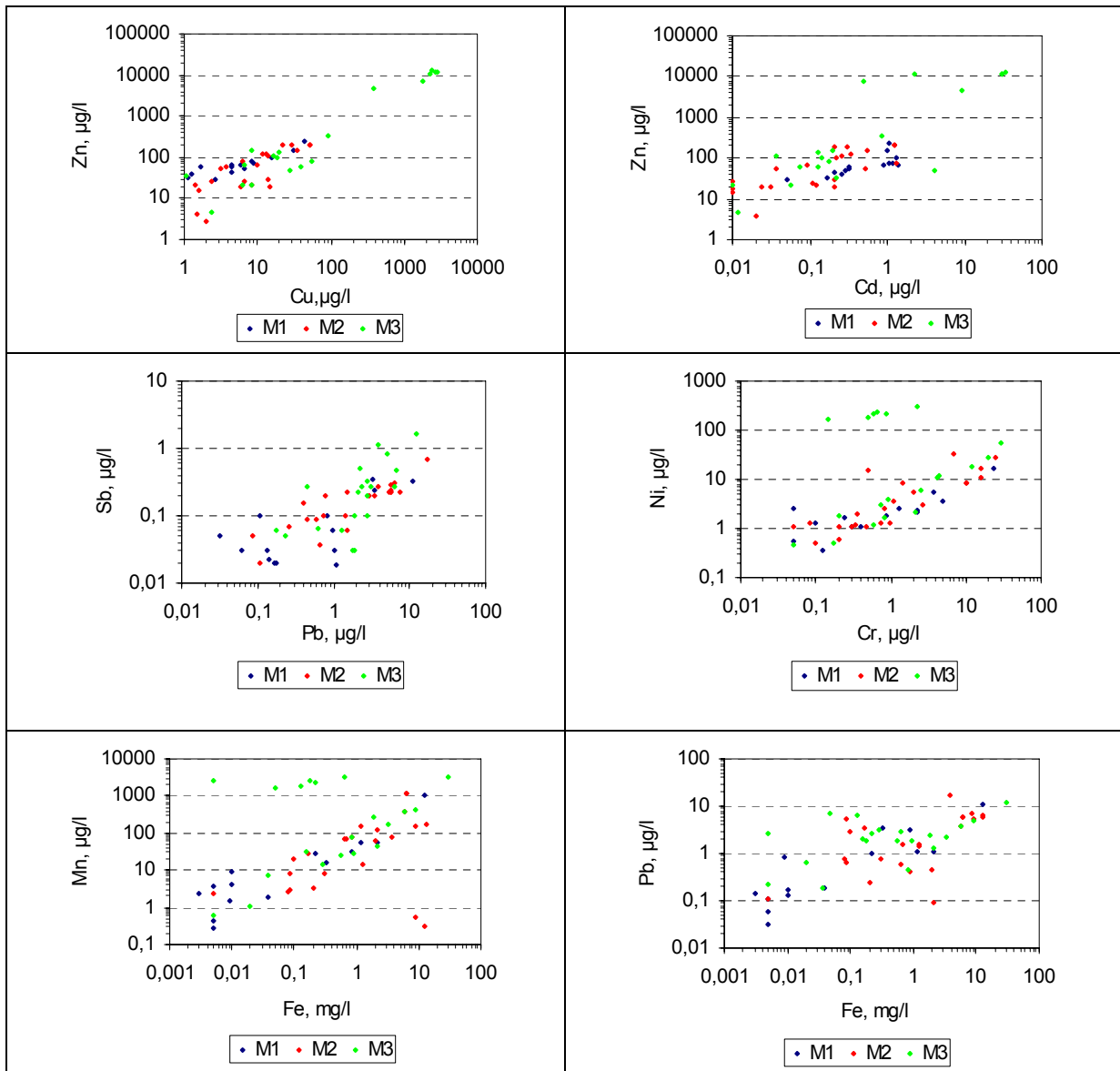
### 3.2 Vannkvaliteten i grunnvannsbrønnene

Storranden er en gammel elveslette som inneholder store mengder grus og sand. De har vært benyttet som gruskilde i mange år og i noen av disse massetakene er det i dag tre deponier; M1, M2 og M3 (Forsvarsbygg 2006, 2007). M1 er et metalldeponi bestående av ammunisjonsrester (ca 1000 tonn), metallskrap og blindgjengere. Dette området forberedes som deponiområde for gruvegrusen i kjøretraseene ved Haukberget og brønn 1 er ikke lengre operativ. M2 er en avsluttet (overdekt) eldre søppelplass som inneholder bl.a husholdningsavfall og 50 tonn ammunisjonsrester. M3 er en eldre søppelplass som til dels er åpen og inneholder ammunisjonsrester, metallskrap og delvis brent treavfall. Den vil i 2010 endre karakter når arbeidet med restaurering av området settes igang. I disse deponiene er det nedsatt 8 grunnvannsbrønner (Fig. 15) som er undersøkt i 2004-2008. I 2009 startet anleggsvirksomheten i området og brønn 1 og 3 er fjernet. Alle brønnene var frosset ved prøvetakningen i 19. mai 2009, men resultatene for høstprøvene er gitt i tabell 1 i vedlegget. Samvariasjoner mellom et utvalg av metaller er vist i figur 16.



**Figur 15.** Lokalisering av grunnvannsbrønner på Storranden. Brønn 1 og 2 ligger i massetak (M1), brønn 3, 4 og 5 i M2 og brønn 6,7 og 8 i M3.

Det var stor spredning i konsentrasjonene av metaller i brønnen i de tre massetakene (Fig.16). Særlig gjalt dette for redokksensitive elementer som jern og mangan. Dette indikerer at det kan skje en veksling mellom reduktivt og oksidativt miljø i massetakene avhengig av vanngjennomstrømningen. Generelt sett var konsentrasjonene av metaller høyest i M3 og lavest i M1. Det var også en relativt god samvariasjon mellom sink og kobber i alle brønnene. Konsentrasjonene av TOC var lave (Tab.1 og 2 i vedlegget) og jern og mangan oksider kan være viktige transportører av metaller ut fra deponiet. I Brønn 8 har konsentrasjonene av sink, kobber, kadmium, krom og nikkel økt betydelig samtidig med at pH har sunket fra 6,4 til 4,3 (Tab.1 og 2 i vedlegget). Vi vet ikke årsaken til dette. Konsentrasjoner av sink og kobber på henholdsvis 11-12 mg/l og 2-3 mg/l er svært høye verdier og må antagelig skyldes en direkte tilførsel. Fysiske tiltak for å stoppe forurensninger til grunnvann fra området rundt Brønn 8 i M3 planlegges gjennomført i 2010. Tiltakene vil bli utført som beskrevet i Forsvarsbyggs søknad om tillatelse til tiltak etter Forurensningsloven, godkjent av Fylkesmannen i Oppland i 2008. Tiltak vil bli fulgt opp med målinger av vannkvalitet under og etter anleggsarbeidet i 2010.



