



Statlig program for
forurensningsovervåking

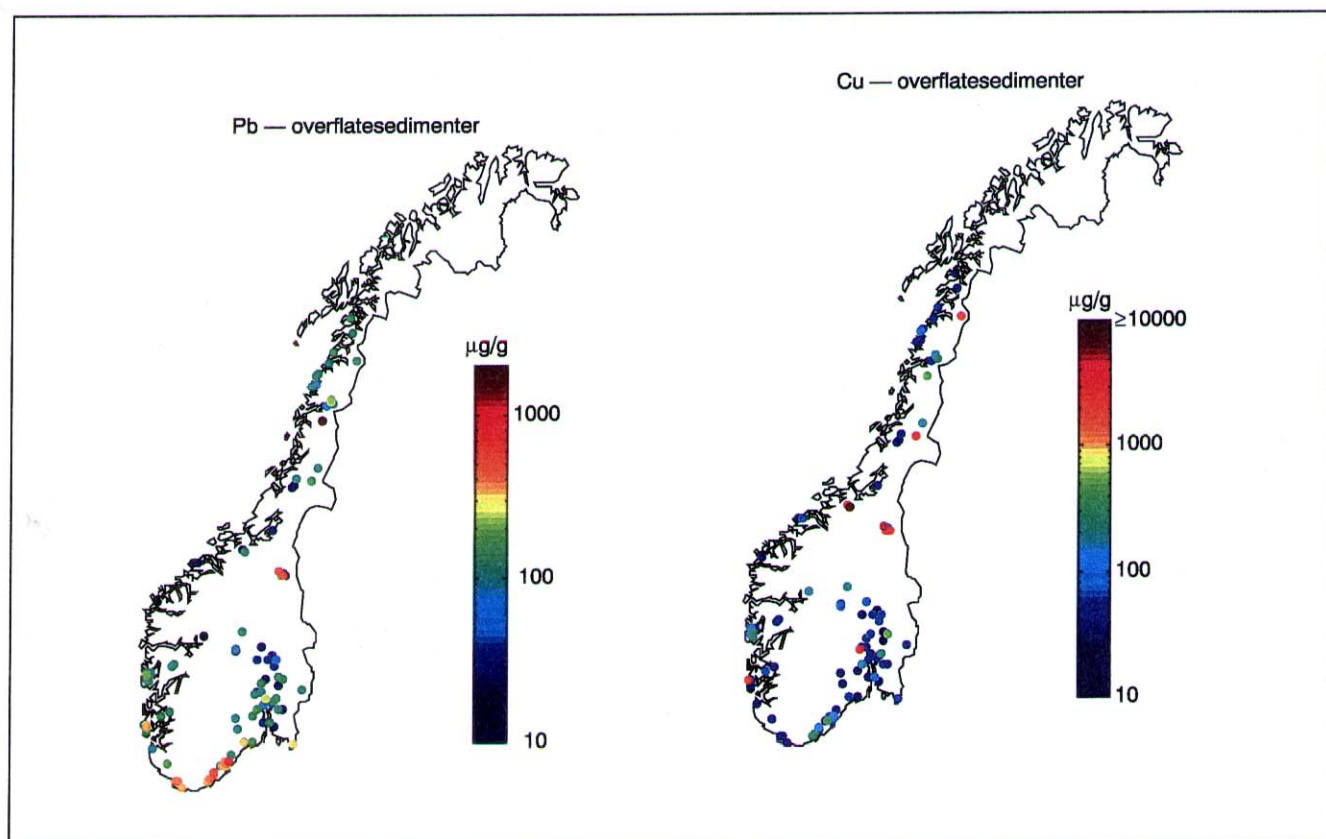
Rapport 713/97

Oppdragsgivere Statens forurensningstilsyn

Utførende institusjon NIVA

Regional undersøkelse av miljøgifter i innsjøsedimenter

Delrapport 2. Tungmetaller og andre sporelementer



Hovedkontor

Postboks 173, Kjelsås
0411 Oslo
Telefon (47) 22 18 51 00
Telefax (47) 22 18 52 00
Internet: www.niva.no

Sørlandsavdelingen

Televeien 1
4890 Grimstad
Telefon (47) 37 29 50 55
Telefax (47) 37 04 45 13

Østlandsavdelingen

Sandvikaveien 41
2312 Ottestad
Telefon (47) 62 57 64 00
Telefax (47) 62 57 66 53

Vestlandsavdelingen

Nordnesboder 5
5008 Bergen
Telefon (47) 55 30 22 50
Telefax (47) 55 32 88 33

Akvaplan-NIVA A/S

9015 Tromsø
Telefon (47) 77 68 52 80
Telefax (47) 77 68 05 09

Tittel Miljøgifter i innsjøsedimenter Delrapport 2. Tungmetaller og andre sporelementer. Rapport nr. 713/97 TA nr. 1485/1997	Løpenr. (for bestilling)	Dato
	3880-97	desember 1997
	Prosjektnr. Undernr.	Sider Pris
	94110	44 s. + vedl.
Forfatter(e) Sigurd Rognerud, Eirik Fjeld, Jarl Eivind Løvik, Trond Skotvold (Akvaplan-niva)	Fagområde	Distribusjon
	miljøgifter	100
	Geografisk område	Trykket
	sør- og midt-Norge	NIVA

Oppdragsgiver(e) Statens Forurensningstilsyn	Oppdragsreferanse P. E. Iversen
--	---

Sammendrag

Tungmetaller og andre sporelementer ble analysert i overflate- og referanse-sedimenter fra 102 innsjøer i ulike deler av landet. Lokale utslipp i nedbørfeltet hadde forurenset enkelte innsjøer betydelig. I denne sammenhengen kan vi nevne avrenning fra ulike gruvevirksomhet som har ført til svært høye konsentrasjoner i sedimentene av kobber, kadmium, sink, kobolt og i enkelte tilfeller nikkel. Sedimentene i disse innsjøene må generelt betegnes som toksiske for bunnelevende organismer. Atmosfæriske avsetningene fra fjerntliggende og lokale kilder synes generelt sett å være hovedårsaken til høye verdier i sedimentet for kvikksølv, bly, arsen, antimon, og selen. Dette gjaldt spesielt innsjøer langs kysten fra Grenlandsområdet og ned til Lista der betydningen av atmosfæriske avsetninger er størst. Det er tidligere rapportert at mange av de samme innsjøene i denne regionen hadde sedimenter som var betydelig forurenset av organiske mikroforurensninger. Det var således langt flere innsjøer som var sterkt forurenset av metaller og organiske mikroforurensninger på grunn av atmosfæriske forurensninger enn innsjøer som var sterkt forurenset av lokale utslipp direkte i nedbørfeltet. Betydningen av disse forurensningene for akvatiske organismer er imidlertid vanskelig å evaluere. Foruten gruveinnsjøene var imidlertid noen innsjøer sterkt forurenset av spesiell virksomhet med direkte utslipp i nedbørfeltet.

