

## Hjerkinn skytefelt 2001-2012

Overvåking av metallkonsentrasjoner  
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**

Jon Lilletuns vei 3  
4879 Grimstad  
Telefon (47) 18 51 00  
Telefax (47) 37 04 45 13

**Østlandsavdelingen**

Sandvikaveien 59  
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

**NIVA-Midt-Norge**

Høgskoleringen 9  
7034 Trondheim  
Telefon (47) 22 18 51 00  
Telefax (47) 73 54 63 87

Tittel Hjerkinn skytefelt 2001-2012.  Overvåking av metallkonsentrasjoner i bekker, elver og grunnvannsbrønner	Løpenr. (for bestilling) 6498 -2013	Dato 10.03.13
	Prosjektnr. Undernr. 12226	Sider Pris 37
Forfatter(e) Sigurd Rognerud	Fagområde Miljøgifter	Distribusjon Åpen
	Geografisk område Oppland fylke	Trykket NIVA

Oppdragsgiver(e) Forsvarsbygg, Utvikling Øst	Oppdragsreferanse Odd-Erik Martinsen
---	---

Rapporten omhandler vannkvaliteten i Hjerkinn militære skytefelt i perioden 2001-2012, og er en oppdatering av forrige årsrapport. Demoleringsfeltene i Grisungdalen og Svånidalen ble restaurert og ryddet i 2011. Det ble ikke observert økt forurensning av metaller i forbindelse med disse aktivitetene. Den store banevollen på Hauk-berget II ble fjernet i 2011 og kjørt til deponiet på Storranden. I løpet av 2012 ble resten av Haukberget II og den vestlige del av Haukberget I restaurert. Tjørnhøbekken ble ikke forurenset i forbindelse med denne aktiviteten. Konsentrasjonene av metaller i bekkene som avvanner HFK-sletta var lave i 2012 og klart lavere enn i 2011. Mye nedbør i 2012 kan være årsaken. Tilkjøpte jordmasser og revegetering av HFK-sletta kan øke konsentrasjoner av TOC i markvannet. TOC er en viktig kompleksbinder og transportør av metaller. Det er derfor avgjørende at den tilførte olivinen binder metallene lokalt. Til tross for at store mengder metall er tilført etter nær 80 års militær bruk, er konsentrasjonene av metaller i feltets bekker lave. Lite nedbør, kalkrikt jordsmonn og nøytralt til svakt basisk miljø er forhold som gir lav korrosjonshastighet av prosjektil-rester og liten bevegelighet av løste metaller i markvannet. Forurensningsgraden var ubetydelig for bly og generelt liten for kobber, sink og nikkel, unntatt bekken fra det restaurerte demoleringsfeltet i Grisungdalen. Den er forurenset av sink, men liten vannføring gjør at den bidrar i liten grad til forurensningen av Grisungbekken. Sink, kobber og nikkel, lekker litt til bekken fra lokale morener og tilført gruvegrus. Høsten 2008 førte en flyøvelse med skarpe bomber til at utlekkingen av metaller økte fra målområdet i Grisungdalen, men dette ble normalisert året etter. I 2011 ble det etablert 4 nye grunnvannsbrønner i på Storranden. Vannkvaliteten i disse overvåkes av Forsvarsbygg.


Fire norske emneord 1. Hjerkinn skytefelt 2. Metallkonsentrasjoner i bekker 3. Forurensningsgrad 4. Tidsutvikling	Fire engelske emneord 1. Hjerkinn shooting range 2. Metals concentrations in brooks 3. Degree of impact 4. Time trends
---	--



*Sigurd Rognerud*  
Prosjektleder



*Thorjorn Larssen*  
Forskningsleder



*Brit Lisa Skjelkvåle*  
Forskningsdirektør

Hjerkinn skytefelt 2001-2012

**Overvåking av metallkonsentrasjoner i  
bekker, elver og grunnvannsbrønner**

## Forord

Denne rapporten er en oppdatering og en omarbeidet versjon av forrige årsrapport fra overvåkningen av metallkonsentrasjoner i bekker, elver og grunnvannsbrønner i Hjerkins skytefelt (Rognerud 2012). Undersøkelsen dekker vanddirektivets krav til overvåkning og kontroll av vannressurser som er utsatt for tilførsler av giftige og vanskelig nedbrytbare forbindelser.

Resultatene skal brukes av Forsvarsbygg i forbindelse oppryddinger av forurensningskilder ved tilbakeføringen av Hjerkins skytefelt til sivile formål. Oppryddingen og tilbakeføringen av feltet til mest mulig naturlig tilstand startet i 2011 og pågår fortsatt. Det er tidligere utgitt åtte årsrapporter som omhandler forurensningssituasjonen i vassdragene i Hjerkins skytefelt (Rognerud 2002, 2003, 2007, 2009, 2010, 2011, 2012 og Rognerud *et al.* 2004).

Prosjektet ble kontraktfestet den 23. mai 2011 og Forsvarsbygg (FB), Utvikling ØST er oppdragsgiver. Kontaktperson i FB er senior prosjektleder Odd-Erik Martinsen.

Sigurd Rognerud (NIVA) har samlet inn alle vannprøvene, unntatt i 2004 og for HFK-sletta 30. august 2012 da prøvene ble samlet inn av Forsvarsbygg. Metallanalysene er gjort av AB Analytica (2001-2003) og NIVAs laboratorium i Oslo (2004-2012). En takk til Odd-Erik Martinsen og Frode Nyhagen for tilretteleggelse av feltarbeidet og Tore Østeraas for informasjon om de nye deponiene som ble bygget i 2010-2011 samt den pågående restaureringen av HFK-sletta.

Ottestad, mars 2013



*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 metallers mobilitet	8
3.1.2 Alle delfelter unntatt Storranden og Svåni	10
3.1.3 Tidsutviklingen (2001-2012) i metallkonsentrasjoner i bekkene fra demoleringsfeltene i Grisungdalen og Svånidalen, stridsvognfeltet på Haukberget og Flyfeltet i Grisungdalen	13
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 på Storranden	21
3.3 Tjernet og bekken på Storranden	23
3.4 Bekkene som avvanner HFK-sletta	24
<b>4. Diskusjon</b>	<b>27</b>
<b>5. Litteratur</b>	<b>30</b>
<b>Vedlegg</b>	<b>32</b>

## Sammendrag

Rapporten omhandler resultatene fra overvåking av vannkvalitet i Hjerkinnskytefeltets bekker (2001-2012, i grunnvannsbrønner ved gamle deponier på Storranden (2004 - 2009) og i overflatevann (tjern og bekk) på Storranden i 2010-2011. I 2010 ble området på Storranden ombygget og det ble etablert nye deponier der metallforurensede masser fra Haukberget blir lagret. Etter ombyggingen er det nå fire grunnvannsbrønner. Overvåkingen av vannkvaliteten i disse startet i 2012 og utføres av Forsvarsbygg (Østerås 2012). Hensikten med overvåkingen er å sikre en god dokumentasjon av vannkvaliteten i skytefeltets bekker, og i grunnvannet ved deponiene, før, under og etter restaureringen av skytefeltet. Resultatene er en del av grunnlaget som Forsvarsbyggs benytter i arbeid med sikring av forurensningskilder, og utarbeidelse av en årlig miljødokumentasjon ved nedleggelse av Hjerkinnskytefelt.

Hjerkinnskytefelt (165 km<sup>2</sup>) ligger på Dovrefjell og vannforekomstene i feltet består av bekker av ulike størrelse, samt et lite antall innsjøer. Geologien er variert og dette fører til klare regionale forskjeller i vannkvalitet. Skytefeltet har vært i militær bruk i over 80 år. Beregninger viser at etter 1950 har det blitt deponert totalt ca. 770 tonn kobber, 250 tonn bly, 30 tonn antimon og 22 tonn sink i feltet. I tillegg er betydelige mengder metallholdig grus fra gruvevirksomheten i Tverrfjellet, anriket på arsen, nikkel, kobber, kadmium og sink, benyttet til bygging av veier, blenderinger, målområder (HFK-sletta) og kjøretreaser for stridsvogner. Samlet areal med ulike terrenginngrep er grovt beregnet til om lag 1300 daa, som omfatter veier og plasser (853 daa) skyteanleggene på Haukberget (110 daa) og HFK-sletta (256 daa), samt inngrep som demoleringsplasser og tomter for bygg (Forsvarsbygg 2010).

Til tross for disse betydelige deponiene av metaller, er konsentrasjonene i bekkene overraskende lave. Forurensningsgraden for kobber, sink og nikkel er liten til moderat, unntatt i bekken fra demoleringsplassen i Grisungdalen, en av bekkene som avvanner HFK-sletta, og et tjern på Storranden, 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, men dette ble normalisert i løpet av 2009. Resultatene for overvåkingen i 2012 viser generelt ingen nevneverdige endringer i metallkonsentrasjonene fra tidligere. Dette betyr at gruvevirksomheten på Haukberget II i forbindelse med fjerning av banevullen, og restaureringen og ryddingen av demoleringsplassene i Svånidalen og Grisungdalen ikke har ført til ekstra utlekking av metaller.

Bekkene i skytefeltet er ikke nevneverdig forurenset av bly. Konsentrasjonene av bly, sink og nikkel er på nivå med de som vanligvis observeres i norske vannforekomster, men kobberverdiene er noe høyere, som følge av utlekking fra gruvegrus, løsmasser og korroderte prosjektilrester på Haukberget og korroderte ammunisjonsrester i flyfeltet i Grisungdalen. De lave blykonsentrasjonene i bekkene skyldes at deponerte blyfragmenters overflate etter hvert 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 metalloksider eller som nesten uløselige bly-fosfor mineraler (pyrrromorfitt). 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 et aerobt alkalisk miljø. Dette stemmer godt overens med våre resultater der konsentrasjonene av disse metallene samvarierte signifikant med organisk materiale (TOC). Bindingen til "metalltransportøren" TOC og en mindre stabil skorpe av salter på prosjektilrestene er hovedårsaken til at disse metallene er mer mobile enn bly i skytefeltet.

# 1. Innledning

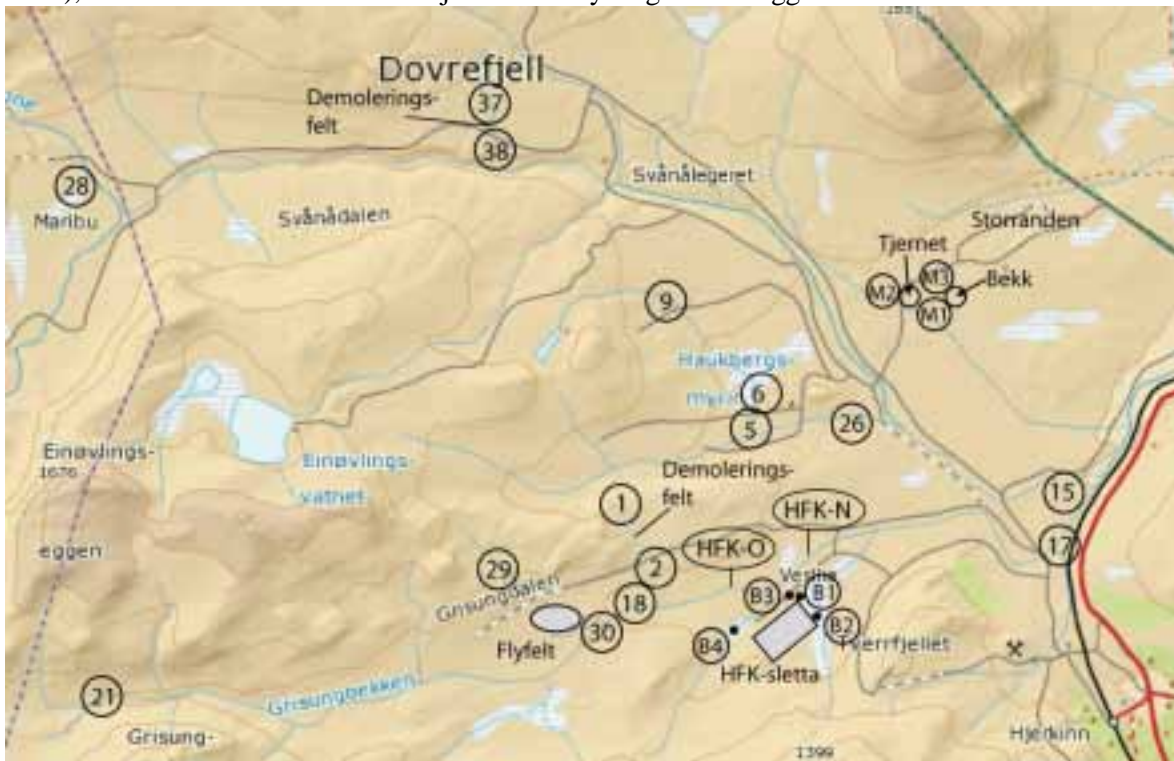
Hjerkins skytefelt er på 165 km<sup>2</sup>. Det ligger på Dovrefjell og omfattes i hovedsak av nedbørfeltene til Grisungbekken, Svåni og Grøna (Fig.1). De to første bekkene utgjør øvre deler av Drivas nedbørfelt, mens Grøna renner ned i Lågen like nordvest for Dombås. Vann-forekomstene består av bekker 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.