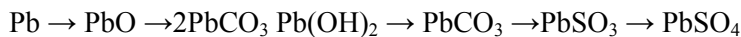
**Figur 16.** Spredningsdiagram over samvariasjon mellom utvalgte metaller i alle grunnvannsbrønnene i de tre massetakene M1, M2 og M3 på Storranden. Aksene er logaritmisk.

## 4. Diskusjon

Hjerkinn skytefelt er tilført betydelige mengder metaller som følge av bruk av handvåpen, artilleri, bombekastere, stridsvogner, rakettartilleri og fly. Det er beregnet at ca. 770 tonn kobber, 250 tonn bly, 30 tonn antimon og 22 tonn sink samt mindre mengder andre metaller er deponert i skytefeltet (Roseth *et al.* 2003). Til tross for disse betydelige deponiene av metaller er konsentrasjonene i bekkene overraskende lave. Unntaket er bekken fra demoleringsplassen i Grisungdalen som er moderat til markert forurenset av kobber, sink og nikkel. Konsentrasjonene av bly, sink og nikkel i skytefeltets bekker er på nivå med det som vanligvis observeres i norske vannforekomster (data i *Skjelkvåle et al.* 1999), men kobberverdien er noe høyere antagelig som følge av utlekking fra gruvegrus og korroderte prosjektilrester. Det er imidlertid spesielt oppsiktsvekkende at alle bekkene er ubetydelig forurenset av bly. Dette elementet er ett av SFTs prioriterte metaller og et av tre metaller som er gjenstand for internasjonale avtaler om utslippsreduksjoner.

Vi skal først se nærmere på hva som kan være årsakene til at 250 tonn deponert bly ikke forurenser bekkene;

Når elementært bly (Pb), slik det foreligger i prosjektilrester, blir eksponert for oksygen dannes det etter hvert et tynt beskyttende grått lag (patina) av lite løselige blysalter på metalloverflaten. Dannelsen av disse saltene kan beskrives på følgende måte (Black and Allen 1999).



Kort beskrevet kan vi si at metallisk bly reagerer med oksygen og det dannes blyoksid som reagerer med CO<sub>2</sub> i et fuktig miljø og det dannes et lag av basisk blykarbonat, hydrocerusitt (PbCO<sub>3</sub> Pb(OH)<sub>2</sub>) som ved videre eksponering av CO<sub>2</sub> omdannes til vanlig blykarbonat, cerusitt (PbCO<sub>3</sub>). Ved nærvær av svoveldioksid omdannes patinaen til blyulfitt som videre oksideres til blyulfat. Det er derfor vanlig å observere at patina på metallisk bly eksponert for luft etter en tid består nesten utelukkende av blyulfat (Black and Allen 1999).

Metallisk bly fra prosjektilrester som er skutt inn i jordsmonnet vil etter en tid bli omgitt av et lag eller skorpe som i hovedsak består av blyulfat og blykarbonater. I et nær nøytralt til svakt basisk miljø, slik det er i de viktigste deponiområdene i Hjerkinn skytefelt, vil disse blyforbindelsene være svært lite løselig og skorpedannelsen vil effektivt beskytte blyfragmentene for videre tilgang på oksygen. Resultatet er at korrosjonshastigheten reduseres til et meget lavt nivå (eventuelt stanser opp) etter den første skorpedannelsen, og sjansen for utlekkingen av løste blyforbindelser fra prosjektilrestene vil bli redusert til et minimum så lenge skorpelaget ikke blir ødelagt ved forsyrelser av deponiet. Dette er en av de viktigste årsakene til de lave blykonsentrasjonene i skytefeltets bekker, men det er også flere.

Det er rimelig å anta at blyioner, særlig i den første oksidasjonsfasen, vil kunne tilføres markvannet. I et nøytralt til svakt basisk miljø er imidlertid bindingskapasiteten for blyioner i jorda svært sterk og sjansen for at de kommer ut i åpne bekker er svært liten (Sauve *et al.* 2000). Det er spesielt tilstedeværelsen av mineraler som apatitt, Mn-oksider, Fe-oksider og Al-oksider som gjør at blyioner bindes effektive i jorda, men organisk materiale i humussjiktet er også en viktig kompleksbinder (Chen *et al.* 1997, Reilly *et al.* 2003). Tilstedeværelsen av apatitt vil kunne føre til dannelsen av blyfosfater (f.eks pyromorfitt, Pb<sub>5</sub>(PO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>Cl) som i størrelsesorden er 44 ganger mindre løselig og betydelig mer geokjemisk stabil over et langt større pH-område enn blyoksider, blyulfater og blykarbonater (Traina and Laperche 1999). Mineralgruppen apatitt (f.eks. hydroksylapatitt, Ca<sub>5</sub>(PO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>OH) er den vanligste fosformineralgruppen i jord og blant de mest stabile mineralgrupper i nøytral til alkalisk miljø (Traina and Laperche 1999). Disse forfatterene har vist at tilstedeværelsen av



apatitt kan føre til at blysalter og bly adsorbent til metalloksider løses, og at det dannes nesten uløselige blyforbindelser i form av ulike forbindelser innen pyromorfitt-gruppen ( $\text{Pb}_5(\text{PO}_4)_3\text{X}$ ) på følgende måte:



Denne reaksjonsligningen viser at utfellingen av pyromorfitt raskt vil redusere konsentrasjonen av løst Pb. Tilsetningen av apatitt til blyforurenset jord har derfor vært benyttet som et effektivt tiltak for å redusere biotilgjengeligheten av bly i jordsmonnet (Laperche *et al.* 1997). Apatitt finnes i alle landets sedimentære bergarter som bærer av det nødvendige fosforinnhold for plantevekst (Neumann 1985). I skytefeltet er metamorfe sedimentære bergarter (og løsavsetninger dannet av disse) vanlig, og apatitt er derfor et viktig mineral som påvirker blyets mobilitet i nedbørfeltet. De reaksjonsprodukter som dannes mellom løste bly-ioner og apatitt avhenger av løsningsens pH-verdier (Chen *et al.* 1997). I Hjerkinns skytefelt har vannet i de områdene som er mest belastet med blyholdige prosjektiler en nær nøytral til svakt basisk reaksjon. I et slikt miljø har Chen *et al.* (1997) vist at løst  $\text{Pb}^{2+}$  kan reagere med apatitt og danne svært lite løselige forbindelser slik som hydrocerusitt ( $\text{Pb}_3(\text{CO}_3)_2(\text{OH})_2$ ) og flere bly-fosforforbindelser som hydrokso- og fluoro-pyromorfitt,  $\text{Pb}_5(\text{PO}_4)_3(\text{OH}, \text{F})$  og karbonerte hydrokso fluoro-pyromorfitt ( $\text{Pb}_5(\text{PO}_4, \text{CO}_3)_3(\text{OH}, \text{F})$ ). Alle disse reaksjonsproduktene er nesten uløselig og de bidrar til at løste blyioner svært sjelden når bekkene i skytefeltet. Det er imidlertid også rimelig å forvente at en del bly bindes til metalloksider og organisk materiale i jorda, men bindingstyrken er ikke så sterk for disse forbindelsene som hos de overnevnte pyromorfitt-forbindelsene (Sauve *et al.* 2003). Det er derfor rimelig å anta at bly i bekkene er bundet i eroderte blymineraler fra nedbørfeltet, enten naturlig forekommende (f.eks i feltspat, Swain 1978) eller som mineraler dannet ved korrosjon av prosjektilrester. Dette stemmer godt overens med at blykonsentrasjonene i bekkene ikke samvarierte signifikant med konsentrasjonene av organisk materiale (TOC) og jernoksider (Fe).