Fire norske emneord 1. Regional undersøkelse 2. Innsjøsediment 3. Tungmetaller og andre sporelementer 4. Klassifisering av forurensningsgrad	Fire engelske emneord 1. Regional survey 2. Lake sediments 3. Heavy metals and other trace elements 4. Degree of impact
--	---


 Prosjektleder

ISBN 82-577-3465-9


 Forskningsjef

Regional undersøkelse av miljøgifter i innsjøsedimenter

Delrapport 2. Tungmetaller og andre sporelementer

Forord

Dette er en sluttrapport for undersøkelsen av konsentrasjoner av tungmetaller og andre sporelementer i sedimenter fra 106 norske innsjøer. Vi har undersøkt innsjøer innenfor et område som er avgrenset av Lista i syd og Lofoten-området i nord. Innsjøer beliggende nord for Lofoten er omhandlet i SFT-rapport 688/97 og var en del av AMAP-programmet. Undersøkelsen vår er en del av prosjektet: "Miljøgifter i ferskvannsedimenter" som også omfatter organiske mikroforurensninger (Delrapport 1). Prosjektet administreres og finansieres av Statens Forurensningstilsyn (SFT) og er en del av SFTs arbeid med å skaffe oversikt over tilstand og foreta prioriteringer for eventuelle tiltak i innsjøsedimenter. Prosjektet ble startet opp sommeren 1994 og feltarbeidet ble avsluttet ved årskiftet 1996/1997. Per Erik Iversen har vært prosjektansvarlig i SFT og Sigurd Rognerud i NIVA. Sistnevnte har sammen med Eirik Fjeld (NIVA), Jarl Eivind Løvik (NIVA) og Trond Skotvold (Akvaplan-niva) utført feltarbeidet.

Hamar, desember 1997

Sigurd Rognerud, Eirik Fjeld, Jarl Eivind Lovik, Trond Skotvold

Innhold

1. Innledning	8
2. Metoder	10
3. Kildeanalyser	11
4. Resultater	13
4.1 Forurensningsgraden av de enkelte elementene	13
4.1.1 Arsen (As)	14
4.1.2 Beryllium (Be)	16
4.1.3 Kadmium (Cd)	18
4.1.4 Kobolt (Co)	20
4.1.5 Krom (Cr)	22
4.1.6 Kobber (Cu)	24
4.1.7 Kvikksølv (Hg)	26
4.1.8 Nikkel (Ni)	28
4.1.9 Bly (Pb)	30
4.1.10 Antimon (Sb)	32
4.1.11 Selen (Se)	34
4.1.12 Vanadium	36
4.1.13 Sink (Zn)	38
4.2 Samvariasjon mellom konsentrasjoner av metaller i sedimentet.	40
5. Diskusjon	41
6. Litteraturliste	43

Sammendrag

Hensikten med undersøkelsen er å klarlegge konsentrasjonsnivået av metaller i norske innsjøsedimenter med ulike potensielle kilder i nedbørfeltet. I tillegg har vi undersøkt enkelte innsjøer der atmosfæriske tilførsler er hovedkilden for antropogene tilførsler. Vi har i alt undersøkt 102 innsjøer fra Lindesnes og opp til Lofoten i Nordland. Et underutvalg på 69 av disse har også vært undersøkt med hensyn på organiske mikroforurensninger (Rognerud et al. 1997).

Det var naturlig å dele de undersøkte metallene i tre grupper etter karakteren av forurensninger. Den første gruppen av metaller var typisk for de såkalte gruvesjøene. Disse innsjøenes sedimenter var betydelig anriktet med hensyn til de fleste metallene, men spesielt av Zn, Cu, Cd og i enkelte innsjøer av Co og Ni. Dette skyldes at de fleste gruvene har vært drevet med hensyn på kobber, og de andre metallene finnes ofte anriktet i kobbermalmen. Vanadium og beryllium var lite anriktet i gruvesjøene. Generelt sett var ikke metallene i disse innsjøenes sedimenter spesielt godt assosiert til innholdet av organisk materiale (glødetapet). Konsentrasjonene av metaller i mange av gruvesjøenes sedimenter var så høge at de sannsynligvis er giftige for de aller fleste organismer.

Den andre gruppen av metaller hadde generelt sett størst forurensningsgrad i innsjøer hvor kildene var atmosfæriske avsetninger fra langtransporterte forurensninger og lokale utslipp til luft. Dette gjaldt elementene As, Hg, Pb, Sb, Se, V og Be. Av disse var As, Hg, Pb, Sb, Se og i tillegg Cd positivt assosiert til organisk materiale. Dette er i samsvar med tidligere undersøkelser som har vist at for metaller som har atmosfæriske antropogene avsetninger som hovedkilde, er konsentrasjonene i sedimentet ofte nært assosiert til innholdet av organisk materiale. Sedimentene i mange av innsjøene i denne gruppen kan klassifiseres som markert forurenset, og toksiske effekter på bunnlevende organismer kan ikke utelukkes. En rekke innsjøer langs kysten i Sør-Norge hadde høge konsentrasjoner av disse metallene vesentlig på grunn av følgende forhold: Betydelig avsetning av langtransporterte metallforurensninger fra andre deler av Europa, bidrag fra lokal industrivirksomhet med luftutslipp, samt at innsjøene langs kysten ofte er humuspåvirket slik at sedimentet får et høgt organisk innhold. I tillegg har kystområdene vært påvirket av sur nedbør som har ført til forsurening av mange nedbørfelt og derved utvasking fra jordsmonnet av mobile elementer som f.eks. Cd og Ni. I disse områdene er kalking av innsjøer relativt vanlig og dette kan ha ført til utfelling av metaller til sedimentet.