Hjerkins 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 tyskernes 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). Betydelige mengder metallholdig grusmasser fra gruvevirksomheten i Tverrfjellet har blitt benyttet til bygging av veier, målområder, HFK-sletta og kjøretraséer for stridsvogner. Gruvegrusen er anrikt på arsen, nikkel, kadmium, sink og kobber i forhold til det en vanligvis finner i innsjøsedimenter i Norge (Rognerud 2003). Utløsning av metaller fra disse massene kan ha vært en forurensningskilde på Haukberget. I all hovedsak ble disse massene fjernet på Haukberget 2 i 2011, og de indre delene av traseene i 2012 på Haukberget 1. Massene fra gruvene som er benyttet som underlag på HFK-sletta (256 daa) skal ikke fjernes. Det er tilført andre masser og olivin før arbeidet med revegetering kan starte. På bakgrunn av erfaringene fra undersøkelsene i 2002 ble programmet for overvåkingen i 2003 noe endret. Bekkene fra Einøvlingsvatni, Kollaområdet, Tverrfjellet, Breidskaret og Grøna 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 i forbindelse med avrenning fra søppelplass og et ammunisjonsdeponi.

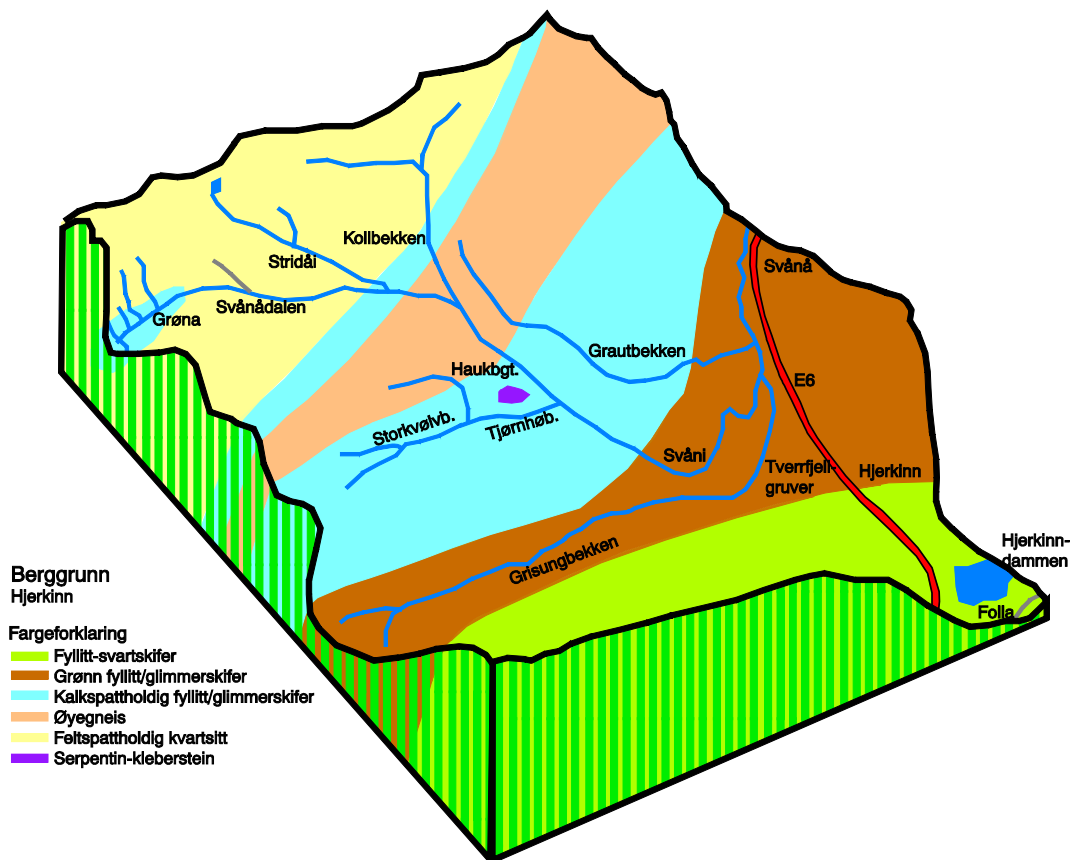
Tidligere ble vannkvaliteten i 8 grunnvannsbrønner ( 2004 og 2006-2009) ved massetakene på Storranden undersøkt, men de ble avvirket i 2010 på grunn av etableringen av nye deponier for masser fra Haukberget II. Det er nå etablert 4 grunnvannsbrønn på Storranden hvorav 3 er nye, og en er restaurert. Overvåkingen i disse startet i 2012 og rapporteres av Forsvarsbygg (Østeraas 2012).

Hensikten med overvåkingen er å sikre en god dokumentasjon av vannkvaliteten i skytefeltets bekker og i grunnvannsutsiget fra deponiene. Den militære aktiviteten er avsluttet. Arbeidet med å tilbakeføre feltet til sivile formål startet i 2010. Restaureringen av demoleringsplassene i Grisungdalen og Svånådalen var ferdig i henholdsvis august og september 2011. På Haukberget II ble hoveddelen av restaureringen utført i 2011, mens Haukberget I ble påbegynt i juni 2012 og der gjenstår det noe arbeid. Vannprøvene ble analysert med hensyn på metaller som observeres i forhøyede 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 så vidt lave at de ikke har ført til gifteffekter på fisk og bunndyr (Rognerud 2003). Metallkonsentrasjoner i bekkene som avvanner HFK-sletta er undersøkt siden 2011.

Denne rapporten er en oppdatert og noe omarbeidet versjon av forrige overvåkningsrapport (Rognerud 2012), med resultatene fra alle vannkjemiske analyser gitt i vedlegget.



Figur 1. Oversikt over prøvestasjonene i Hjerking skytefelt. <http://www.statkart.no/>



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 (2004-2009) ble hentet opp med elektriske miljøpumper som ble senket ned i rørene. Det ble benyttet separate pumper og slanger for hver brønn.

### 2.2 Vannanalyser

Metallanalysene er utført av SGAB Analytica (2001-2003) og NIVA (2004-2012). 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

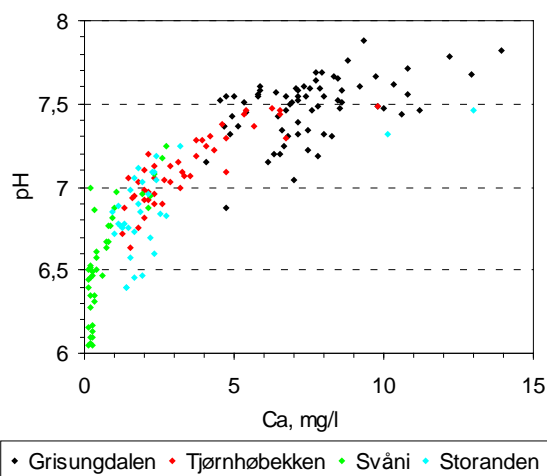
### 3.1 Vannanalyser i bekkene

Resultatene av vannanalysene (2007-2012) er gitt i vedlegget. Dataene er presentert 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. Tidligere resultatene fra grunnvannsbrønnene ved deponiene på Storranden er også rapportert her, for å få med alle undersøkelsene i en rapport. De ble nedlagt i 2010, men nye ble etablert i 2011 og vannkvaliteten i 2012 overvåkes av Forsvarsbygg.

#### 3.1.1 Viktige vannkvalitetsvariable for metallers mobilitet

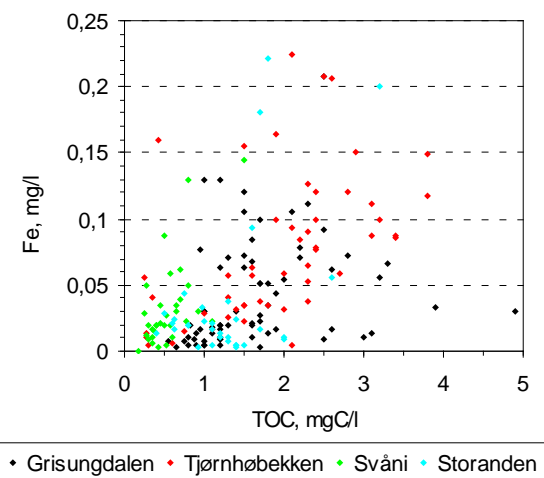
Utløsning av metaller fra berggrunn, løsavsetninger og korroderte prosjektilrester er til en stor grad avhengig av vannets pH-verdier, som i skytefeltets bekker i all hovedsak er styrt av forholdet mellom konsentrasjonene av bikarbonat ( $\text{HCO}_3$ ) og  $\text{CO}_2$ . I bekkene er konsentrasjonen 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 ganske 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 Storrandens 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 materiale (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 organisk materiale (TOC) og jern (Fe) i de ulike feltene.

Konsentrasjonene av As, Bi, Cd, Hg og Mo har vært undersøkt tidligere (Rognerud 2003, Rognerud et al. 2004), men konsentrasjonene var svært lave og oftest lavere enn grensen for sikre analyser. Det er derfor ikke knyttet forurensningsmessige problemer til disse metallene og de er ikke senere undersøkt. Militære etterlatenskaper inneholder også mindre mengder barium (Ba), strontium (Sr) og kobolt (Co). Vi har tidligere vist at konsentrasjonene av disse metallene i bekkene i hovedsak er styrt av geokjemien i nedbørfeltet (Rognerud 2003). Denne konklusjonen bekreftes også av senere målinger.

### 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 anriket 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 grensen for sikre analyser. Verdier lavere enn grensen for sikre analyser 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.

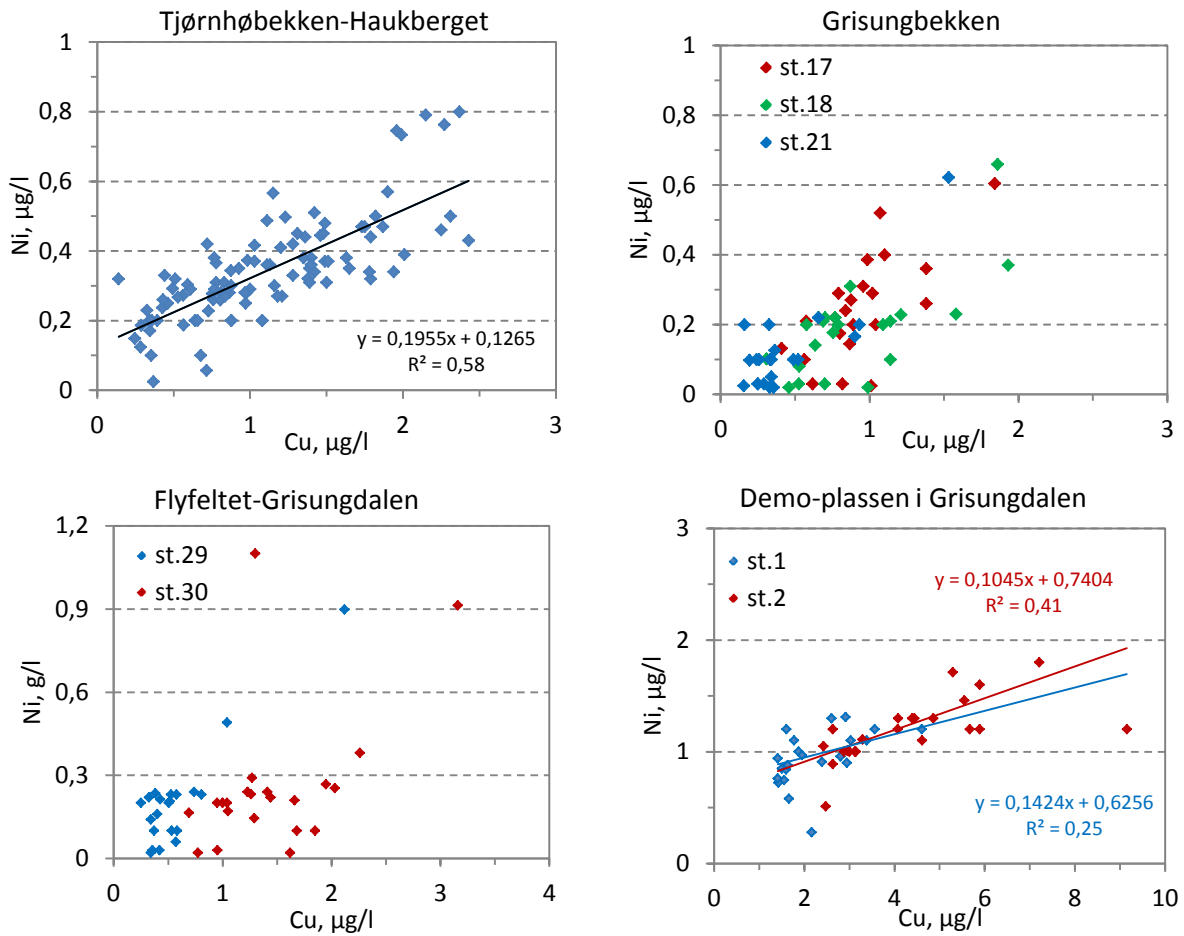
**Tabell 1.** Korrelasjonsmatrise mellom noen av de viktigste metallene samt organisk materiale (TOC) i tre nedbørfelt i Hjerkinnskytefelt (2002-2012). Uthevede verdier viser statistisk signifikante korrelasjoner på 95 % konfidensnivå. Verdier lavere enn grensen for sikre analyser er satt til halvparten av denne.