Konsentrasjonene av kobber var langt høyere enn bly og konsentrasjoner opp mot 2-3  $\mu\text{g/l}$  (tilsvarende SFTs tilstandsklasse II og III) ble observert i bekkene fra demoleringsfeltene, nedstrøms Haukberget og nedstrøms flyfeltet. Konsentrasjonene av kobber samvarierte godt med nikkell og sink i alle delfeltene. Gruvegrus er anrikt på disse metallene (Rognerud 2003) og en samvariasjon kan forventes i bekker som påvirkes av avrenning fra områder der denne finnes, men samvariasjonen var også god på stasjonene som ikke påvirkes av gruvegrus. Dette indikerer en samvariasjon også i den naturgitte geokjemien. I bekkene fra demoleringsplassene og i bekken fra flyfeltet er korrosjon av prosjektiler en årsak til de økte kobber og sink-konsentrasjonene (Grisungdalen). I motsetning til bly dannes det vanligvis ikke signifikante mengder av kobbersalter med nitrat, sulfat eller klorid i vann, men organisk materiale i form av løste humus- og fulvosyrer danner stabile komplekser med løst kobber ved relativt lave konsentrasjoner (Kabata-Pendias og Pendias 1984, Sauve *et al.* 2003). Derfor er løste organiske kobberforbindelser den viktigste kobberforbindelsen i vann over et stort intervall i pH-verdier (McBride and Blisak 1979, Sauve *et al.* 2000). Dette stemmer godt overens med våre resultater der konsentrasjonene av kobber samvarierte signifikant med løst organisk materiale (TOC). Bindingen til ”metalltransportøren” løst organisk materiale og dannelsen av en lite stabil skorpe av kobbersalter på metallrestene er hovedårsaken til at kobber er mer mobilt enn bly i skytefeltet.

I motsetning til mange andre tungmetaller mobiliseres sink relativt lett i jordsmonnet. Løseligheten er større i et surt enn i et basisk miljø og konsentrasjonene av sink er generelt negativt korrelert til kalsiumkonsentrasjonene (Tarvainen *et al.* 1997, Kabata-Pendias and Pendias 1984). Generelt sett er sink svakt korrelert til TOC i overflatevann i Skandinavia (Lydersen *et al.* 2002), men i et svakt basisk miljø kan andelen av løste organiske sinkforbindelser være betydelig og dette kan være en viktig faktor som gjør at sink også løses ut i betydelig grad også i et slikt miljø (Kabata-Pendias og Pendias 1984). Nikkel har også større løselighet i et surt enn i et basisk miljø, men organisk materiale har en stor evne til å binde løste nikkell-ioner (Kabata-Pendias and Pendias 1984). I regionale undersøkelser er det observert gode sammenhenger mellom konsentrasjoner av nikkell og TOC (Mannio *et al.* 1995,

Tarvainen *et al.* 1997). Dette stemmer godt overens med våre resultater som viser at konsentrasjonene av sink og nikkel samvarierte signifikant med løst organisk materiale (TOC).

Det er derfor klart at i de mest brukte områdene i Hjerkinns skytefelt er de relativt kalkrike bergartene og løsavsetningene, med et nøytralt til alkalisk miljø i vannfasen, hovedårsaken til at bekkene er lite til moderat forurenset av metaller. Det er imidlertid også andre forhold som er medvirkende til dette. Hjerkinns skytefelt ligger i regnskyggen fra fjellene i vest og har lave nedbørmengder, tynt humusdekke og lave temperaturer store deler av året. De lave konsentrasjonene av løst organisk materiale (TOC) i Hjerkinns bekker skyldes lav nedbrytning av organisk materiale i jorden som følge av lite nedbør og lav temperatur. De stedvise høye kalsiumkonsentrasjonene i feltet fører til utfelling (koagulering) av løste humusforbindelser. Dette er også en medvirkende årsak til de lave TOC konsentrasjonene i bekkene. Dette er forhold som bidrar til at konsentrasjonene ikke er spesielt høye for kobber og sink til tross for betydelige deponier i skytefelt. Dette er i god overenstemmelse med resultatene fra flere nordnorske skytefelt som har lignende naturgitte forhold som Hjerkinns (Rognerud 2003).

Storranden er en løsmasseforekomst som inneholder store mengder sortert materiale og et betydelig grunnvannsmagasin (Forsvarsbygg 2006). Oppholdstiden av vann i magasinet er imidlertid til tider kort og dette er sannsynligvis årsaken til de store variasjonene i konsentrasjoner av metaller som er målt i grunnvannsbrønnene. Brønnene er plassert slik at det er øvre del av grunnvannsmagasinet som blir prøvetatt, og det er her det forventes størst effekt fra utlekkingen av deponiene (Forsvarsbygg 2006). Varierende oppholdstid i grunnvannsmagasinet gjennom året og veksling mellom reduktivt og oksidativt miljø i deponiet er årsaken til de store variasjonene i metallkonsentrasjonene i brønnene. Likvel viser tidligere målinger i små bekker som starter i grunnvannsutslagene i forkant av løsmasseviften generelt lave metall konsentrasjoner (Rognerud *et al.* 2004). Brønnene står i eller svært nær deponiene. Det er derfor rimelig å anta at tidvis høye konsentrasjoner av metallene i brønnene skjer i perioder med liten vanngjennomstrømning og at dette ikke er av stor betydning når grunnvannet fra magasinet slår ut i dagen nedstrøm løsmasseviften. Det er likevel verd å merke seg at vannkvaliteten i Brønn 8 (M3) har vannkvaliteten endret seg betydelig de siste 3 årene. Svært høye konsentrasjoner av særlig sink og kobber, kombinert med en betydelig redusert pH tyder på deponering av en sur metallholdig væske senhøsten 2006 eller vinter/vår 2007.