Den tredje gruppen av elementer består av nikkell, krom og kobolt. Disse metallene var også negativt assosiert til organisk materiale. Dette indikerer at metallene er knyttet til den minerogene fraksjonen i sedimentet, og at konsentrasjonene i hovedsak er bestemt av geokjemien i nedbørfeltene. Forurensningsgraden var generelt liten for disse elementene bortsett fra 5-6 innsjøer med markert til sterk forurensningsgrad på grunn av lokale utslipp.

Noen innsjøer hadde høge konsentrasjoner av enkelte metaller, men avvek fra de nevnte generelle mønstrene for grupper av metaller med god samvariasjon. I denne sammenheng kan vi summarisk nevne:

Kornsjø i Halden kommune som var sterkt forurenset av bl.a. krom antagelig på grunn av virksomheten ved et garveri som nå er nedlagt.

Søndre Holsjøen i Eidsvoll kommune som har vært resipient for et gammelt gullverk. Sedimentet (også referansen) var tydelig forurenset av Hg og Cu.

Vesvatn og Vollevatn ved Kristiansand som hadde høge konsentrasjoner av As, Co, Ni selv om vi tar hensyn til betydningen av atmosfæriske avsetninger fra langtransporterte forurensninger. Det er sannsynlig at Falconbridge nikkerverk kan være enn av kildene til disse elementene.

Åsterudtjernet i Ringerike kommune var sterkt forurenset av Ni, Co og Cu på grunn av avrenning fra slagghauger deponert i forbindelse med tidligere gruvedrift etter nikkel.

Austlandsvatn i Grimstad kommune hadde høge konsentrasjoner av mange metaller samt organiske mikroforurensninger (Rognerud et al. 1997). Innsjøen mottar såvidt vi vet bare atmosfæriske forurensninger av metaller, men kalking kan ha bidratt til økte felling av metaller til sedimentet.

Denne undersøkelsen har vist at mange innsjøsedimenter var markert forurenset av metaller. Den viktigste årsaken var gruvevirksomhet, men også andre virksomheter kan lokalt ha bidratt til betydelige forurensninger (f. eks. garverivirksomhet). Det er imidlertid verd å merke seg at for en stor gruppe av elementer var atmosfæriske avsetninger fra fjerntliggende og lokale kilder den viktigste årsaken til høge metallkonsentrasjoner i sedimentene. Omfanget av denne typen forurensning er også betydelig langs kysten av Sør-Norge og lokalt rundt enkelte tettsteder med industrivirksomhet. Undersøkelsen av organiske mikroforurensninger i sedimentene fra et utvalg av de samme innsjøene viste klart den viktige betydningen de atmosfæriske avsetningene har hatt for forurensningsgraden av innsjøene generelt selv om enkelte innsjøer også hadde klare punktutslipp i nedbørfeltet.

Summary

Title: Regional survey of environmental contaminants. Part 2. Heavy metals and other trace elements.

Year: 1997

Authors: Sigurd Rognerud, Eirik Fjeld, Jarl Eivind Løvik and Trond Skotvold.

Source: Norwegian Institute for Water Research, ISBN No.: 82-577-3880-97

Heavy metals and other trace metals were analyzed in surface- and reference sediments from 102 lakes in Norway. The primary objective was to examine concentration levels of such elements in lake sediments and compare them with the main pollution sources. Earlier, 69 of these lakes have been analyzed for organic micropollutants (Rognerud et al. 1997).

Lakes affected by mining activities had sediments severely contaminated by Cu, Cd, Zn, Co and sometimes Ni. These elements were associated to the minerogenic part of the sediment. The concentrations were in many cases so high that toxic effects can be expected especially for bottom living organisms.

Generally, atmospheric depositions from long-range sources were the main reason for high concentrations of Hg, Pb, As, Sb and Se in lake sediments, but local air pollution was also a significant source in some areas. Lake sediments along the southernmost coastline of Norway from the Grenland-region and southwest to Lista area were most affected. These elements were positively associated with the sediment organic content and lakes with a high supply of humic compound from the catchments are generally more susceptible of scavenging these elements than clear-water lakes. There have earlier been reported high concentrations of organic micropollutants (PCB, PAH and pesticides) in some of the same lake sediments from this area.

In lakes without mining activities in the catchment areas, Ni, Cr and Co were associated to the minerogenic fraction and generally concentrations were only slightly enriched in surface sediments, indicating an insignificant pollution.

A few lakes had high concentrations in the surface sediments of some metals caused by pollution from relatively well defined local sources. Lake Kornsjø had very high concentrations of Cr, As, Co and Cd, because of earlier use as a tannery resipient. Two lakes near Kristiansand (Lake Vollevatn and lake Vesvatn) had high concentrations of Ni, As and Co in recent deposited sediments probably caused by air pollution from a nearby smelter. Lake S.Holsjøen had elevated Hg concentrations probably caused by a earlier activity connected to a goldmine in the catchment area, and Lake GUSDALSVATN had high Cr concentrations in surface sediments due to activity at a olivine factory nearby.

1. Innledning

Flertallet av grunnstoffene regnes som metaller, og de som har tetthet over 5 g/cm^3 kalles ofte tungmetaller. Vi har undersøkt konsentrasjonene av 16 elementer (Al, As, Be, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Hg, Mn, Ni, Pb, Sb, Se, V, Zn) i sedimentene til 102 innsjøer. Al, Be og Se er ikke tungmetaller, og de to sistnevnte kalles sporelementer. Den naturlige forekomsten av metaller kan variere betydelig i naturen, og det er ofte viktig å ha kunnskap om de naturgitte konsentrasjoner når effekter av forurensninger skal vurderes. Metallene er ikke bare miljøgifter, men inngår også i mange tilfeller som nødvendige næringsstoffer for levende organismer. Det er imidlertid noen som ikke er nødvendige næringsstoffer slik som Al, Be, Cd, Sb, Hg, og Pb (Driscoll et al 1994). Av disse vies ofte Hg, Pb og Cd størst interesse blant annet fordi at de har en betydelig spredning i atmosfæren (Barrie et al 1997).