	Tjørnhøbekken- Haukberget, n=102					Grisungbekken m/tilløp n=101					Svåni's tilløpsbekker, n=21				
	Fe	Cu	Ni	Pb	Zn	Fe	Cu	Ni	Pb	Zn	Fe	Cu	Ni	Pb	Zn
TOC	0,25	<b>0,68</b>	<b>0,66</b>	0,31	<b>0,62</b>	0,05	<b>0,68</b>	<b>0,44</b>	0,01	0,21	0,45	<b>0,69</b>	<b>0,75</b>	0,29	0,18
Fe		0,20	0,25	0,12	0,21		0,27	0,04	0,02	0,12		0,36	0,56	0,1	0,01
Cu			<b>0,54</b>	0,22	<b>0,67</b>			0,36	0,02	0,26			<b>0,84</b>	0,18	0,42
Ni				0,24	0,27				0,01	0,15				0,16	0,3
Pb					0,16					0,08					0,41

Det var en god samvariasjon mellom konsentrasjonene av organisk materiale (TOC) og konsentrasjonene av kobber, nikkel og sink i Tjørnhøbekkens nedbørfelt. I Svåni og Grisungbekkens nedbørfelter samvarierte TOC best med kobber og nikkel. Dette indikerer at humustoffer er en viktig "transportør" for slike metaller i disse bekkene. Det var en også en god samvariasjon mellom kobber og nikkel, og kobber og sink i Tjørnhøbekkens nedbørfelt. I Grisungbekkens nedbørfelt var det generelt en dårlig samvariasjon mellom metallene, mens 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 interessant. Militære etterlatenskaper (håndvåpen-prosjektiler, granater etc.) inneholder kobber, men svært små mengder nikkel. Disse metallene er imidlertid anriket i gruvegrus fra tidligere drift i Hjerkinns gruver (Rognerud 2003). Store mengder av gruvegrusen er benyttet i kjøretraseer, blanderinger og som underlag på HFK-sletta. Det kan derfor forventes en samvariasjon 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. På Haukberget startet fjerningen av utkjørt stein og grus fra gruvevirksomheten i 2011, og skytevollen på Haukberget II ble i løpet av 2010/2011 i sin helhet fjernet og kjørt på deponiet ved Storranden.

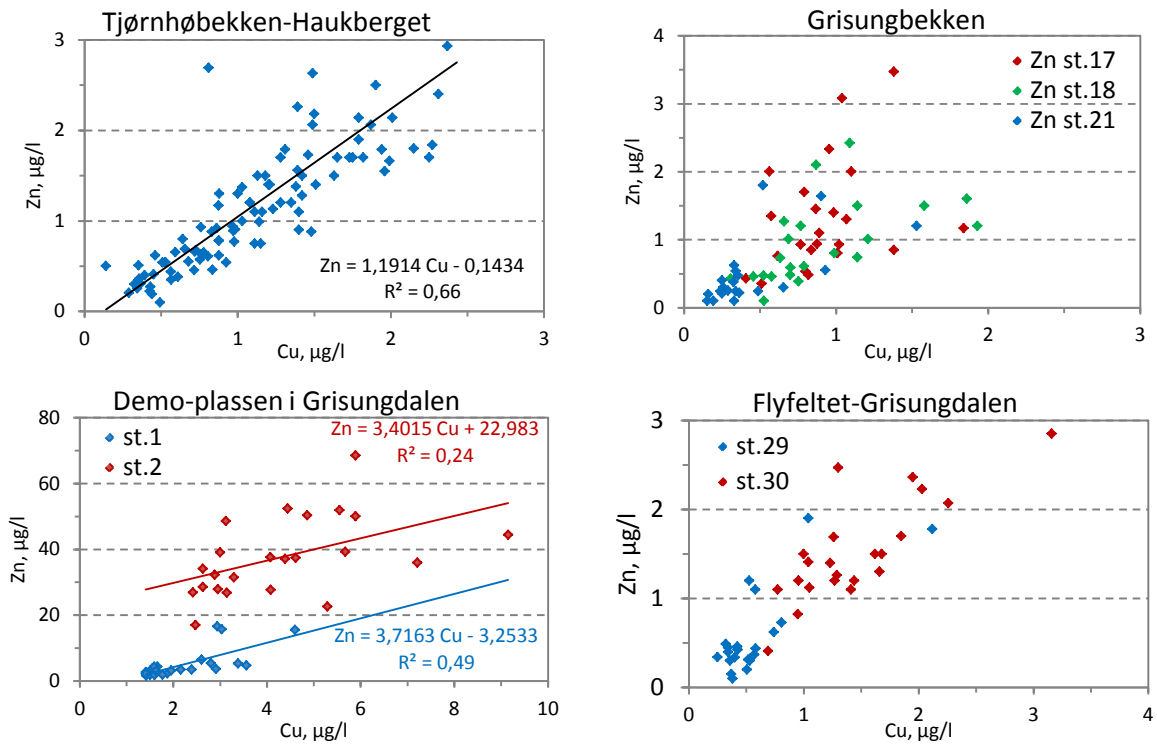
Det var også en god samvariasjon (nær 1:1) mellom konsentrasjonene av kobber og sink i alle feltene, men bekken nedstrøms demoleringsplassen i Grisungdalen (st.2) var betydelig mer anriket på sink enn de andre (Fig. 6). I Svåni's tilløpsbekker var forholdet mellom kobber og sink lavere i de bekkene som drenerte kvarsittholdig berggrunn enn de som drenerte områder med øyegneis (Rognerud 2012).



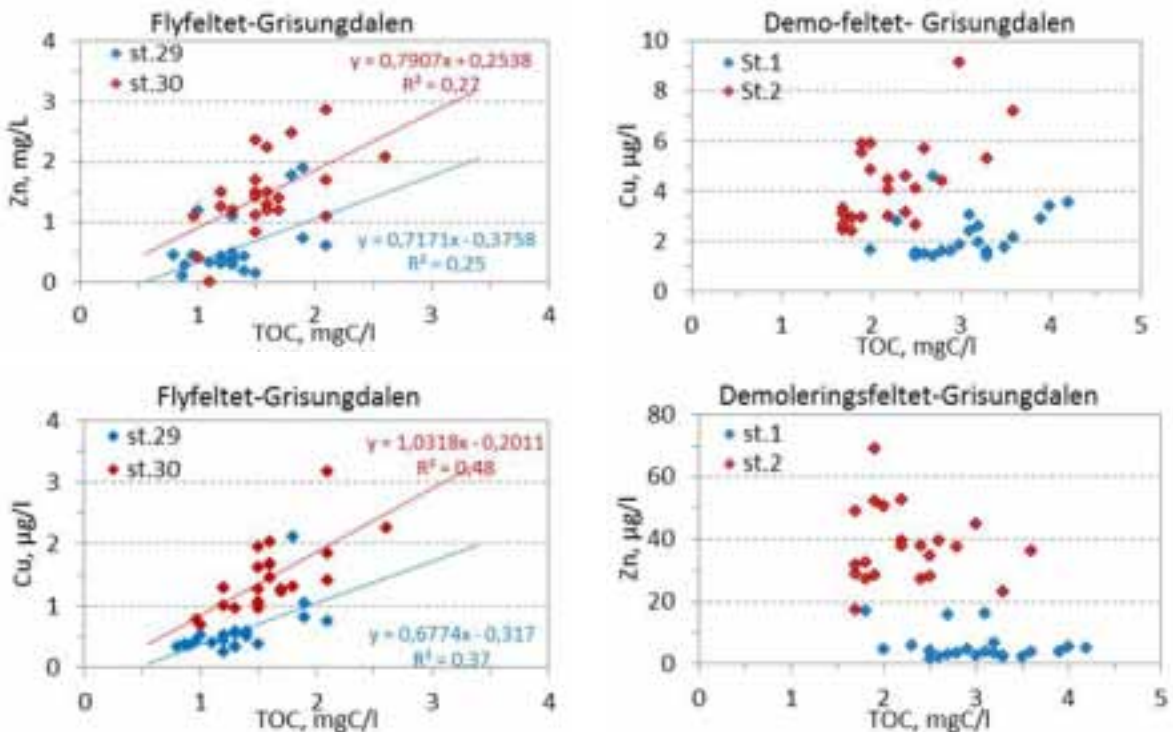
**Figur 5.** Samvariasjonen mellom konsentrasjonene av kobber og nikkell på alle stasjonene i Tjørnhøbekken, Grisungbekken, flyfeltet og demoleringsplassen i Grisungdalen.

Kobber og sink er bestanddeler i de fleste ammunisjonsrester, men samtidig er disse metallene også anrikt i morener og gruvegrus. Det er derfor ikke lett å skille mellom utlekking fra naturlige 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). Demoleringsplassen er restaurert og ble ferdigstilt i 2011. 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 noe forurenset av nikkell, kobber og sink.

Generelt sett økte konsentrasjonene av kobber og sink med økende TOC konsentrasjoner i flyfeltet i Grisungdalen (Fig.7). Slik var det imidlertid ikke i bekkene fra det restaurerte demoleringsfeltet i Grisungdalen (st.2, Fig.7). Dette kan skyldes at kildene er dominert av geokjemien i flyfeltet, mens en betydelige sink-kilder finnes fortsatt i det restaurerte området ved demoleringsplassen.



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

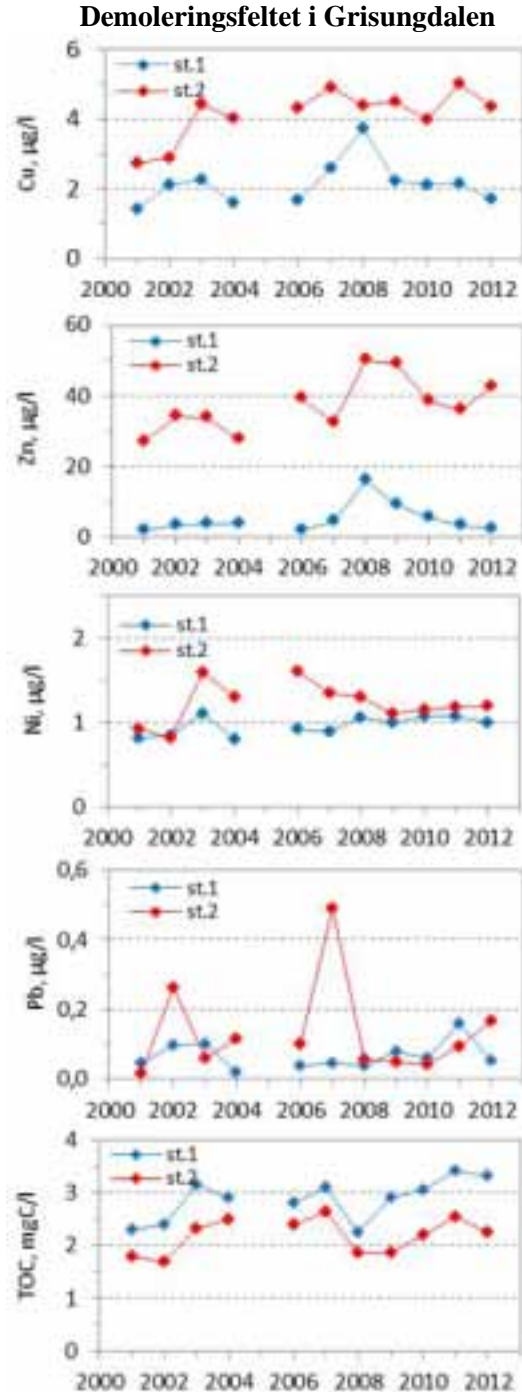


**Figur 7.** Samvariasjon mellom TOC og konsentrasjonene av kobber (Cu) og sink (Zn) hhv oppstrøms (st.29) og nedstrøms (st. 30) flyfeltet og demoleringsfeltet (st.1 og 2) i Grisungdalen.

### 3.1.3 Tidsutviklingen (2001-2012) i metallkonsentrasjoner i bekkene fra demoleringsfeltene i Grisungdalen og Svånidalen, stridsvognfeltet på Haukberget og Flyfeltet i Grisungdalen (Fig.8-10)

I bekken som avvanner demoleringsfeltet har konsentrasjonene av kobber, sink og nikkel i hele perioden vært høyere oppstrøms deponiet (st.1) enn nedstrøms (st.2), og økningen har det vært størst for sink (Fig.8). Dette har ingen ting med forskjeller i konsentrasjonene av TOC å gjøre fordi TOC har vært høyest ovenfor deponiet (st.1) i hele perioden (Fig.8). Konsentrasjonene av kobber økte fra 2002 til 2003 nedstrøms deponiet, men etter dette har ikke skjedd endringer av betydning. Blykonsentrasjonene har vært lave så blyfragmenter etter demolering av ammunisjon er ikke utsatt for nevneverdig korrosjon og utlekking til bekken. Feltet er ikke en nevneverdig kilde for nikkel da nær de samme konsentrasjoner måles inn og ut og nivået er nok i all hovedsak geokjemisk betinget. I 2011 ble feltet ombygget og restaurert. Konsentrasjonene av metaller i 2012 var imidlertid på nivå med tidligere målinger, så anleggsarbeidet førte ikke til økt forurensning av bekken.