## 5. Litteratur

- Black, L. and Allen G. C. 1999. Nature of lead patination. *Brit. Corr. J.* 34: 192-197.
- Chen, X., Wright, J. V., Conca, J L., and Peurrung, L.M. 1997. *Water Air Soil Pollut.* 98, 57-78.
- Chen, X., Wright, J. V., Conca, J L., and Peurrung, L.M. 1997. Effects of pH on heavy metal sorption on mineral apatite. *Environ. Sci. Technol.* 31, 624-631.
- Forsvarsbygg 2006. Hjerkinns PRO-Tilbakeføring av Hjerkinns skytefelt til sivile formål. Søknad om tiltak mot grunn- og vannforurensning. 36 s.
- Forsvarsbygg 2007. Hjerkinns PRO – Tilbakeføring av Hjerkinns skytefelt til sivile formål. Revidert søknad om tiltak mot grunn- og vannforurensning. 9 s.
- Kabata-Pendias, A. and Pendias, H. 1984. Trace elements in soil and plants. CRC Press, Inc. Boca Raton, Florida. 315 p.
- Laperche, V., Logan, T. J., Gaddam, P. and Traina, S.J. 1997. *Environ. Sci. Technol.* 31, 2745-2753.
- Lydersen, E., Løfgren, S. and Arnesen R.T. 2002. Metals in Scandinavian surface waters: Effects of acidification, liming and potential reacidification. *Critical Rev. Environ. Sci. Technol.* 32: Issue 2 and 3. 295p.
- Mannio, J., Jarvinen, O., Tuominen, R. and Verta, M. 1995. Survey of trace elements in lake waters of Finnish Lapland using the ICP-MS technique. *Sci Tot. Environ.*, 160/161, 433-439.
- McBride, M. B., and Blasiak, J.J. 1979. Zinc and copper solubility as a function of pH in acid soil. *Soil Sci. Soc. Am. J.*: 43, 866-880.
- Naumann, H. 1985. Norges mineraler. NGU-skrifter 68. Universitetsforlaget, Oslo. 278 s.
- Nilsen, O. og Wolff, F. C. 1989. Geologisk kart over Norge, berggrunnskart Røros & Sveg-1:250 000. Norges Geologiske undersøkelse.
- O'Reilly, S. E. and Hochella, M.F. 2003. Lead sorption efficiencies of natural and synthetic Mn and Fe-oxides. *Geochim. Cosmochim. Acta.* 67: 4471-4487.
- Rognerud, S. 2002. Hjerkinns skytefelt. Konsentrasjoner av metaller i vannprøver innsamlet fra 20 bekker, 18. september 2001. NIVA-rapport LNR 4519-2002.
- Rognerud, S. 2003. Hjerkinns skytefelt 2002. Vannkvalitet og forurensningsgrad av metaller i vann og biota. NIVA-rapport LNR 4623-2003.
- Rognerud, S., Eli-Anne Lindstrøm, Ståvi, J. M. 2004. Vannkvalitet, forurensningsgrad av metaller og tiltaksplan mot forurensninger. NIVA-rapport 4781-2004.
- Rognerud, S. 2007. Hjerkinns skytefelt 2001 – 2006. Overvåkning av metaller i bekker, elver og grunnvannsbrønner. NIVA-rapport Lnr. 5439-2007. 24s.

- Rognerud, S. 2009. Hjerkins skytefelt 2001-2008. Overvåkning av metaller i bekker, elver og grunnvannsbrønner. NIVA-rapport Lnr. 5482-2009. 25s + vedlegg.
- Roseth, A, et al. 2003. Forsvarets bruk av Hjerkins skytefelt i perioden 1923 - 2003. Forsvarets etterlatenskaper av farlig karakter. Blindgjengere og eksplosivrester. FLO/Land/Våpensystemavdelingen.
- Sauve, S., Hendershot, W., and Allen, H. E. 2000. Solid-solution partitioning of metals in contaminated soils: Dependence on pH, total metal burden, and organic matter. *Environ. Sci. Technol.* 34: 1125-1131.
- Sauve, S., Manna, S., Turmel, M-C., Roy, A.G. and Courchesne, F. 2003. Solid-Solution partitioning of Cd, Cu, Ni, Pb, and Zn in the organic horizons of a forest soil. *Environ. Sci. Technol.* 37: 5191-5196.
- Skjelkvåle, B. L. et al. 1999. Heavy metal surveys in Nordic lakes, harmonised data for regional assessment of critical limits. SNO-report 4039-99.73 sider.
- Stumm, W. and Morgan, J. J. 1970. *Aquatic Chemistry. An introduction emphasizing chemical equilibria in natural waters.* Wiley-Interscience, New York. 583p.
- Swaine, D.J. 1978. Lead in the environment. *J. Proc. Royal Soc. New South Wales.* 111: 41-47.
- Tarvainen, T., Lahermo, P., and Mannio, J. 1997. Surces of trace metals in streams and haedwater lakes in Finland. *Water Air Soil Pollut.*, 94, 1-32.
- Traina, S.J. and Laperche, V. 1999. Contaminant bioavailability in soils, sediments, and aquatic environments. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 96: 3365-3371.