Forurensninger av metaller til innsjøene har sin årsak i atmosfæriske avsetninger eller direkte utslipp i nedbørfeltet. Med unntak av kvikksølv, så er tungmetaller i atmosfæren knyttet til små partikler (aerosoler) som føres med luftstrømmene. Hvor langt denne transporten kan gå avhenger av partikkelstørrelsen og de meteorologiske forholdene. For eksempel vil de største metallholdige partiklene som slippes ut i atmosfæren fra f.eks gruveindustri falle ut relativt raskt, mens organiske blyforbindelser som dannes etter bruk av blyholdig bensin har en betydelig lengre oppholdstid i atmosfæren. Kildene for metallforurensning til atmosfæren er i hovedsak forbrenning av fossile brensel (inklusive blytilsetning i bensin), smelteprosesser i forbindelse med metallurgisk industri og forbrenning av søppel. Når det gjelder punktutslipp i nedbørfeltet, er gruvevirksomhet, industriutslipp, avrenning fra urbane områder og gjødsling/sprøyting i jordbruket blant de viktigste kildene.

Metaller tilføres innsjøene fra nedbørfeltene i hovedsak knyttet til små partikler eller løste humussyrer, og denne transporten er oftest svært episodisk og sesongbetont. Selv om metallene forekommer som løste ioner ved utslipp direkte i innsjøen bindes de ofte raskt til partikler som siden synker ut og danner sedimenter. På grunn av vinddrevne strømmer utsettes partiklene for vekslende resuspensjon og resedimentasjon i de grunnere områdene av innsjøen. Denne prosessen skaper en størrelses-selektiv utsortering av partikler med den følge at de minste partiklene til slutt anrikes i innsjøens dypsedimenter. Da metaller oftest er knyttet til den minste partikkelfraksjonen, skjer det en betydelig anrikning i innsjøens dypområder (Dickson et al. 1984). Sedimentene i disse dypområdene er derfor et velegnet medium for å kartlegge innsjøens metalltilførsler. Dessuten avsettes sedimentene kronologisk, og ved å sammenlikne konsentrasjoner i nylig avsatte sedimenter med de som er avsatt i preindustriell tid, vil en få klare indikasjoner på betydningen av antropogene tilførsler kontra naturgitte tilførsler.

Hensikten med undersøkelsen er å klarlegge konsentrasjonsnivået av metaller i norske innsjøsedimenter med ulike potensielle kilder i nedbørfeltet. I tillegg har vi undersøkt enkelte innsjøer der atmosfæriske tilførsler er hovedkilden for antropogene tilførsler. Vi har i alt undersøkt 102 innsjøer fra Lindesnes og opp til Lofoten i Nordland (Fig. 1). Et underutvalg på 69 av disse har også vært undersøkt med hensyn på organiske mikroforurensninger (Rognerud et al. 1997).



Figur 1. Beliggenheten til de undersøkte innsjøene. Navn og kartreferanser er gitt i vedlegg.

2. Metoder

Sedimentene ble, med enkelte unntak, innsamlet fra innsjøenes dypeste områder med en modifisert KB-corer (Mudroch og Azcue 1995). Disse områdene ble lokalisert med ekkolodd, og prøvetakeren ble senket sakte ned til ca 2 m over bunnen. Videre nedsenking skjedde svært forsiktig, og prøvetakeren trengte ned i sediment som følge av sin egen vekt. På denne måten ble sjansen for å miste topplaget av sedimentene minimal. Ved ankomst til land ble vannet over sedimentet fjernet forsiktig med en hevert og sedimentkjernen seksjonert i 1 cm tykke sjikt. Referanseprøver ble tatt fra det dypest liggende sjiktet i sedimentprøven. Dette var oftest 40-50 cm under sedimentoverflaten. Dateringer ved hjelp av C^{14} -metoden av dette referansesjiktet i andre liknende innsjøer har vist at de kan være nær 1000 år gamle (Rognerud et al 1997). Dette sjiktet med sedimenter er derfor avsatt i før-industrielle tider og kan med god grunn kalles pre-industrielle sedimenter. Vi har i denne undersøkelsen analysert dette referansesjiktet samt overflatesjiktet (0-1 cm). Forholdet mellom konsentrasjonene i overflatesjiktet (0-1 cm) og referansesjiktet kalles kontamineringsfaktor (K_f). Denne faktoren gir oss ofte en indikasjon på forurensningsgraden av innsjøens sedimenter. Inndelingen av forurensningsgraden etter K_f -verdier følger inndelingen gitt i en tidligere nasjonal undersøkelse av tungmetaller (Rognerud og Fjeld 1990). Et forhold som en imidlertid bør være klar over når det gjelder denne faktoren er at elementer med høyere naturlige konsentrasjoner trenger større antropogene tilførsler for å oppnå samme kontamineringsfaktor enn elementer med lavere konsentrasjoner. Den har heller ingen mening for svært redoks-avhengige metaller som f.eks. jern og mangan.

De tørkede sedimentene ble homogenisert (blandet forsiktig), og de uttatte prøvene ble oppluttet i konsentrert HNO_3 (0,5-1g per 10 ml). Konsentrasjonene av Al, Be, Cu, Fe, Mn, Pb, V, and Zn ble analysert med ICP-AES, mens As, Cd, Co, Cr, Ni, Sb og Se ble analysert med ICP-MS. Hg ble analysert med atomfluoresens. Glødetapet (GT) ble bestemt ved gløding i 2 timer ved $550^\circ C$ og GT benyttes som et mål på organisk karbon (OC). Oftest er OC-verdiene nær halvparten av GT verdiene (Rognerud et al 1997).

Resultatene fra undersøkelsen er vist fargekodet på nasjonale kart. Fordelingene innen ulike innsjøgrupper (kategorisert ut fra kildeanalyser) er vist ved hjelp av såkalte box-plot. Disse plottene viser de enkelte observasjonene, samt median-verdiene og visse prosentiler. 10- og 90-prosentilene er vist som en vertikal strek, mens 25- og 75-prosentilen er vist ved boksens horisontale sider. Medianen, eller 50-prosentilen, er angitt som en horisontal strek innen boksen.