Konsentrasjonsøkningen har vært størst for sink (20- 50 µg/l), mens kobberkonsentrasjonen dobles i bekken gjennom feltet (fra 2 til 4 µg/l). Dette er rimelig da sink generelt er mer mobilt, i avrenning fra landdeponier, enn bly og kobber. Nikkel og antimon-konsentrasjonene (vedlegget) ved utløpet av feltet har vært lave, og påslaget gjennom deponiet har vært 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, men de lave konsentrasjonene av bly i bekken viser hvor sterkt bly bindes i et alkalisk miljø slik som det er i dette deponiet (Fig.3, og i ved-legget). Det dannes ei skorpe av uløselige korrosjonsprodukter på prosjektil-restene og dette hindrer også en større utlekking av antimon som bly er legert med.



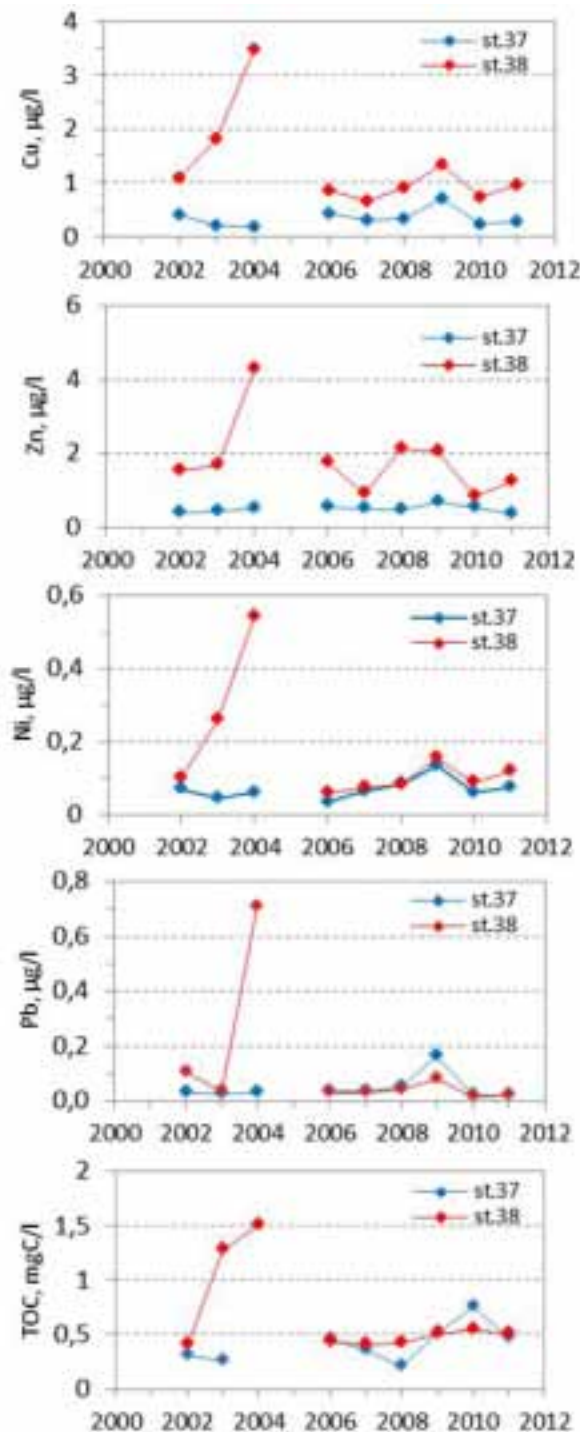
**Figur 8.** Middelkonsentrasjoner (mai-okt.) av kobber (Cu), sink (Zn), nikkel (Ni), bly (Pb), totalt organisk karbon (TOC) i bekken oppstrøms (st.1) og nedstrøms (st.2) demoleringsfelt i perioden 2001-2012.

Generelt har konsentrasjonene av kobber og sink vært høyere i bekken nedstrøms demoleringsfeltet (st.38) enn ved referansestasjonen oppstrøms (st.37) i hele perioden (Fig.9). Økningen er imidlertid langt mer beskjeden enn i bekken som avvanner demoleringsfeltet i Grisungdalen (Fig.8). I 2003 og 2004 økte TOC betydelig nedstrøms feltet. Dette førte til betydelig økning i konsentrasjonene av organisk bundet metaller. Etter dette har konsentrasjonen av kobber vært nær 0,5 µg/l ved referansestasjonen og nær det dobbelte nedstrøms demoleringsfeltet. Tilsvarende var det også for sink, men generelt var konsentrasjonene litt høyere hhv ca.0,8 µg/l og 1,5 µg/l. Det er mulig at økningen i kobber og sink-konsentrasjonene mellom stasjonene skyldes korrosjon av metallrester som ligger spredt på bakken over et stort område i bekkens nedbørfelt. Etter 2006 har konsentrasjonene av metaller variert svært lite. I 2011 ble demoleringsfeltet restaurert og ferdigstilt i september. Jernskrot og større metallfragmenter etter demoleringer ble fjernet. Det ble ikke gjort målinger i 2012.

Konsentrasjonene av nikkell, og særlig bly og antimon (i vedlegget) har vært lave i hele perioden, og i mange tilfeller lavere enn grensen for sikre analyser. Det ble ikke målt konsentrasjoner over 1 µg/l. Med unntak av episodisk høyere konsentrasjoner i 2004 (for alle metallene) så var det var ingen klar forskjell mellom konsentrasjonene oppstrøms og nedstrøms demoleringsfeltet. Det har ikke vært noen klar tidsutvikling i konsentrasjonene av metaller. Episodisk høyere verdier i 2004 kan skyldes at nedbør har vasket ut metaller assosiert til jordpartikler.

Dette demoleringsfeltet har ikke lekket metaller i nevneverdig til bekken. Det bør likevel gjøres noen målinger i 2013 for å sikre at restaureringen av demoleringsplassen i 2011 ikke har mobilisert metaller.

### Demoleringsfeltet i Svåndalen



**Figur 9.** Middelskonsentrasjoner(mai-okt.) av kobber (Cu), sink (Zn), nikkell (Ni), bly (Pb) og totalt organisk karbon (TOC) i bekkene oppstrøms (st.37, blå kurver) og nedstrøms (st.38, rød kurver) for Svåndalen demoleringsfelt i perioden 2002-2012.

## Haukberget

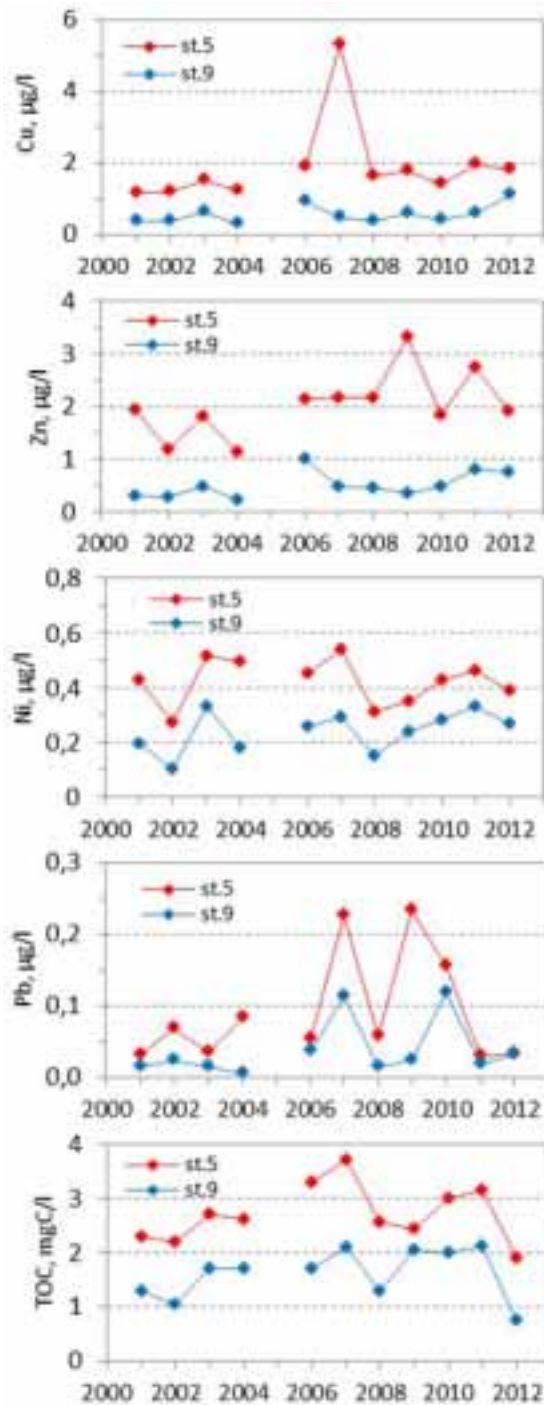
Generelt har konsentrasjonene av kobber, sink og nikkell vært høyere i Tjørnhøbekken nedstrøms stridsvognfeltet på Haukberget (st.5), enn ved referansestasjonen oppstrøms (st.9) i hele perioden (Fig.10). Med unntak av episodene i 2007 og 2009 har konsentrasjonen av kobber og sink vært nær  $0,6 \pm 0,2 \mu\text{g/l}$  ved referansestasjonen og 2-3 ganger så høy nedstrøms stridsvognfeltet. Det er rimelig å tro at de viktigste kildene for kobber, sink og nikkell er geokjemiske, men med et bidrag fra utkjørt gruvegrus i kjøretraseer og blanderinger.

Konsentrasjonene av kobber og sink i 2012 var på nivå med tidligere målinger. Dette viser at anleggsarbeidene knyttet til restaureringene av Haukberget II i 2011, og Haukberget I i 2012, ikke har ført til økt forurensning av sink og kobber.

Konsentrasjonene av nikkell har i hele perioden økt i bekken på veien gjennom feltet, men konsentrasjonene har vært lave. Dette kan skyldes utlekking fra utkjørt gruvegrus og lokale geokjemiske kilder. Slik har det også vært for bly, men konsentrasjonene har vært svært lave og variasjonene kan ha tilfeldige årsaker.

Det har ikke vært noen klar tidstrend og konsentrasjonene av nikkell og bly i 2012 var på nivå med tidligere målinger. I 2012 var TOC konsentrasjonen både inn og ut av feltet de laveste som er observert i overvåknings-perioden. Dette til tross for at restaurerings-arbeidet med Haukberget II nylig var gjennomført, og at arbeidet med Haukberget I pågikk under målprogrammet i 2012.

Restaureringsarbeidene på Haukberget har derfor ikke ført til nevneverdig mobilisering av metaller assosiert til løst organisk materiale.



**Figur 10.** Middelkonsentrasjoner (mai-okt.) av kobber (Cu), sink (Zn), nikkell (Ni), bly (Pb) og TOC i Tjørnhøbekken oppstrøms (st.9) og nedstrøms (st.5) stridsvognbanene ved Haukberget i perioden 2001-2012. Verdier lavere enn grensen for sikre analyser (Pb) er satt til halvparten av denne.



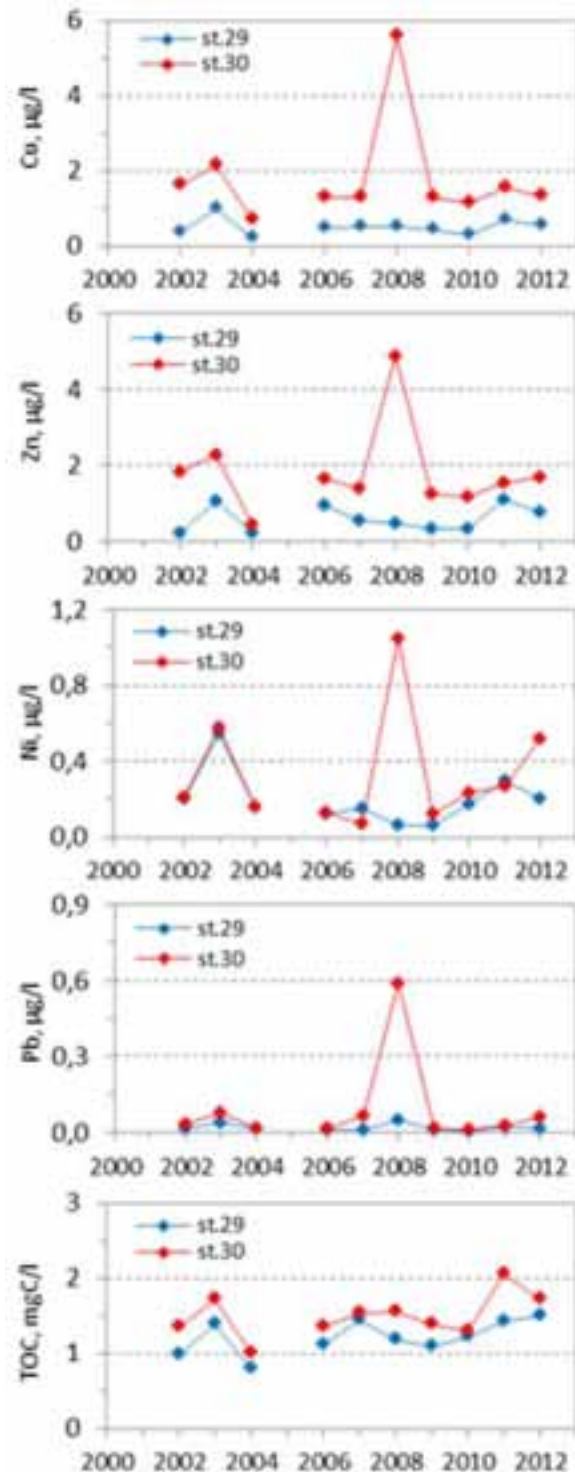
## Flyfeltet

Generelt har konsentrasjonene av kobber og sink vært høyere i bekken nedstrøms flyfeltet, før den renner ut i Grisungbekken (st.30), enn på referansestasjonen (st.29) oppstrøms flyfeltet i hele perioden (Fig.11). Med unntak av en episode høsten 2008, som ikke skyltes metaller bundet til organisk materiale (TOC), har konsentrasjonen av kobber og sink vært nær 2-3 ganger høyere nedstrøms feltet enn oppstrøms fram til 2010. I 2011 økte konsentrasjonene av kobber, sink og nikkel på referansestasjonen (st.29). Dette kan ha sammenheng med de store bombekratrene som oppsto nær bekkeleiet etter flybombing i nedbørfeltet, oppstrøms referansestasjonen, på slutten av den militære aktiviteten i feltet. I 2012 var konsentrasjonene av metaller på vei ned igjen.