# Vedlegg

**Tabell 1. Konsentrasjoner av metaller i grunnvannsbrønnene på Storranden (2004-2008, 2009 i tab.2).**

st	dato	pH	TOC mgC/l	Ca mg/l	Cd µg/l	Cr µg/l	Cu µg/l	Fe mg/l	Mn µg/l	Ni µg/l	Pb µg/l	Sb µg/l	Zn µg/l
br.1	18.08.2004	6,69	0,47	3,28	1,35	0,097	5,93	0,003	2,36	1,27	0,139	0,023	66,9
br.1	26.06.2006			3,52	1,07	23,4	43,1	12,3	1000	16,8	11,0	0,330	243
br.1	25.10.2006	7,17	0,56	2,60	0,920	0,240	4,40	0,009	1,50	1,60	0,840	0,100	65,0
br.1	10.07.2007	6,55	0,43	3,28	1,29	1,30	15,9	0,010	8,98	2,51	0,170	0,020	98,0
br.1	20.09.2007	6,41	0,57	3,07	1,16	0,050	8,88	0,010	4,31	2,55	0,130	0,030	74,0
br.1	03.07.2008	6,39	0,51	2,89	1,04	0,300	8,25	0,005	3,74	1,10	0,061	0,030	76,6
br.1	07.10.2008	6,45	0,69	3,02	1,01	3,70	31,3	0,220	26,7	5,47	0,974	0,060	148
br.2	18.08.2004	6,78	0,69	3,31	0,319	2,25	4,37	1,15	52,7	2,38	1,06	0,019	57,8
br.2	26.06.2006			5,18	0,050	0,880	2,59	0,320	15,7	1,80	3,38	0,240	29,4
br.2	25.10.2006	7,31	0,54	2,60	0,170	0,120	1,10	0,005	0,45	0,370	0,110	0,100	33,0
br.2	10.07.2007	6,74	0,54	2,83	0,322	0,400	1,69	0,039	1,80	1,10	0,180	0,020	59,1
br.2	20.09.2007	6,71	0,55	2,74	0,256	0,050	1,26	0,005	0,29	0,530	0,032	0,050	39,1
br.2	03.07.2008	6,60	0,71	2,39	0,283	4,93	6,57	2,09	57,8	3,50	1,050	0,030	52,3
br.3	18.08.2004	6,42	5,6	4,09	0,217	0,991	13,8	5,72	384	1,29	3,81	0,272	104
br.3	26.06.2006			2,49	0,010	0,200	2,34	0,084	2,93	0,60	5,45	0,230	26,2
br.3	25.10.2006			1,80	0,120	2,70	8,10	1,20	160	3,00	1,50	0,230	22,0
br.3	10.07.2007	6,64	1,8	2,47	0,561	15,8	34,4	8,75	0,529	11,3	7,33	0,230	153
br.3	20.09.2007	6,59	2,8	2,88	0,346	0,300	13,5	0,656	69,6	1,10	0,577	0,090	125
br.3	03.07.2008	6,59	1,7	2,84	1,22	10,1	50,7	6,22	1180	8,63	5,63	0,220	205
br.3	03.07.2008	6,59	1,7	2,84	1,22	10,1	50,7	6,22	1180	8,63	5,63	0,220	205
br.4	18.08.2004	7,17	3,2	34,9	0,209	0,082	14,6	0,862	78,8	1,25	0,396	0,159	19,2
br.4	26.06.2006	5,9	2,0	1,36	0,090	0,360	10,1	0,100	21,0	2,00	2,99	0,200	66,2
br.4	25.10.2006	7,86	2,4	28,0	0,21	6,90	14,0	13,0	180	32,0	6,30	0,310	30,0
br.4	10.07.2007	7,00	2,2	22,7	0,304	24,6	29,0	12,7	0,308	27,5	5,70	0,280	191
br.4	20.09.2007	6,97	0,43	18,3	0,024	0,200	1,41	2,01	62,1	1,10	0,455	0,090	20,6
br.4	03.07.2008	7,02	1,6	22,7	0,208	15,8	21,5	8,93	155	16,6	5,54	0,240	197
br.4	07.10.2008	6,91	1,8	22,2	0,265	1,40	11,8	3,77	81,8	8,61	17,1	0,670	115
br.5	18.08.2004	7,23	0,26	5,64	0,009	0,344	2,02	0,087	8,11	1,15	0,655	0,038	2,80
br.5	26.06.2006	6,68	0,62	3,01	1,30	0,050	6,38	0,005	2,46	1,10	0,11	0,020	76,8
br.5	25.10.2006	7,69	0,24	5,10	0,020	0,740	1,50	0,082	2,70	1,30	0,75	0,100	4,00
br.5	10.07.2007	7,07	0,49	4,03	0,036	2,00	3,67	1,24	15,0	5,70	1,44	0,100	57,5
br.5	20.09.2007	7,03	1,9	5,14	0,031	1,10	5,86	0,690	71,2	3,55	1,50	0,060	19,0
br.5	03.07.2008	7,02	0,76	4,03	0,010	0,460	1,57	0,200	3,35	1,10	0,253	0,070	15,0
br.5	07.10.2008	6,73	3,1	4,12	0,110	0,800	6,61	0,170	27,8	2,50	3,53	0,200	25,3
br.6	26.06.2006	6,86	0,67	2,56	0,220	0,050	1,04	0,005	0,63	0,48	0,230	0,050	34,3
br.6	25.10.2006	6,78	6,5	6,40	0,840	30,0	93	30,0	3400	55,0	12,0	1,60	340
br.6	10.07.2007	6,30	1,4	2,91	0,180	19,6	55,4	9,04	414	27,4	5,06	0,850	79,1
br.6	20.09.2007	6,30	2,6	2,85	0,056	0,900	8,2	0,832	79,5	4,08	0,457	0,270	22,2
br.6	03.07.2008	6,44	0,94	2,73	0,130	12,0	39,9	5,81	368	18,9	3,90	1,10	59,5
br.7	18.08.2004	7,15	0,27	4,07	0,001	0,169	0,587	0,020	1,11	0,486	0,623	0,065	1,40
br.7	25.10.2006	7,38	0,2	2,70	0,012	0,830	2,3	0,290	14,0	1,60	3,10	0,270	4,60
br.7	10.07.2007	7,13	0,23	4,72	0,036	4,30	16,1	2,11	46,0	12,2	1,29	0,060	110
br.7	20.09.2007	6,97	0,26	4,09	0,010	0,580	6,24	0,547	23,9	1,20	1,84	0,030	21,5
br.7	03.07.2008	6,89	0,30	4,53	0,076	2,10	6,64	0,922	29,5	2,18	1,85	0,100	63,9
br.7	07.10.2008	6,96	0,61	4,11	0,130	2,50	20,1	1,84	277	6,16	2,38	0,270	136
br.8	18.08.2004	6,25	0,56	163	9,20	0,144	379	0,129	1830	166	6,35	0,277	4500
br.8	25.10.2006	6,65	2,1	2,00	0,140	0,720	18	0,160	30,0	3,10	2,10	0,220	100
br.8	10.07.2007	4,33	0,68	97,1	2,30	2,30	2800	0,640	3090	292	2,85	0,1	12000
br.8	20.09.2007	4,37	0,57	88,7	33,7	0,600	2390	0,180	2530	222	1,830	0,03	12400
br.8	03.07.2008	4,38	0,72	67,3	29,7	0,880	2300	0,220	2230	211	2,700	0,32	11030
br.8	07.10.2008	4,47	0,97	78,1	30,6	0,650	2740	0,005	2480	243	2,710	0,2	11200