3. Kildeanalyser

Forurensninger av metaller tilføres innsjøene enten via atmosfæriske avsetninger eller via direkte utslipp til jord og vann i nedbørfeltene. Med unntak av kvikksølv så forekommer metallene ikke i gassfase. De vil derfor i tildels stor grad bli holdt tilbake i nedbørfeltene eller i innsjøenes sedimenter etter avsetning eller utslipp. Nasjonale kartlegginger av metallinnhold i landmoser har vist at enkelte metaller har et betydelig bidrag av atmosfæriske forurensninger fra kilder utenfor landets grenser, men det er også vist at enkelte innenlandske kilder kan ha betydelige luftutslipp av metaller (Berg og Steinnes 1997). Virksomheter som har stor betydning for direkte utslipp av metaller i nedbørfeltene er gruveindustri, metallurgisk industri, kjemisk industri, søppleplasser, jordbruk, samt endel aktiviteter knyttet til urbane områder (Alloway og Ayres 1993). I tabell 1 er en generell oversikt gitt over de elementene som opptrer som forurensninger knyttet til disse ovennevnte kildene.

Tabell 1. Hovedkildene av forurensninger for de ulike metallene til innsjøene basert på kunnskap om atmosfæriske avsetninger i Norge (Berg og Steinnes 1997) og generelle erfaringer når det gjelder punktutslipp fra ulike virksomheter i nedbørfelter (Alloway og Ayres 1993, Harrison 1993).

Forurensningskilde	Forurensninger	Kommentarer
Langtransport	Pb, As, Cd, Hg, V, Sb og Cu	indirekte kilder: blytilsetning i bensin, forbrenning av fossile brensel og søppel
Lokale luftutslipp	Cu, Ni, Hg, Co, Be	ulike typer smelteverk og prosessindustri
Gruveindustri	Cu, Zn, Cd, Pb, As, Ni	fra gruver, tipper og oppredning
Metallurgisk industri	As, Cd, Cr, Cu, Ni, Pb, Sb, Zn	i avløpsvann etter rensing og utslipp ofte i syreløsning
Urbane områder	Pb, V, Cu, Zn, Cd, Hg	olje/bensin, veislitasje, industri og kloakk
Søppelplasser	Cu, Pb, Cd, Cr, Hg, V, Zn	rester etter søppelforbrenning, sigevann, kloakkslam, etc
Jordbruk	As, Cd, Zn, Cu, Pb, Se	pestisider, husdyr- og kunst-gjødsel,

Lokale utslipp til luft har ført til forhøyde verdier i omgivelsene. I henhold til Berg og Steinnes (1997) peker følgende industristeder og tilhørende metaller seg ut: Årdal (Be, Ni, As og Sb); Odda (Hg, Cd, Pb og Zn); Rana (Cr), Kristiansand (Ni, Cu). Vi ser også at det er mange av de samme metallene som både avsettes via atmosfæren og som er aktuelle som punktkilder i nedbørfeltene. Det er derfor ikke alltid like lett å skille mellom bidragene fra de ulike kildene så fremt det ikke er en enkelt kilde som dominerer.

Metallene finnes naturlig i jord og berggrunn, slik at geologien er med på å bestemme de naturlige variasjonene i bakgrunnskonsentrasjonene. Det kan være tildels betydelige regionale variasjoner i naturlige metallkonsentrasjoner (Ottesen et al 1989). Enkelte metaller er ofte anriktet i mineralganger. Slike mineralganger kalles hydrotermalganger, og er mange steder drivverdige malmleier. Ved diskusjon av naturlige metallkonsentrasjoner har det vist seg praktisk å benytte noen beskrivende uttrykk av bergarter slik som felsiske-, mafiske- og ultramafiske størkningsbergarter. Størkningsbergart

er en samle-betegnelse for dyp-, dag- og gangbergarter. Dette er imidlertid upresise begreper som bygger på bergartenes innhold av lyse og mørke mineraler (Tabell 2). Felsiske bergarter består vesentlig av de lyse mineralene kvarts, feltspat, feltspatoider, korund og moskovitt, mens mafiske og ultramafiske bergarter består vesentlig av mørke Fe-Mg mineraler (Gjelle og Sigmond 1994). Bergartene klassifiseres i størkningsbergarter, sedimenter og sedimentære bergarter og metamorfe (omdannede) bergarter. Metamorfosen (økt trykk og temperatur) kan forgå uten forandring i bergartens totaljemi, men som regel vil noen endringer finne sted. (Salomons og Förstner 1984)

Tabell 2. Oversikt over bergartsbetegnelser, og eksempler på bergarter som faller inn under betegnelse, samt kommentarer til mineralsammensetningen.

Betegnelse	Bergarter	Kommentarer
Felsisk	kvartsrike granittiske bergarter, ryolitt	størkningsbergarter som består av lyse mineraler som kvarts, feltspat, feltspatoider, korund og moskovitt
Mafisk	gabbro, diabas, basalt	størkningsbergarter som består vesentlig av mørke Fe og Mg mineraler (pyroksen, olivin)
Ultramafisk	peridotitter, pyroksenitter, hornblenditter	svært mørke dypbergarter som består vesentlig av Fe og Mg mineraler slik som olivin, pyroksen og hornblende.

4. Resultater

4.1 Forurensningsgraden av de enkelte elementene

De aller fleste metallene forekommer som kationer i den vannløselige fasen, men enkelte slik som As, Se og Cr (III, IV) forekommer som oksy-anioner. Dette forholdet sammen med andre fysisk/kjemiske egenskaper gjør at fastleggingen i sedimentet kan være noe variabel for de ulike elementene. Alle tilstandsformene for de ulike metallene er avhengig av pH og redoks potensialet (relatert til oksygen konsentrasjonen) i større eller mindre grad. Dette påvirker også elementenes mobilitet og sjanse for å bli bundet permanent i sedimentet. For eksempel kan en forsurening av innsjøen føre til redusert sedimentasjon og en utlekking av Cd, Ni og Zn fra sedimentet, mens dette har svært liten betydning for elementer som Hg og Pb. Videre vil en anaerob sedimentoverflate føre til utløsning av spesielt redoksfølsomme elementer som Fe og Mn fra sedimentoverflaten, men også av metaller som forekommer i langt lavere konsentrasjoner slik som As, Cr og Se. Generelt er konsentrasjoner av kompleksdannere som organisk materiale, leirpartikler og Fe-Mn oksider svært avgjørende for metallenes skjebne i vann og sedimenter. Kontamineringsfaktor og forurensningsgrader av sedimenter må ses i lys av disse ovennevnte forhold.