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

Episoden høsten 2008 førte også til økte konsentrasjoner av nikkel og bly, men uten at konsentrasjonene kan karakteriseres som høye. Ellers har de vært svært lave og med ubetydelige forskjeller mellom stasjonene. Konsentrasjonene av antimon (i vedlegget) har vært nær, eller under grensen, for sikre analyser på begge stasjoner i hele perioden

Denne overvåkingserien viser at betydelige forstyrrelser av deponiområder, slik som ved drop av kraftig flybomber, fører til endringer i dreneringsmønsteret i feltet og eksponerer nye forureningskilder for utlekking. Likevel er det positivt at effekten ser ut til å være kortvarig. I 2012 bidro ikke Flyfeltet til nevneverdig metallforurensning av Grisungbekken.



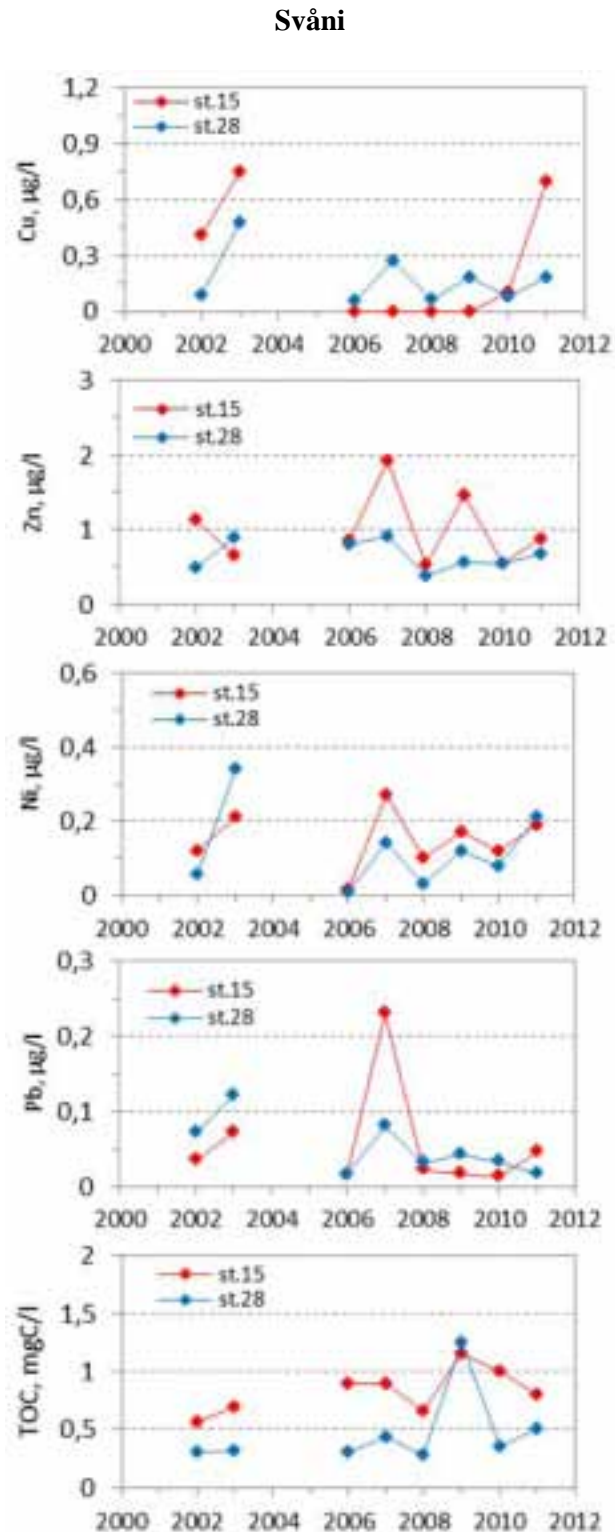
**Figur 11.** Middelkonsentrasjoner(mai-okt.) av kobber (Cu), sink (Zn), nikkel (Ni), bly (Pb) og TOC i bekken oppstrøms (blå kurver) og nedstrøms (rød kurver) flyfeltet i perioden 2002-2012. Verdier lavere enn grensen for sikre analyser(Pb) er satt til halvparten av denne.

### 3.1.4 Svåni, Grisungbekken og Tjørnhøbekken

Det er ikke foretatt målinger i Svåni i 2012. 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 (Fig.12). Dette betyr at de fleste metaller er bundet i den uorganiske fraksjonen ved Maribu (st.28) oppstrøms skytefeltet (Fig.1 og 12). Selv om brevannet fortynnes av tilrennende bekker i området ned mot Svånis utløp av feltet (st.15) er elva klart påvirket av brepartikler også ved denne stasjonen (Rognerud 2007).

Konsentrasjonen av metaller har vært lave i Svåni i hele overvåkingsperioden og det er små forskjeller på konsentrasjonene i elva inn i feltet (st.28) og ut av feltet (st.15). Unntaket fra dette mønsteret er kobber i 2011 der konsentrasjonene ut av feltet økte uten at det tilsvarende skjedde inn i feltet (st.28). Dette er vanskelig å forklare da det ikke skyldes endringer i konsentrasjoner av TOC.

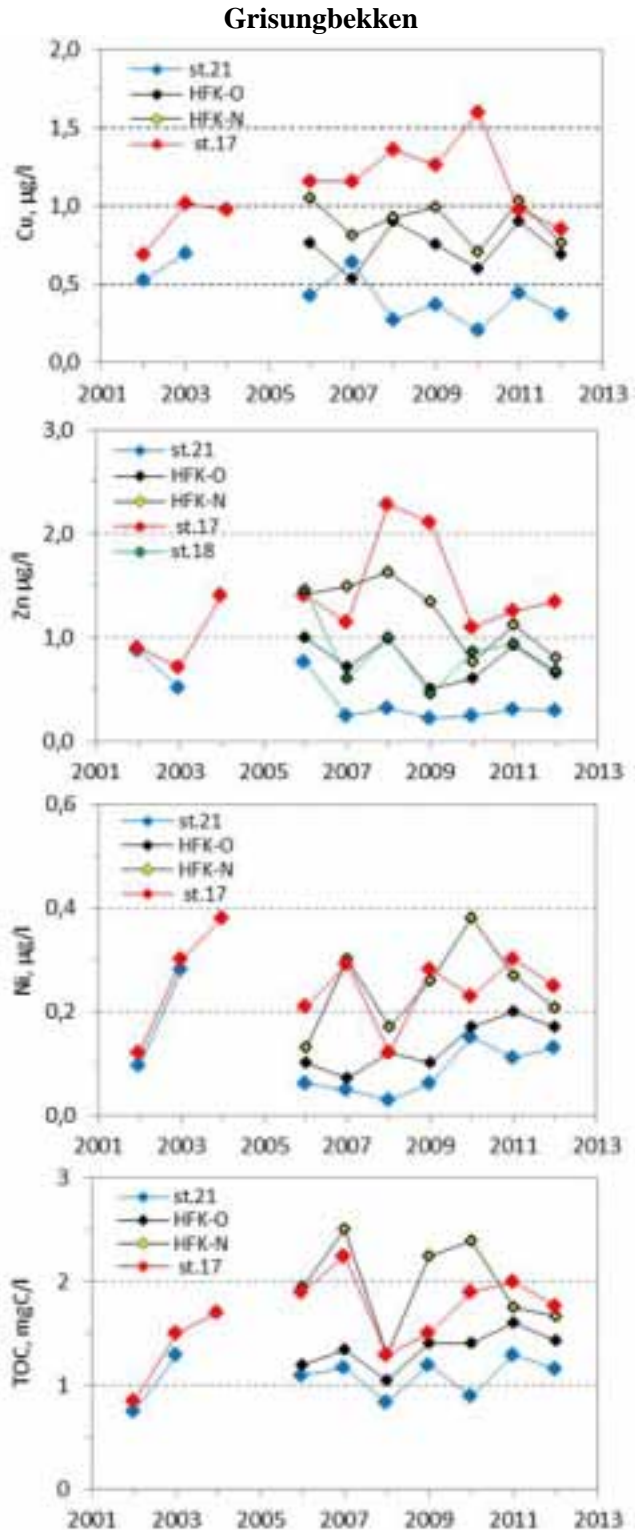
Generelt sett øker TOC i Svåni på vei gjennom feltet som følge av utlekking av TOC fra myrområder. Kobber er assosiert til TOC i Svåni (Tab.1), og økt humuspåvirkning fører til økte metall-konsentrasjoner med opphav i berggrunn i nedre del av skytefeltet. Likevel kan det ikke utelukkes et bidrag fra etterlatenskaper etter militær aktivitet i Tjørnhøbekkens myrlendte områder. Episodisk høyere verdier kan skyldes erosjon av jordpartikler ved høy vannføring. Korrosjon av militære etterlatenskaper i Svånådalen og på Haukberget, som tilføres Svåni, har derfor ingen nevneverdig betydning for vannkvaliteten i elva når den renner ut av feltet. Svåni har relativt høy vannføring når breene smelter sommerstid. Dette gjør at evnen til å fortynne eventuelle utslipp av metaller fra militær aktivitet er stor. De metallkonsentrasjoner som observeres er derfor i all hovedsak fra naturlige kilder, bundet til småkorna uorganiske partikler (breparkler) fra øvre deler av nedbørfeltet.



**Figur 12.** Middelskonsentrasjoner (mai-okt.) av totalt organisk materiale (TOC), sink (Zn), kobber (Cu) og nikkel (Ni) i Svåni inn (st.28) og ut av feltet (st.15) i perioden 2002 til 2011.

I Grisungbekken økte konsentrasjonene av metaller og TOC fra referansestasjonen, st.21 til utløpet av feltet, st.17 (Fig.13). Økningen mellom disse målepunktene var liten eller ubetydelig før 2005, men har vært tydeligere etter 2005. Årsaken til dette kan være flere slik som økt bruk og utlekking av metaller fra HFK-sletta, indikert ved målinger oppstrøm (HFK-O) nedstrøms (HFK-N), men også andre kilder kan ha bidratt. Metaller er assosiert til TOC og økningen i TOC skyldes naturlige forhold, som økt avrenning fra myrer oppstrøms HFK-sletta (HFK-O). Avrenningen fra HFK-sletta og omkringliggende myrer bidrar til en klar økning i TOC i Grisungbekken (HFK-O, HFK-N). Tilkjørte jordmasser til bruk ved revegetering av HFK-sletta kan også ha bidratt til dette. Fra 2010 til 2012 var det likevel en nedgang i kobberkonsentrasjonene i bekken ut av feltet (st.17), men ikke for TOC og de andre metallene. Vi kan ikke forklare dette.

For sink kan også bekken fra demoleringsfeltet («Demobekken»), som renner inn i Grisungbekken mellom flyfeltet og HFK-sletta, være en kilde. Den har mindre vannføring enn bekken fra flyfeltet, men konsentrasjonene av sink har vært betydelig høyere enn i Grisungbekken. I Zn-panelet i Fig.13 har vi lagt inn målinger fra st.18 som ligger nedstrøms utløpet av bekken fra flyfeltet, men oppstrøms utløpet av «Demobekken». Det var ingen forskjell i sinkkonsentrasjoner ved denne stasjonen og stasjonen oppstrøms HFK (HFK-O), mens den øker betydelig nedstrøms HFK (HFK-N). Dette indikerer at HFK-sletta kan være en sinkkilde og at vannføring i «Demobekken» er for liten til å påvirke vannkvaliteten i Grisungbekken nevneverdig. Konsentrasjonene av nikkell har vært lave, men likevel klart høyere ut av feltet (st.17) enn inn i feltet (st.21). Konsentrasjonene nedenfor HFK-sletta (HFK-N) var klart høyere enn ovenfor (HFK-O), og nær nivåene når bekken renner ut av feltet (st.17). Dette kan skyldes utlekking nikkell fra gruvegrusen som utgjør dekket på HFK-sletta samt av lokale løsmasser.