**Tabell 2. Vannanalyser for 2007, 2008 og 2009**

st	dato	pH	TOC mg/l	Ca mg/l	Cd µg/l	Cr µg/l	Cu µg/l	Fe mg/l	Mn µg/l	Ni µg/l	Pb µg/l	Sb µg/l	Zn µg/l
1	10.07.2007	7,28	4,20	5,98	0,020	0,92	3,56	0,053	0,44	1,2	0,040	0,2	4,78
2	10.07.2007	7,48	3,60	6,06	0,160	0,93	7,21	0,09	2,58	1,8	0,082	0,2	35,9
5	10.07.2007	7,10	5,20	3,54	0,008	0,89	2,37	0,15	4,87	0,8	0,416	0,1	2,93
6	10.07.2007	6,91	5,50	2,29	0,007	0,90	2,15	0,15	3,23	0,79	0,120	0,08	1,8
9	10.07.2007	6,94	2,70	1,38	0,004	0,77	0,77	0,09	4,94	0,38	0,039	0,02	0,63
11	10.07.2007	6,95	1,00	1,58	0,150	0,63	15,8	0,02	2,69	0,5	0,089	0,02	21,6
15	10.07.2007	6,85	1,40	1,07	0,010	0,78	1,7	0,057	2,59	0,44	0,437	0,05	3,33
17	10.07.2007	7,58	3,40	6,11	0,010	0,82	2,14	0,058	5,14	0,52	0,025	0,02	1,3
18	10.07.2007	7,61	1,90	6,09	0,007	0,10	1,14	0,052	3,27	0,1	0,010	0,02	0,74
21	10.07.2007	7,50	1,70	5,45	0,002	0,05	0,45	0,03	1,4	0,09	0,008	0,02	0,55
26	10.07.2007	7,37	4,10	5,29	0,007	0,10	1,75	0,079	5,26	0,47	0,130	0,08	1,7
28	10.07.2007	6,29	0,33	0,24	0,003	0,05	0,09	0,02	4,93	0,08	0,081	0,02	0,53
29	10.07.2007	7,59	2,10	6,08	0,006	0,10	0,74	0,057	2,78	0,24	0,020	0,02	0,62
30	10.07.2007	7,68	2,10	7,76	0,048	0,05	1,85	0,12	6,3	0,1	0,024	0,02	1,7
37	10.07.2007	6,27	0,42	0,14	0,008	0,05	0,33	0,02	1,6	0,02	0,053	0,02	0,44
38	10.07.2007	6,30	0,47	0,16	0,010	0,05	0,71	0,02	1,8	0,07	0,041	0,02	0,84
HFK-ned	10.07.2007	7,31	3,40	6,78	0,023	0,10	1,61	0,071	71	0,4	0,065	0,02	2,1
HFK-opp	10.07.2007	7,46	1,90	6,03	0,006	0,05	0,6	0,031	31	0,1	0,010	0,02	0,93
br.1	10.07.2007	6,55	0,43	3,28	1,29	1,30	15,9	0,01	8,98	2,51	0,170	0,02	98
br.2	10.07.2007	6,74	0,54	2,83	0,322	0,40	1,69	0,039	1,8	1,1	0,180	0,02	59,1
br.3	10.07.2007	6,64	1,80	2,47	0,561	15,8	34,4	8,75	0,529	11,3	7,33	0,23	153
br.4	10.07.2007	7,00	2,20	22,7	0,304	24,6	29	12,7	0,308	27,5	5,70	0,28	191
br.5	10.07.2007	7,07	0,49	4,03	0,036	2,0	3,67	1,24	15	5,7	1,44	0,1	57,5
br.6	10.07.2007	6,30	1,40	2,91	0,180	19,6	55,4	9,04	414	27,4	5,06	0,85	79,1
br.7	10.07.2007	7,13	0,23	4,72	0,036	4,3	16,1	2,11	46	12,2	1,29	0,06	110
br.8	10.07.2007	4,33	0,68	97,1	2,30	2,3	2800	0,64	3090	292	2,85	0,1	12000
1	20.09.2007	7,31	2,00	7,32	0,020	0,05	1,66	0,086	0,83	0,58	0,049	0,07	4,35
2	20.09.2007	7,44	1,70	7,71	0,073	0,05	2,63	0,054	1,8	0,89	0,027	0,1	28,5
5	20.09.2007	7,19	2,20	4,60	0,003	0,05	1,21	0,099	8,36	0,27	0,039	0,03	1,40
6	20.09.2007	7,00	2,20	3,01	0,003	0,05	0,863	0,085	5,42	0,28	0,023	0,03	0,92
9	20.09.2007	7,06	1,50	2,20	0,003	0,05	0,343	0,032	3,14	0,2	0,020	0,03	0,32
11	20.09.2007	6,36	0,69	2,38	0,965	0,05	52,2	0,005	14,6	2,04	0,076	0,03	167
15	20.09.2007	6,99	0,61	1,74	0,003	0,05	0,26	0,043	2,13	0,08	0,024	0,03	0,53
17	20.09.2007	7,48	1,10	8,64	0,005	0,05	0,561	0,02	1,4	0,1	0,009	0,03	1,00
18	20.09.2007	7,57	0,81	7,82	0,006	0,05	0,457	0,033	2,67	0,02	0,003	0,03	0,46
21	20.09.2007	7,55	0,63	6,77	0,003	0,05	0,355	0,005	0,22	0,02	0,006	0,03	0,47
26	20.09.2007	7,42	1,40	6,40	0,003	0,05	0,656	0,039	4,77	0,2	0,010	0,03	0,69
28	20.09.2007	6,27	0,56	0,34	0,003	0,05	0,453	0,03	2,65	0,2	0,081	0,03	1,30
29	20.09.2007	7,62	0,80	8,75	0,003	0,05	0,342	0,01	0,48	0,02	0,003	0,03	0,45
30	20.09.2007	7,68	0,97	10,6	0,027	0,05	0,773	0,069	3,97	0,02	0,010	0,03	1,10
37	20.09.2007	6,39	0,29	0,24	0,003	0,05	0,27	0,005	0,58	0,08	0,020	0,03	0,56
38	20.09.2007	6,34	0,33	0,26	0,007	0,05	0,583	0,005	0,9	0,08	0,010	0,03	0,90
HFK-opp	20.09.2007	7,57	0,81	7,98	0,003	0,05	0,447	0,02	1,1	0,03	0,003	0,03	0,50
HFK-ned	20.09.2007	7,64	1,60	8,88	0,003	0,05	0,719	0,043	27,2	0,2	0,003	0,03	0,88
br.1	20.09.2007	6,41	0,57	3,07	1,16	0,05	8,88	0,01	4,31	2,55	0,130	0,03	74
br.2	20.09.2007	6,71	0,55	2,74	0,256	0,05	1,26	0,005	0,29	0,53	0,032	0,05	39
br.3	20.09.2007	6,59	2,80	2,88	0,346	0,30	13,5	0,656	69,6	1,1	0,577	0,09	125
br.4	20.09.2007	6,97	0,43	18,3	0,024	0,20	1,41	2,0	62,1	1,1	0,455	0,09	21
br.5	20.09.2007	7,03	1,90	5,14	0,031	1,10	5,86	0,69	71,2	3,55	1,500	0,06	19
br.6	20.09.2007	6,30	2,60	2,85	0,056	0,90	8,2	0,832	79,5	4,08	0,457	0,27	22
br.7	20.09.2007	6,97	0,26	4,09	0,010	0,58	6,24	0,547	23,9	1,2	1,840	0,03	22