Vi har derfor i de følgende avsnittene valgt å presentere hvert element for seg med oversikter over naturlig forekomst, viktige egenskaper, forurensningskilder samt resultatene fra sedimentundersøkelsen. Innsjøene er inndelt i grupper ut fra antatt viktigste forurensningskilder:

- Gr. 1 = Langtransporterte atmosfæriske avsetninger.
- Gr. 2 = Langtransporterte atmosfæriske avsetninger med nærliggende lokale luftutslipp.
- Gr. 3 = Tettsted med småindustri i nedbørfeltet.
- Gr. 4 = Spesiell industri i nedbørfeltet.
- Gr. 5 = Gruver, gruvetipper eller oppredningsverk i nedbørfeltet.

Mye av bakgrunnsinformasjonen er hentet fra følgende referanser: Salomons and Förstner 1984, Kabata-Pendias and Pendias 1984, Brincker and Jones 1995, Hamilton-Taylor and Davison 1995).

4.1.1 Arsen (As)

Naturlig forekomst

- As er ofte anriktet i sulfid-mineraler i størkningsbergarter og i jernårer. Geokjemikere bruker As som en god indikasjon på forekomst av andre metaller. Ved slike tilfelle kan konsentrasjonene være 50 til 500 ganger høyere enn normalt i sedimenter.
- Forøvrig er konsentrasjonene i de fleste bergarter ofte innenfor intervallet 0.5 - 2.5 µg/g, men de kan være betydelig høyere (10 -30 µg/g) i sedimentære bergarter (slamstein og leirstein). I snitt varierte konsentrasjonene i overflatelaget av jord fra 5.9 på Sørlandet til 1.1 µg/g i Nord-Norge vesentlig på grunn av antropogene atmosfæriske avsetninger (Steinnes et al. 1997).
- Monometyl-arsenat og dimetyl-arsenat kan dannes i innsjøene øvre vannmasser (epilimnion).

Viktige egenskaper

- As er et ikke essensielt element og toksisk for levende organismer.
- As er redoks-sensitivt og forekommer oftest som arsenitt ($\text{As}(\text{OH})_3$, H_3AsO_3) i reduktivt miljø, sjeldnere som utfelte sulfider (As_2S_3 , eller et Fe-As sulfid), og som arsenat (H_2AsO_4^- og HAsO_4^{2-}) i oksidativt miljø. Redoks-reaksjonene er imidlertid trege og de er oftest ikke i likevekt.
- Mobiliteten er sterkt avhengig av kompleksdannere som Fe/Mn-oksider og organisk materiale.
- Lite løselige Fe/Al -As forbindelser er vanlig i svakt sure oksidative sedimenter, mens den mer løselige formen Ca-arsenat opptrer i oksidativt basisk miljø.
- As metyleres av bakterier i jord, vann og sedimenter.