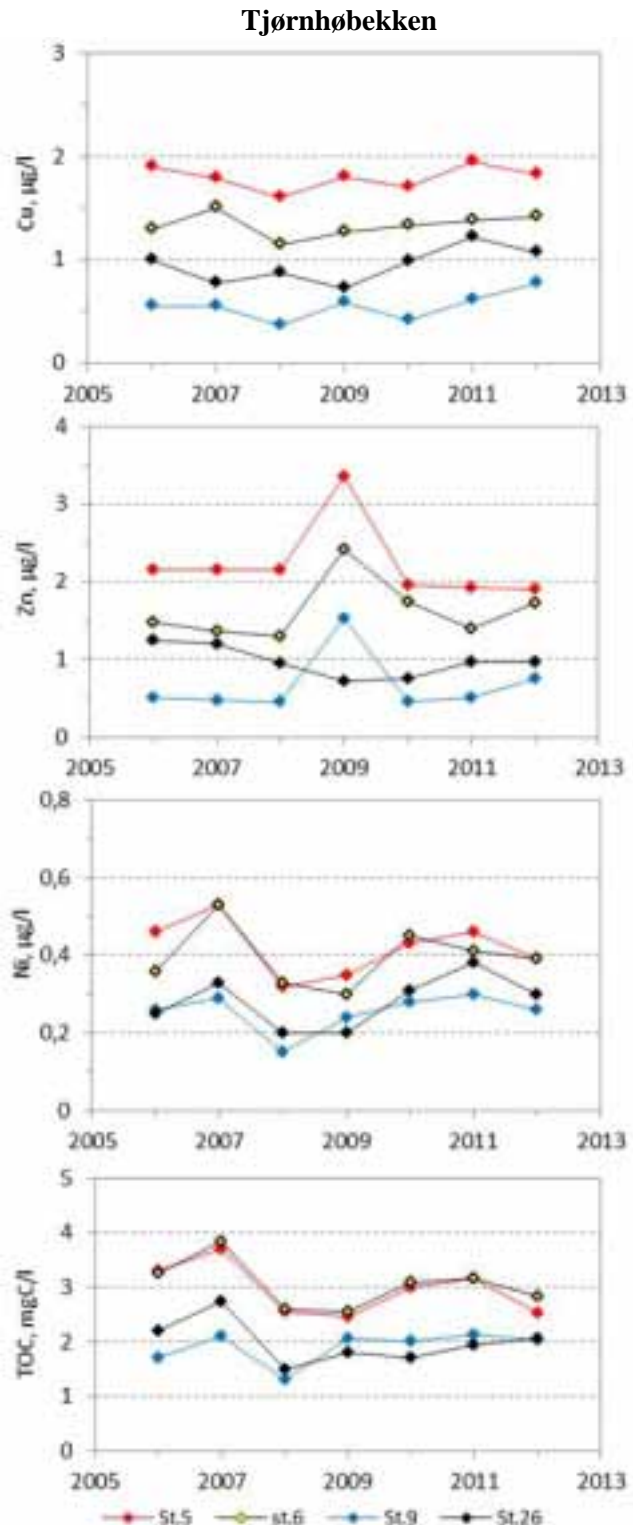
**Figur 13.** Middelkonsentrasjoner (mai-oktober) av totalt organisk karbon (TOC), sink (Zn), kobber (Cu) og nikkell (Ni) ved ulike stasjoner i Grisungbekken i perioden 2002 til 2012

Tjørnhøbekken avvanner de tidligere brukte stridsvognfeltene på Haukberget I og II. I denne bekken har det ikke vært noen klar tidstrend i konsentrasjoner av metaller eller TOC i tidsperioden 2006-2012 (st.6,7 og 9). Tjørnhøbekken renner sammen med Storkvølvbekken og videre ut i Svåni ved st.26 (Fig.1). Oppstrøms i samløpet har Storkvølvbekken høyere vannføring, men nær samme vannkvalitet som Tjørnhøbekken ved referansestasjonen (st.9). Derfor fortynnes metallkonsentrasjonene fra st.5 i Storkvølvbekken før den når Svåni (st.26).

Hoveddelen av Haukberget II ble restaurert i 2011. Resten ble gjort i oktober 2012. Restaureringen av Haukberget I pågikk fra juni og ut oktober i 2012. Det gjenstår noe opprydding og restaurering i 2013. I 2012 var metallkonsentrasjonene i Tjørnhøbekken på nivå med tidligere observasjoner (Fig.14). Gravearbeidene i forbindelse med fjerning av massene fra den store målbanen på Haukberget II, samt fjerning av veier og blanderinger har ikke ført til økninger av metaller i bekken fra referansen oppstrøms (st.9) til nedstrøms før Haukberget I (st.5).

Konsentrasjonene av TOC har vært lavest i Tjørnhøbekken oppstrøms Haukberget II (st.9) i hele overvåkingsperioden og høyest etter Haukberget II (st. 6). Det er de store myrområder mellom Haukberget I og II som er årsaken til dette.

Konsentrasjonene av kobber og sink i Tjørnhøbekken øker også 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 kjørt ut store mengder gruvegrus i kjøretrassene for stridsvognene. Det er rimelig å anta at utlekking av særlig sink og kobber fra disse har vært årsakene til økningen på denne strekningen. Gruvegrusen fjernes i 2013 og en reduksjon i påslaget av sink og kobber forventes.

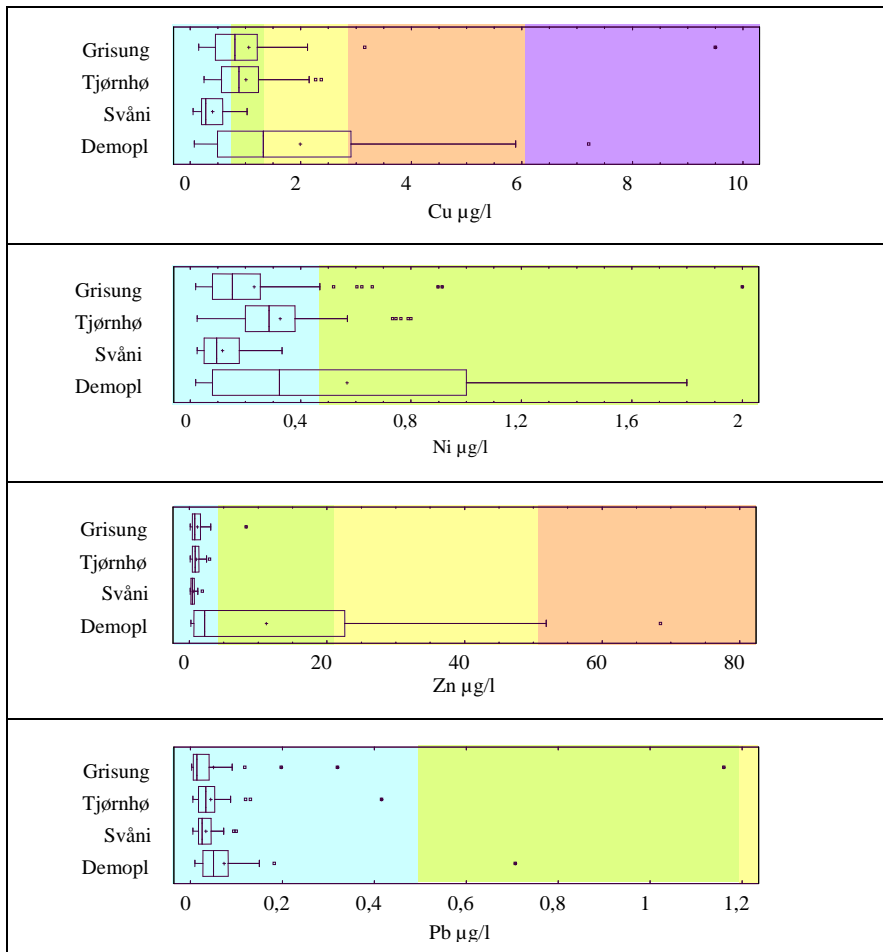


**Figur 14.** Middelskonsentrasjoner av totalt organisk karbon (TOC), sink (Zn), kobber (Cu) og nikkell (Ni) i Tjørnhøbekken inn i feltet (st.9), etter Haukberget II (st. 6), etter Haukberget I (st.5) og ut ved utløpet i Svåni (st.26) i perioden 2002 til 2012.

### 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 bekkene fra demoleringsfeltet i Grisungdalen som er moderat til markert forurensset av kobber (Fig.15).

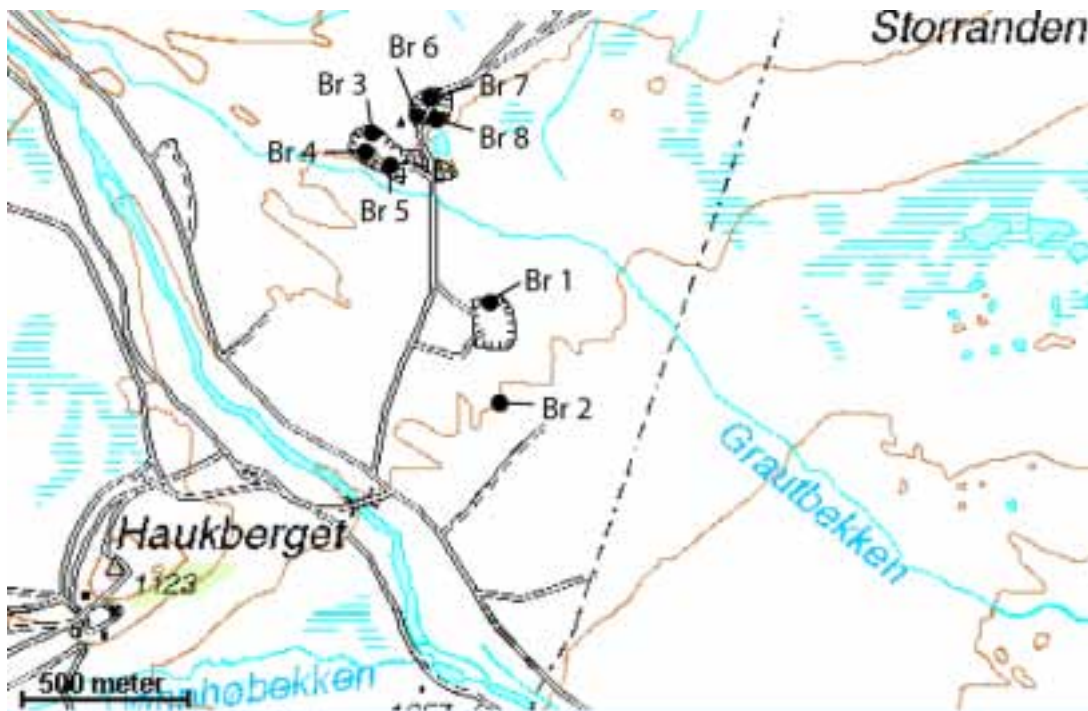
Det er episodisk målt enkelte høyere konsentrasjoner. Dette er atypiske verdier som blir registrert når vannføringen er spesielt lav eller at det har vært økt erosjon. I slike tilfeller kan metaller fra fyllinger, utkjørt gruvegrus og metallrester i bekkefare og nedbørfelt få økt innflytelse. Dette får 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 15.** Boksplott for konsentrasjonene av de viktigste metallene i delfeltene. Boksene inkluderer 50 % av observasjonene, medianen er markert med strek og middelverdien 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 på Storrånden