NIVA 5918-2010

st	dato	pH	TOC mg/l	Ca mg/l	Cd µg/l	Cr µg/l	Cu µg/l	Fe mg/l	Mn µg/l	Ni µg/l	Pb µg/l	Sb µg/l	Zn µg/l
br.8	20.09.2007	4,37	0,57	88,7	33,7	0,60	2390	0,18	2530	222	1,830	0,03	12400
1	03.07.2008	6,98	2,70	7,60	0,062	0,10	4,6	0,21	5,86	1,2	0,490	0,2	15,5
2	03.07.2008	7,36	1,90	8,34	0,329	0,05	5,86	0,05	3,21	1,6	0,064	0,33	68,5
5	03.07.2008	7,07	2,50	2,62	0,006	0,10	1,79	0,13	4,97	0,32	0,062	0,03	2,14
6	03.07.2008	6,97	2,60	1,81	0,003	0,10	1,16	0,11	3,89	0,3	0,029	0,03	1,10
9	03.07.2008	6,93	1,30	1,30	0,003	0,05	0,392	0,053	3,74	0,2	0,020	0,03	0,40
15	03.07.2008	6,72	0,53	0,73	0,009	0,10	0,28	0,037	2,17	0,09	0,036	0,03	0,39
17	03.07.2008	7,49	1,30	6,15	0,007	0,20	0,818	0,02	1,4	0,03	0,008	0,03	1,48
18	03.07.2008	7,48	1,10	5,36	0,005	0,05	0,699	0,03	1,2	0,03	0,006	0,03	0,48
21	03.07.2008	7,40	0,95	4,13	0,003	0,05	0,29	0,01	0,41	0,03	0,003	0,03	0,25
26	03.07.2008	7,32	1,40	4,06	0,006	0,10	0,877	0,046	3,78	0,2	0,020	0,03	0,62
28	03.07.2008	6,32	0,29	0,23	0,003	0,05	0,056	0,005	2,57	0,03	0,036	0,03	0,26
29	03.07.2008	7,45	1,40	5,55	0,007	0,20	0,582	0,03	1,4	0,1	0,007	0,03	0,44
30	03.07.2008	7,55	1,60	7,66	0,041	0,20	1,68	0,11	4,4	0,1	0,022	0,03	1,50
37	03.07.2008	6,42	0,40	0,12	0,006	0,05	0,417	0,01	1,3	0,07	0,076	0,03	2,53
38	03.07.2008	6,29	0,39	0,15	0,010	0,05	0,662	0,02	1,3	0,03	0,029	0,03	0,72
61	03.07.2008	6,85	1,10	1,52	0,160	0,05	13,8	0,01	2,6	0,37	0,060	0,03	19,3
HFK-opp	03.07.2008	7,48	1,10	5,36	0,005	0,05	0,699	0,03	1,2	0,03	0,006	0,03	0,48
HFK-ned	03.07.2008	7,47	1,20	5,44	0,200	0,20	1,5	0,03	3,05	0,07	0,010	0,03	0,93
br.1	03.07.2008	6,39	0,51	2,89	1,040	0,30	8,25	0,005	3,74	1,1	0,061	0,03	76,6
br.2	03.07.2008	6,60	0,71	2,39	0,283	4,93	6,57	2,09	57,8	3,5	1,05	0,03	52,3
br.3	03.07.2008	6,59	1,70	2,84	1,220	10,1	50,7	6,22	1180	8,63	5,63	0,22	205
br.4	03.07.2008	7,02	1,60	22,7	0,208	15,8	21,5	8,93	155	16,6	5,54	0,24	197
br.5	03.07.2008	7,02	0,76	4,03	0,010	0,46	1,57	0,2	3,35	1,1	0,25	0,07	15,0
br.6	03.07.2008	6,44	0,94	2,73	0,130	12,0	39,9	5,8	368	18,9	3,90	1,1	59,5
br.7	03.07.2008	6,89	0,30	4,53	0,076	2,10	6,64	0,922	29,5	2,18	1,85	0,1	63,9
br.8	03.07.2008	4,38	0,72	67,3	29,7	0,88	2300	0,22	2230	211	2,70	0,32	11030
1	07.10.2008	7,02	1,80	7,44	0,046	0,20	2,94	0,041	1,8	0,9	0,026	0,07	16,6
2	07.10.2008	7,26	1,80	7,73	0,080	0,20	2,88	0,03	1,6	1	0,049	0,1	32,2
5	07.10.2008	7,02	2,60	4,44	0,009	0,30	1,5	0,13	11,6	0,31	0,054	0,03	2,18
6	07.10.2008	6,83	2,60	2,46	0,005	0,20	1,13	0,13	8,59	0,36	0,033	0,03	1,50
9	07.10.2008	7,00	1,30	2,24	0,003	0,20	0,352	0,02	2,93	0,1	0,010	0,03	0,51
15	07.10.2008	6,96	0,80	2,11	0,003	0,20	0,375	0,03	1,2	0,1	0,010	0,03	0,68
17	07.10.2008	7,45	1,30	8,34	0,029	0,32	1,04	0,03	4,58	0,2	0,072	0,03	3,08
18	07.10.2008	7,44	1,00	7,18	0,047	0,40	1,14	0,096	6,43	0,21	0,091	0,03	1,50
21	07.10.2008	7,42	0,73	6,27	0,003	0,20	0,25	0,005	0,51	0,03	0,005	0,03	0,40
26	07.10.2008	7,37	1,60	5,86	0,005	0,20	0,878	0,044	7,25	0,2	0,037	0,03	1,30
28	07.10.2008	6,29	0,27	0,39	0,006	0,10	0,079	0,005	1,5	0,03	0,025	0,03	0,47
29	07.10.2008	7,50	0,96	7,88	0,003	0,30	0,422	0,02	1,7	0,03	0,020	0,03	0,46
30	07.10.2008	7,49	1,50	9,94	0,738	1,10	9,5	0,654	30,2	2	1,160	0,03	8,23
37	07.10.2008	6,36	0,33	0,40	0,005	0,10	0,23	0,01	1,1	0,1	0,020	0,03	0,68
38	07.10.2008	6,32	0,45	0,36	0,030	0,20	1,14	0,01	3,08	0,1	0,054	0,03	3,52
61	07.10.2008	6,90	1,10	1,69	0,170	0,20	8,62	0,001	1,9	0,41	2,70	0,09	22,3
HFK-opp	07.10.2008	7,44	1,00	7,18	0,047	0,40	1,14	0,096	6,43	0,21	0,091	0,03	1,50
HFK-ned	07.10.2008	7,50	1,40	8,38	0,049	0,41	1,23	0,073	15,2	0,28	0,081	0,03	2,28
br.1	07.10.2008	6,45	0,69	3,02	1,010	3,70	31,3	0,22	26,7	5,47	0,974	0,06	148
br.4	07.10.2008	6,91	1,80	22,2	0,265	1,40	11,8	3,77	81,8	8,61	17,1	0,67	115
br.5	07.10.2008	6,73	3,10	4,12	0,110	0,80	6,61	0,17	27,8	2,5	3,53	0,2	25,3
br.7	07.10.2008	6,96	0,61	4,11	0,130	2,50	20,1	1,84	277	6,16	2,38	0,27	136
br.8	07.10.2008	4,47	0,97	78,1	30,6	0,65	2740	0,005	2480	243	2,71	0,2	11200