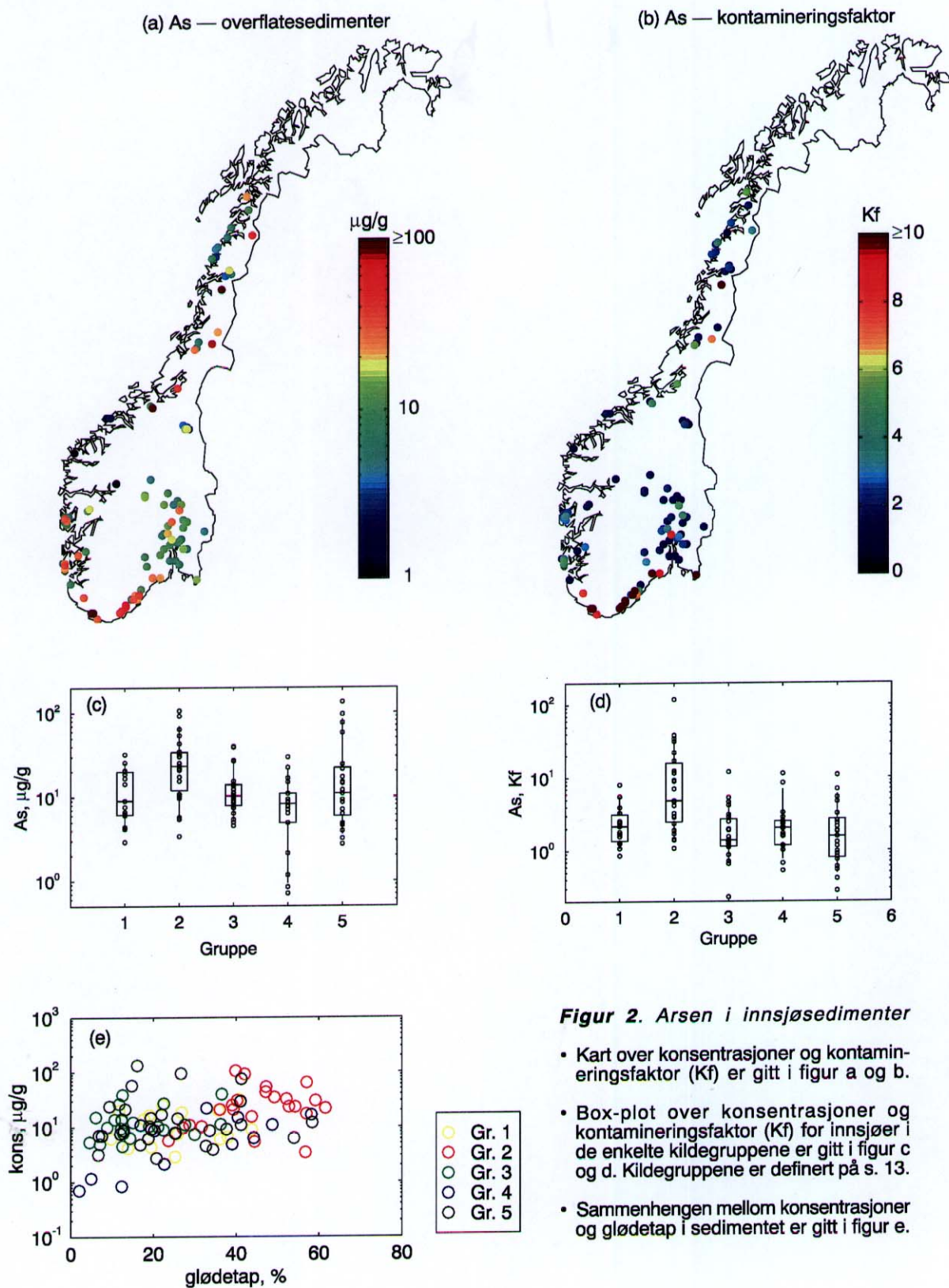
Forurensningskilder

Luft	Vann og jord
<ul style="list-style-type: none"> • Pestiside aerosoler (75% av tot. antropogen As bruk) • partikler/aerosoler fra metallurisk- og smelteverks-industri. • forbrenning av fossile brensel. 	<ul style="list-style-type: none"> • sprøytemiddler (Na-As forbindelser) • ammunisjon (i legeringer med Pb og Cu) • treimpregnering • gruvetipper (spes. S og P holdige mineraler) • legeringer

Resultater fra sedimentundersøkelsen

Konsentrasjoner, kontamineringsfaktorer, samt samvariasjonen med organisk materiale er gitt i figur 2. Forurensningsgraden var størst for innsjøer i Gr. 2. Kontamineringsfaktoren (K_f) var større enn 10 for mange av innsjøene beliggende i området fra Grenland og ned til Lista. Spesielt høge verdier ble registrert i Vesvatn (118) ved Kristiansand, i Austlandsvatn (38), Fjellsvatn (34), og Mårvatn (22) ved Grimstad-Arendal området samt Ulgjellvatn (31) og Laulandsvatn (17) ved Lista. Alle disse innsjøene har atmosfæriske avsetninger av langtransporterte forurensninger og lokale luftutslipp som hovedkilder. Markerte påslag hadde også Kornsjø i Østfold (Gr.4) som er påvirket av utslipp fra et nedlagt garveri, og L. Bleiklivatn (Gr.5) som er preget av avgang fra gruvevirksomhet.

Med unntak av gruveinnsjøene (Gr.5) var konsentrasjonene i overflatesedimentet positivt assosiert til glødetapet. Høge verdiene ble registrert i gruvesjøer som L. Bleiklivatn (134), Bjørnlivatn (95) og Skorovatn (75), men på grunn av høyere geokjemiske konsentrasjoner i referanse sedimentene enn normalt ble K_f -verdiene lavere enn for innsjøene på Sørlandskysten. Det er imidlertid verd å merke seg at konsentrasjonene i Sørlands-innsjøene (43-106 µg/g) ikke var vesentlig lavere enn de som ble målt i gruveinnsjøene. Sedimentets organiske innholdet var imidlertid generelt høgt i disse sjøene og dette kan være en medvirkende faktor til de høge konsentrasjonene.



Figur 2. Arsen i innsjøsedimenter

- Kart over konsentrasjoner og kontamineringsfaktor (Kf) er gitt i figur a og b.
- Box-plot over konsentrasjoner og kontamineringsfaktor (Kf) for innsjøer i de enkelte kildegruppene er gitt i figur c og d. Kildegruppene er definert på s. 13.
- Sammenhengen mellom konsentrasjoner og glødetap i sedimentet er gitt i figur e.

4.1.2 Beryllium (Be)

Naturlig forekomst

- Be forekommer i høgest konsentrasjoner (2-10 µg/g) i felsiske størkningsbergarter og sedimentære bergarter som leirstein og siltstein, samt deres metamorfe ekvivalenter. Laveste konsentrasjoner (0.3-1 µg/g) observeres i mafiske størkningsbergarter og i sandstein.
- Konsentrasjoner opp mot 50 µg/g er rapportert fra jord nær smelteværk og kullfyrte kraftverk.