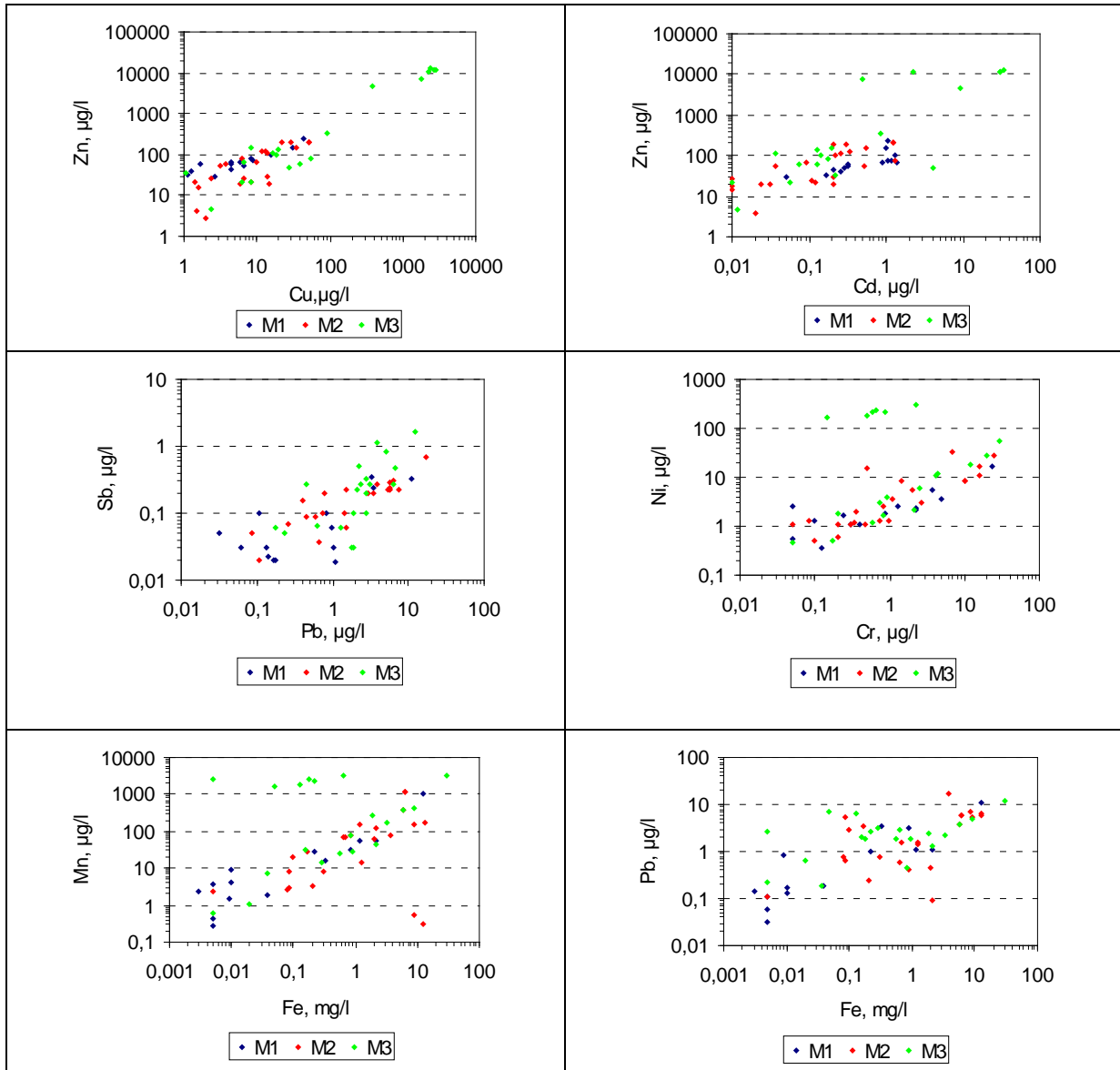
Storrånden er en gammel elveslette som inneholder store mengder grus og sand. Løsmassene har vært benyttet som gruskilde i mange år. I disse massetakene har det fram til 2010 vært tre deponier, M1, M2 og M3 (Forsvarsbygg 2006, 2007). M1 (Br.1) var et metalldeponi bestående av ammunisjonsrester (ca. 1000 tonn), metallskrap og blindgjengere. Dette området er ombygget og ett nytt deponiområde er anlagt for deponering av metallholdige masser fra Haukberget. Br.1 er derfor ikke lenger operativ. M2 (Br.3-5) er en avsluttet (overdekt) eldre søppelplass som inneholder bl.a. husholdningsavfall og 50 tonn ammunisjonsrester. M3 (Br.6-8) er en eldre søppelplass som til dels er åpen og inneholder rester av ammunisjon, metallskrap og delvis brent treavfall. I disse deponiene var det nedsatt 8 grunnvannsbrønner (Fig. 16) som ble undersøkt i perioden 2004-2008. I 2009 startet anleggsvirksomheten i området og brønn 1 og 3 ble 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 17. I 2010 pågikk arbeidet med å lage nye deponiområder. I denne sammenheng ble de gamle brønnene nedlagt og 4 nye ble etablert. De ble ikke prøvetatt i 2010 og 2011 fordi en først ville sikre at grunnvannstrømmene rundt brønnspissene var etablert før prøvetakningen startet. Vi presenterer likevel de tidligere målingen her for vise helheten i overvåkingen fra starten i 2001. De nye grunnvannsbrønner er nå operative og vannkvaliteten overvåkes av Forsvarsbygg.



**Figur 16.** Lokalisering av grunnvannsbrønner på Storrånden. 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.17). Særlig gjaldt dette for redoks-sensitive elementer som jern og mangan. Dette indikerer at det kan skje en vekslning mellom reduktivt og oksidativt miljø i massetakene avhengig av vanngjennomstrømmingen. 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 økte konsentrasjonene av sink, kobber, kadmium, krom og nikkel betydelig samtidig med at pH sank fra 6,4 til 4,3 (Tab.1 og 2 i vedlegget). Årsaken til dette er ukjent. Konsentrasjoner av sink og kobber på henholdsvis 11-12 mg/l og 2-3 mg/l er svært høye verdier og skyldes en direkte tilførsel. Fysiske tiltak for å stoppe forurensninger til grunnvann fra området rundt Brønn 8 i M3 ble 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. Målinger av vannkvalitet fra de 4 nye deponiene starter våren 2012 og rapporteres av Forsvarsbygg.



**Figur 17.** Spredningsdiagram over samvariasjon mellom utvalgte metaller i alle grunnvannsbrønnene i de tre massetakene M1, M2 og M3 på Storranden. Aksene er logaritmisk.

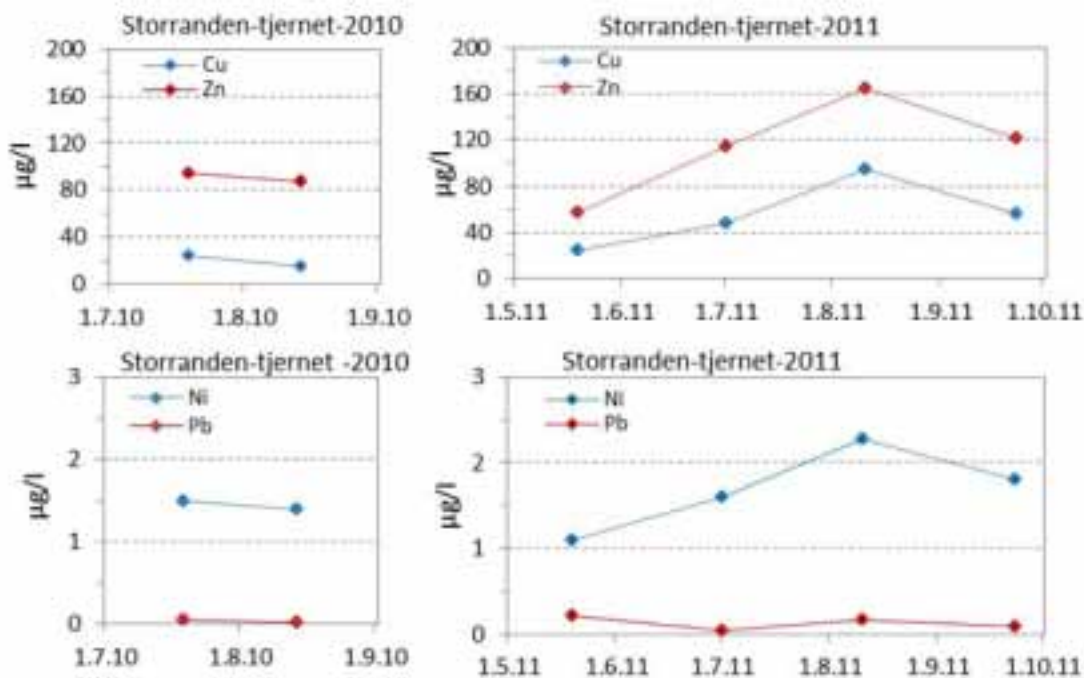
### 3.3 Tjernet og bekken på Storranden

Etter ombygningen og opprettelsen av nye deponier for masser fra Haukberget, er overvåkingen av vannforekomstene på Storranden konsentrert omkring et lite tjern som ligger sentralt i området, og en bekk som kommer ut av den store løsavsetningen (Fig.18). Målinger i de nye grunnvannsbrønnene vil bli utført av Forsvarsbygg.

Det har vært høye konsentrasjoner av sink og kobber, henholdsvis  $100 \pm 50 \mu\text{g/l}$  og  $50 \pm 30 \mu\text{g/l}$ , i tjernet i 2010-2011 (Fig.18). Nikkel-konsentrasjonene har vært betydelig lavere  $1,5 \pm 0,5 \mu\text{g/l}$ , mens blykonsentrasjonene har vært lave ( $< 0,5 \mu\text{g/l}$ ) og variert lite (Fig.18). Feltobservasjoner indikerer at variasjonen i metallkonsentrasjonene kan være relatert til vannstanden. Konsentrasjonene av metaller i bekken ut fra den store løsavsetningen på Storranden har vært lav ( $< 1 \mu\text{g/l}$ ) i hele perioden (tabell 1 i vedlegget). Bekken har små variasjoner i vannføring i perioden juni-oktober og kommer antagelig fra et stort grunnvannsreservoar som ikke er forurenset i nevneverdig grad.



Figur 18. Tjernet og utløpet av bekken fra løsavsetningen på Storranden



Figur 18. Konsentrasjoner av kobber, sink, bly og nikkel i tjernet og bekken på Storranden.



### 3.4 Bekkene som avvanner HFK-sletta

HFK-sletta er et stort inngjerdet, planert, steinsatt, areal på ca. 0,26 km<sup>2</sup> som heller mot Grisungbekken (Fig.19). Det er brukt som målområde for fly og testing av artilleriammunisjon. HFK-sletta avvannes av 2 bekker som renner langs nord-vestre siden av sletta (til høyre i bildet, kalt NV-bekken) og nord-østre siden (til venstre i bildet, kalt NØ-bekken), (Fig.1, 19 og 20). HFK-sletta skal omarbeides og revegeteres. I den forbindelse ble det i 2011 opprettet 4 nye målestasjoner i bekkene (Fig 1).



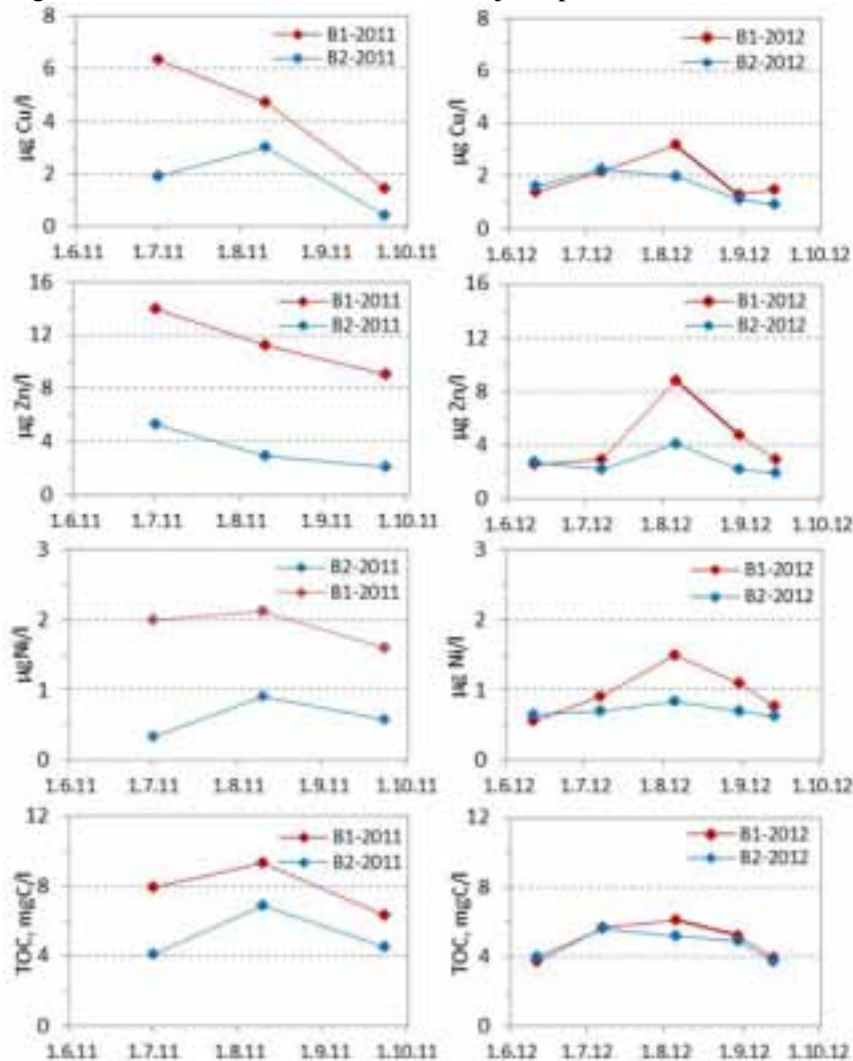
**Fig.19.** HFK-sletta i Grisungdalen sett mot syd. Den avvannes av to bekker. Den ene (NØ-bekken) er grøftet fra nord-østre hjørnet av sletta (til venstre på bildet), renner langs NØ-kanten av sletta og ender i Grisungbekken ved bilen/bua nær midten av bildet. Den andre bekken (NV-bekken), er større, ikke, grøftet, og starter langt oppe i lia i øvre høyre bildekant, passerer langs nedre del NV-del av sletta (til høyre på bildet) og munner ut i Grisungbekken ved nær det samme sted som den andre bekken.



**Figur.20.** NØ-bekken ved stasjon B1 ved HFK-slettas nord-østre hjørne (Fig.19) og NV-bekken ved bua (st.B4) nær utløpet i Grisungbekken.

Virksomheten på HFK-sletta i 2012 er beskrevet av Østerås (2013). Han nevner følgende: 2000 m<sup>2</sup> humusholdig jord ble tilkjørt fra NSBs kryssingsspor ved Hjerkinns for å bedre vekstvilkårene for gras og vier. Det ble startet med å «spavende» toppdekket bestående av gruvegrus og tilkjørte masser. Både tilkjørte masser, toppsjiktet med gruvegrus og underliggende morene inneholder høye konsentrasjoner av mange tungmetaller. Det viste seg at denne anleggsvirksomheten skapte tidvis økte avrenninger av metaller sommeren 2012. Det ble derfor besluttet at «spavendingen» skulle gjennomføres med minst mulig blottlegging av morenen (som mistenkes for å avgi mest metaller). Senhøsten 2012 ble området i tillegg dekket med 100 tonn olivin i løpet av en dag med helikopter. Hensikten var å øke pH slik at utlekkingen av metaller til vassdragene skulle reduseres.