NIVA 5918-2010

st	dato	pH	TOC mg/l	Ca mg/l	Cd µg/l	Cr µg/l	Cu µg/l	Fe mg/l	Mn µg/l	Ni µg/l	Pb µg/l	Sb µg/l	Zn µg/l
1	19.05.2009	7,15	3,1	4,05	0,007	<0,1	3,03	0,032	0,33	1,1	0,094	0,1	15,7
2	19.05.2009	7,37	2,0	4,69	0,160	<0,1	5,89	0,054	4,9	1,2	0,110	0,2	50,0
5	19.05.2009	7,12	2,8	2,89	0,003	<0,1	2,43	0,12	3,4	0,43	0,055	0,07	5,14
6	19.05.2009	6,92	2,9	1,97	0,006	<0,1	1,78	0,15	4,66	0,34	0,060	0,05	3,91
9	19.05.2009	6,95	2,4	1,66	0,006	<0,1	0,809	0,12	4,54	0,28	0,032	<0,05	2,69
15	19.05.2009	7,11	1,7	1,83	0,003	<0,1	0,869	0,18	1,9	0,24	0,032	<0,05	2,60
17	19.05.2009	7,56	1,8	5,81	0,006	<0,1	1,38	0,034	1,8	0,26	0,010	<0,05	3,47
18	19.05.2009	7,54	1,7	5,01	0,008	<0,1	1,09	0,051	2,38	0,2	0,010	<0,05	2,42
21	19.05.2009	7,52	1,6	4,53	0,004	<0,1	0,489	0,02	1,2	0,1	0,025	0,05	0,24
26	19.05.2009	7,31	2,3	4,23	0,007	<0,1	1,4	0,065	3,15	0,36	0,034	<0,05	0,90
28	19.05.2009	6,63	2,2	0,70	0,009	<0,1	0,29	0,828	15,3	0,21	0,047	<0,05	0,85
29	19.05.2009	7,51	1,3	5,30	0,009	<0,1	0,532	0,02	1,7	0,1	0,020	<0,05	0,30
30	19.05.2009	7,61	1,6	5,89	0,036	<0,1	1,66	0,085	3,21	0,21	0,031	<0,05	1,30
37	19.05.2009	6,31	0,8	0,36	0,035	<0,1	0,844	0,13	3,76	0,2	0,308	<0,05	3,38
38	19.05.2009	6,61	0,7	0,38	0,021	<0,1	1,73	0,039	2,37	0,1	0,078	<0,05	2,67
HFK-opp	19.05.2009	7,57	1,8	4,85	0,005	<0,1	0,917	0,2	0,61	0,1	0,005	<0,05	0,47
HFK-ned	19.05.2009	7,53	1,9	5,47	0,010	<0,1	1,2	0,043	7,25	0,21	0,038	<0,05	1,10
1	18.09.2009	7,15	2,7	6,10	0,060	<0,1	1,41	<0,010	0,35	0,76	0,063	0,1	2,7
2	18.09.2009	7,48	1,7	7,77	0,140	<0,1	3,12	0,051	2,79	1,0	0,083	0,2	48,6
5	18.09.2009	7,28	2,1	3,96	0,005	<0,1	1,18	0,093	6,85	0,27	0,037	0,06	1,50
6	18.09.2009	7,13	2,2	2,33	<0,005	<0,1	0,761	0,085	5,49	0,26	0,010	<0,05	0,93
9	18.09.2009	7,20	1,7	2,15	<0,005	<0,1	0,357	0,038	5,23	0,2	0,020	<0,05	0,36
15	18.09.2009	7,05	0,6	1,68	<0,005	<0,1	0,21	0,020	1,00	0,08	<0,005	<0,05	0,32
17	18.09.2009	7,66	1,2	8,34	<0,005	<0,1	0,617	<0,010	1,90	<0,05	<0,005	<0,05	0,76
18	18.09.2009	7,58	1,0	7,10	<0,005	<0,1	0,524	0,030	2,75	<0,05	<0,005	<0,05	0,47
21	18.09.2009	7,58	0,8	5,84	<0,005	0,20	0,25	<0,010	0,33	<0,05	0,020	<0,05	0,21
26	18.09.2009	7,46	1,4	5,39	<0,005	0,10	0,678	0,031	4,83	0,1	0,023	<0,05	0,55
28	18.09.2009	6,49	0,3	0,28	<0,005	<0,1	0,075	<0,010	1,30	<0,05	0,038	<0,05	0,30
29	18.09.2009	7,69	0,9	7,92	<0,005	<0,1	0,357	<0,010	0,59	<0,05	0,020	<0,05	0,30
30	18.09.2009	7,76	1,3	8,78	0,020	<0,1	0,953	0,071	4,56	<0,05	0,010	<0,05	1,2
37	18.09.2009	6,53	0,4	0,21	<0,005	<0,1	0,547	0,020	0,85	0,07	0,010	<0,05	0,70
38	18.09.2009	6,52	0,3	0,19	0,010	<0,1	0,944	0,020	0,93	0,21	0,079	<0,05	1,4
HFK-opp	18.09.2009	7,63	1,0	6,84	<0,005	0,20	0,602	<0,010	1,20	<0,05	<0,005	<0,05	0,53
HFK-ned	18.09.2009	7,62	2,6	8,87	0,008	0,10	1,33	0,066	53,90	0,33	<0,005	<0,05	1,6
br.2	18.09.2009	6,96	0,8	2,84	0,212	2,20	4,32	0,867	33,20	2,08	3,250	0,35	44,7
br.4	18.09.2009	7,45	2,0	32,6	0,010	0,10	0,405	2,150	127	0,49	0,088	0,05	17,5
br.5	18.09.2009	6,65	0,9	3,07	0,510	0,51	3,11	0,308	7,87	15,4	0,76	0,2	52,8
br.6	18.09.2009	6,64	1,9	2,23	4,080	4,08	27,3	3,250	172	10,7	2,23	0,49	49,7
br.7	18.09.2009	6,89	0,4	3,31	0,200	0,20	8,39	0,037	7,57	1,8	0,18	0,06	149
br.8	18.09.2009	4,48	0,9	53,8	0,5	0,49	1830	0,049	1700	176	6,87	0,47	7400



NIVA: Norges ledende kompetansesenter på vannmiljø

NIVA gir offentlig vannforvaltning, næringsliv og allmennheten grunnlag for god vannforvaltning gjennom oppdragsbasert forsknings-, utrednings- og utviklingsarbeid. NIVA kjennetegnes ved stor faglig bredde og godt kontaktnett til fagmiljøer i inn- og utland. Faglig tyngde, tverrfaglig arbeidsform og en helhetlig tilnæringsmåte er vårt grunnlag for å være en god rådgiver for forvaltning og samfunnsliv.



Norsk institutt for vannforskning

Gaustadalléen 21 • 0349 Oslo  
Telefon: 02348 • Faks: 22 18 52 00  
[www.niva.no](http://www.niva.no) • [post@niva.no](mailto:post@niva.no)