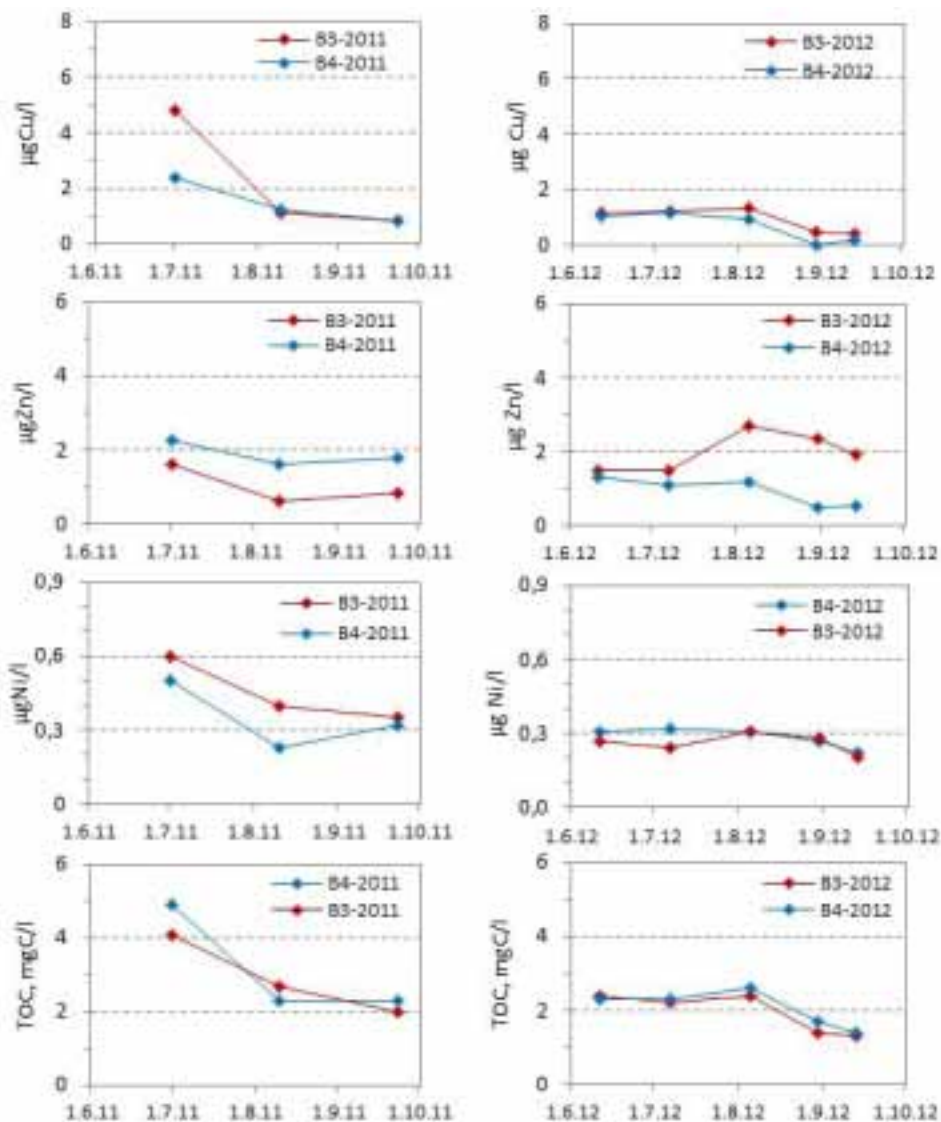
Konsentrasjonene av metaller og TOC i NØ-bekken økte til dels betydelig fra referansen (B2) til utløpet i Grisungbekken (B1) i 2011. Metallene er knyttet til TOC i denne bekken. I 2012 var det nesten ingen økning i konsentrasjoner av TOC eller metaller ned mot utløpet, og de var lavere enn året før. Feltnotater indikerer at dette kan skyldes høyere vannføring i 2012. Vannføringen økte markert fra B2 til B1 slik at transporten av metaller er betydelig større ved utløpet. Det er mulig at den nære sammenhengen mellom konsentrasjoner av TOC og metallene skyldes at TOC som utløses fra jordmasser som var deponert på HFK-sletta, tar med seg metaller fra gruvegrus og underliggende morene før det når bekken. De andre metallene som krom, bly og antimon forekom i lave konsentrasjoner og bindes nok effektivt i de alkaliske miljøet (pH 7,0-7,5, Tab. 1 i vedlegget).



**Figur 21.** NØ-bekken. Konsentrasjoner av metaller og TOC (2011 og 2012). NØ-bekkens målestasjoner er B2 oppstrøms (blå) og B1 nedstrøms HFK-sletta (rød), se Fig.1.

Konsentrasjonene av metaller i NV-bekken var lavere enn i NØ-bekken og økningen fra referansen (B3) til utløpet i Grisungbekken (B4) var ubetydelig både i 2011 og i 2012. Denne bekken har en betydelig større vannføring en NØ-bekken, og eventuelle utsig fra HFK-sletta blir mer fortynnet her enn i NØ-bekken. I tillegg kan det være at noe av overflatesiget av metaller bindes i grunnen før det når bekken. Dette er rimelig da det her er større avstand til HFK-sletta enn for den andre bekken. Vi ser også her at TOC konsentrasjonen har stor betydning for metallkonsentrasjonene.

Vi kan derfor konkludere med at aktiviteten på HFK-sletta ikke har bidratt nevneverdig til forurensningen av Grisungbekken i 2012. Fortynning som følge av en fuktig sommer kan være en medvirkende faktor.



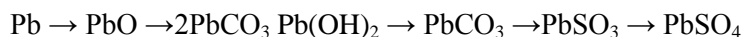
**Figur 22.** Konsentrasjoner av metaller og TOC i bekkene som avvanner HFK-sletta (2011-2012). NØ-bekkens målestasjoner er B3oppstrøms (grønn) og B4 nedstrøms HFK-sletta (rød), se Fig.1

## 4. Diskusjon

Hjerkinn skytefelt er tilført betydelige mengder metaller som følge av bruk av handvåpen, artilleri, bombekastere, stridsvogner, raketartilleri 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 kobberverdierne er noe høyere antagelig som følge av utlekking fra gruvegrus, anrikning i løsmasser 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 forstyrrelser 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 blyioner 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 blyfosforforbindelser 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 TOC og jernoksider.

Konsentrasjonene av kobber var langt høyere enn bly og konsentrasjoner opp mot 2-3  $\mu\text{g/l}$  (tilsvarende Klifs 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 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 nikkellioner (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 TOC.

Hovedårsaken til at bekkene er lite til moderat forurenset av metaller, i de mest brukte områdene i Hjerkinns skytefelt, er at disse områdene har relativt kalkrike bergarter og løsavsetninger, men har et nøytralt til alkalisk miljø i vannfasen. 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 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 overensstemmelse 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). På denne har ulike typer avfall fra aktiviteten i skytefeltet blitt deponert over en lang tidsperiode. Vannkvaliteten ble overvåket i grunnvannsbrønner. Oppholdstiden av vann i grunnvannsmagasinet var imidlertid til tider kort og dette er sannsynligvis årsaken til de store variasjonene i konsentrasjoner av metaller som ble målt i grunnvannsbrønnene i perioden 2004-2009. Brønnene var plassert slik at det er øvre del av grunnvannsmagasinet som blir prøvetatt, og det er her det ble forventet størst effekt fra utlekkingen av deponiene (Forsvarsbygg 2006). Varierende oppholdstid i grunnvannsmagasinet gjennom året og vekslning mellom reduktivt og oksidativt miljø i deponiet var årsaken til de store variasjonene i metallkonsentrasjonene i brønnene. Likevel viste tidligere målinger i små bekker som starter i grunnvannsutslagene i forkant av løsmasseviften generelt lave metall konsentrasjoner (Rognerud *et al.* 2004). Brønnene sto i eller svært nær deponiene. Det er derfor rimelig å anta at tidvis høye konsentrasjoner av metallene i brønnene, som skjedde i perioder med liten vanngjennomstrømming, likevel ikke var av stor betydning når grunnvannet fra magasinet slo ut i dagen nedstrøm løsmasseviften. Fra og med 2012 skal 4 nye grunnvannsbrønner være operative rundt de nye etablerte deponiene hvor masser fra Haukberget er deponert. Forsvarsbygg overvåker vannkvaliteten i disse.

Etter at restaureringen av stridsvogntfeltet på Haukberget ferdigstilles i 2013 så er det avrenningen av metaller fra restaureringen av HFK-sletta som blir viktigst å overvåke. Det kan bli utfordrende å få en god kontroll over avrenningen av metaller fra dette området. Tilføring av humusholdig jord i kombinasjon med etablering av vegetasjon vil høyst sannsynlig føre til økte mengder løste organiske stoffer (TOC) i markvannet. Metaller binder seg til disse forbindelsene og en utlekking av metaller kan forventes hvis de ikke bindes opp i olivinsjiktet. Det er derfor ganske avgjørende i hvilken grad den tilførte olivin vil sikre en tilbakeholding av metallene. Hvis markvannet passerer olivinsjiktet, gruvegrusen og trenger ned i morenen som stedvis har høye metallkonsentrasjoner kan utlekkinger av metaller øke. Det er imidlertid ikke sikkert at vannmengden fra dette området er stort nok til å gi betydelige økninger av metallkonsentrasjonene i Grisungbekken. Målinger av vannføring i bekkene som avvanner området vil kunne gi en god indikasjon på hvilke konsentrasjoner i bekkene som er akseptable.

## 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.
- Forsvarsbygg 2010. Hjerkinns PRO- Miljørapport 2010. Miljødokumentasjon for gjennomføringsfas 1. Forsvarsbygg Utvikling Øst. Rapport 1-2010.
- 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. Hjerkinnskytefelt 2001 – 2006. Overvåkning av metaller i bekker, elver og grunnvannsbrønner. NIVA-rapport Lnr. 5439-2007. 24s.
- Rognerud, S. 2009. Hjerkinnskytefelt 2001-2008. Overvåkning av metaller i bekker, elver og grunnvannsbrønner. NIVA 5482-2009. 25s + vedlegg.
- Rognerud, S. 2010. Hjerkinnskytefelt 2001-2009. Overvåkning av metaller i bekker, elver og grunnvannsbrønner. Niva rapport 5918-2010. 31s.
- Rognerud, S. 2011. Hjerkinnskytefelt 2001-2010. Overvåkning av metaller i bekker, elver og grunnvannsbrønner. Niva rapport.6309-2012. 32s
- Rognerud, S. 2012. Hjerkinnskytefelt 2001-2011. Overvåkning av metaller i bekker, elver og grunnvannsbrønner. Niva rapport L.nr.6123-2011. 35s
- Roseth, A, et al. 2003. Forsvarets bruk av Hjerkinnskytefelt 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. Sources of trace metals in streams and headwater 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.
- Østeraas, T. 2013.



# 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









NIVA 6498-2013

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
29	05.08.2012	7,69	1,3	6,21	0,005	0,1	0,323	31	2,36	0,22	0,008	<0,005	0,49
30	05.08.2012	7,75	1,7	7,27	0,02	<0,1	1,230	92	5,52	0,24	0,009	<0,005	1,4
B1	05.08.2012	7,65	6,1	13,10	0,062	0,1	3,170	170	125	1,5	0,02	<0,005	8,83
B2	05.08.2012	7,38	5,2	3,73	0,022	0,1	1,960	210	69,7	0,84	0,035	<0,005	4,12
B3	05.08.2012	7,52	2,4	7,70	0,007	0,1	1,350	20	0,58	0,31	0,023	<0,005	2,7
B4	05.08.2012	7,62	2,6	6,68	<0,005	0,1	0,949	31	3,23	0,31	<0,005	<0,005	1,2
HFK-opp	05.08.2012	7,64	1,4	5,64	<0,005	<0,1	0,576	30	1,3	0,2	<0,005	<0,005	0,64
HFK-ned	05.08.2012	7,64	1,6	5,84	0,005	0,1	0,690	30	3,28	0,2	<0,005	<0,005	0,79
Dam-HFK	05.08.2012	7,48	17,5	75,20	0,363	1,4	35,1	2,32	818	6,79	1,02	0,15	45,8
B1	30.08.2012	7,59	5,2	14,50	0,036	0,2	1,274	140	87	1,1	0,02	<0,005	4,69
B2	30.08.2012	7,26	4,9	3,89	0,009	0,2	1,070	280	20,5	0,7	0,035	<0,005	2,17
B3	30.08.2012	7,45	1,4	8,72	0,009	0,1	0,460	34	1,3	0,28	0,031	<0,005	2,35
B4	30.08.2012	7,72	1,7	8,16	<0,005	0,1	0,010	35	6,9	0,27	<0,005	<0,005	0,48
B5	30.08.2012	7,33	2,2	3,61	<0,005	0,1	1,890	140	9,47	0,35	0,024	<0,005	1,4
B1	13.09.2012	7,70	3,9	13,20	0,024	0,2	1,440	81	48,6	0,77	0,005	<0,005	2,87
B2	13.09.2012	7,12	3,7	3,83	0,007	0,2	0,920	483	31,4	0,62	0,028	<0,005	1,9
B3	13.09.2012	7,37	1,3	8,67	0,006	0,1	0,432	20	0,84	0,2	0,02	<0,005	1,9
B4	13.09.2012	7,62	1,4	8,56	0,005	0,1	0,160	30	4,26	0,22	0,01	<0,005	0,51

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)