Viktige egenskaper

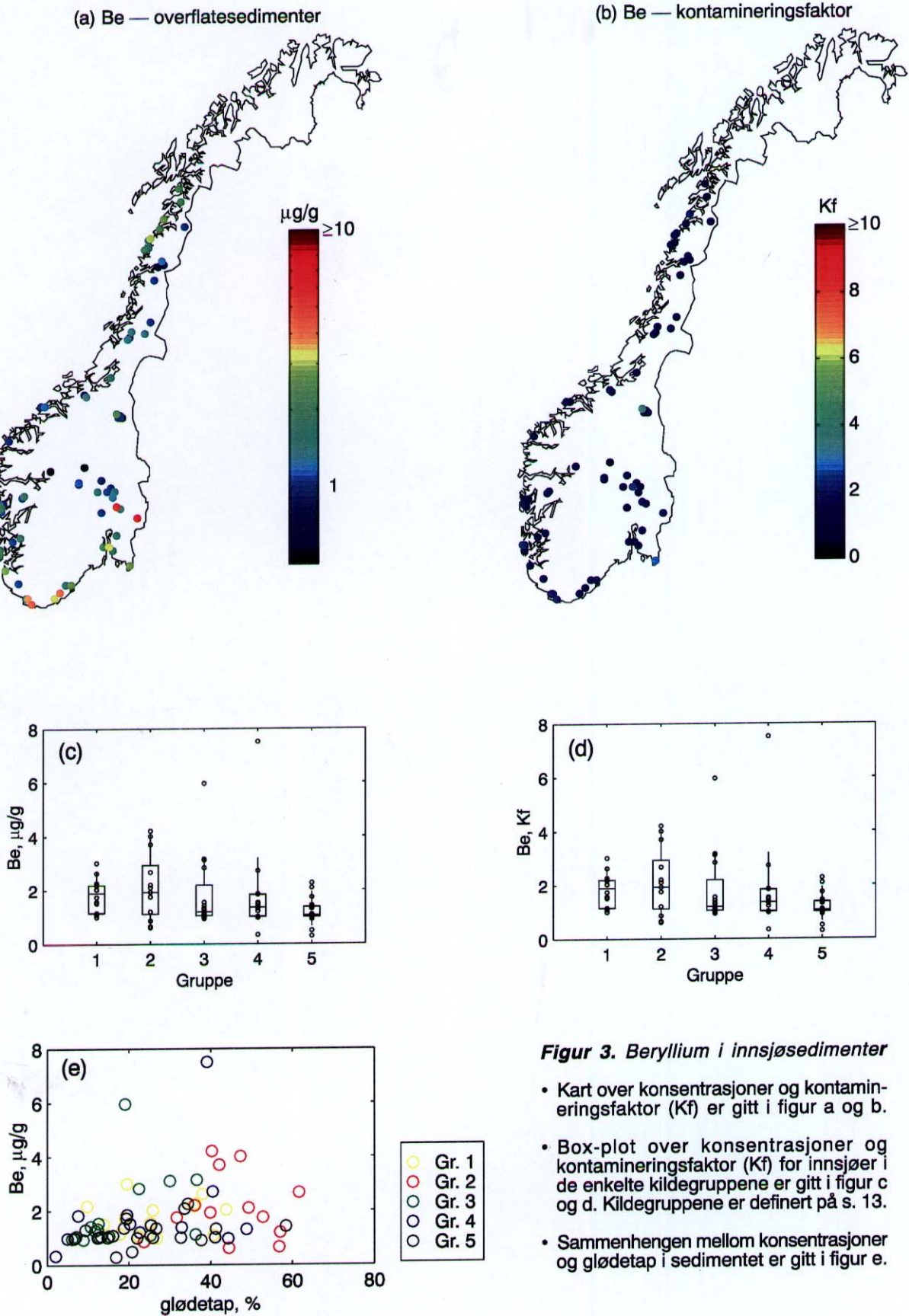
- Be er et toksisk element som forekommer oftest som Be^{2+} i sure til nøytrale omgivelser og $\text{Be}(\text{OH})\text{CO}_3^-$ eller $\text{Be}(\text{CO}_3)_2^-$ i basisk miljø.
- Be bindes sterkt til organisk materiale og er derfor anrikt i organiske sedimenter og sedimentære kullholdige bergarter. Det kan også erstatte Al i aluminium-silikater og derfor anrikes i leire.
- Be er generelt relativt immobilt i jord, men enkelte salter slik som BeCl_2 og BeSO_4 rapporteres å være relativt løselige.
- Løseligheten er pH-avhengig. Konsentrasjonene er generelt høyere i surt vann.

Forurensningskilder

Luft	Vann og jord
<ul style="list-style-type: none"> • partikler/aerosoler fra smelteverks-industri. • partikler og aerosoler fra forbrenning av fossile brensel, spesielt i kullfyrte kraftverk. 	<ul style="list-style-type: none"> • legeringsindustri. • gruvetipper.

Resultater fra sedimentundersøkelsen

Konsentrasjoner, kontamineringsfaktorer, samt samvariasjonen med organisk materiale er gitt i figur 3. Forurensningsgraden var størst for Gr. 2-innsjøene, men forurensningsgraden var generelt liten (lave K_f -verdier). Mest påvirket var Orvsjøen på Røros, Kornsjø i Østfold og Mjøsa ved Gjøvik (K_f 3,9-2,1). Orvsjøen er påvirket av gruveavgang, Kornsjø av garverivirksomhet, mens kildene på Gjøvik er ukjente. Påslagene i konsentrasjoner var imidlertid beskjedne, selv om innsjøer i alle kategorier hadde et lite påslag (K_f 1-2). Konsentrasjonene varierte hovedsakelig mellom 0.8 og 2 µg/g og de var svakt positivt assosiert til glødetapet. Basert på klassifikasjon av forurensningsgraden var våre innsjøsedimenter lite forurenset av Be.



Figur 3. Beryllium i innsjøsedimenter

- Kart over konsentrasjoner og kontamineringsfaktor (Kf) er gitt i figur a og b.
- Box-plot over konsentrasjoner og kontamineringsfaktor (Kf) for innsjøer i de enkelte kildegruppene er gitt i figur c og d. Kildegruppene er definert på s. 13.
- Sammenhengen mellom konsentrasjoner og glødetap i sedimentet er gitt i figur e.

4.1.3 Kadmium (Cd)

Naturlig forekomst

- Cd-innholdet i størkningsbergarter er lavt (0.01-0.9 µg/g), men anrikes i sedimentære bergarter som silt- og leirstein og deres metamorfe ekvivalenter (0.02-11 µg/g). Spesielt høge konsentrasjoner finnes i alunskifer og andre kullholdige bergarter, samt sulfidholdige årer (1-300 µg/g)
- I snitt varierte konsentrasjonene i overflatelaget av jord fra 1.4 på Sørlandet til 0.18 µg/g i Nord-Norge vesentlig på grunn av antropogene atmosfæriske avsetninger (Steinnes et al. 1997).
- Cd fremstilles i hovedsak som et biprodukt ved smelting og oppredning av Zn

Viktige egenskaper

- Cd sammen med Pb og Hg er de tungmetallene som vies størst øµg/gerksomhet internasjonalt. Alle er toksiske ikke essensielle elementer som skaper alvorlige miljøproblemer i enkelte områder.
- Cd er ikke direkte redoks-sensitivt, men indirekte ved at Cd adsorbert til Fe/Mn oksider løses i reduktivt miljø når oksidene løses.
- Mobiliteten er sterkt pH avhengig. Ved synkende pH-verdier øker andelen løst Cd²⁺ av total-Cd. I basisk miljø er Cd i hovedsak lite mobilt og kan forekomme som CdCO₃ og Cd₃(PO₄)₂.
- Cd i sedimenter er nært assosiert til organisk materiale og Fe/Mn oksider. Adsorpsjon til disse forbindelsene kan redusere mobiliteten av Cd betydelig i sedimenter og jord.

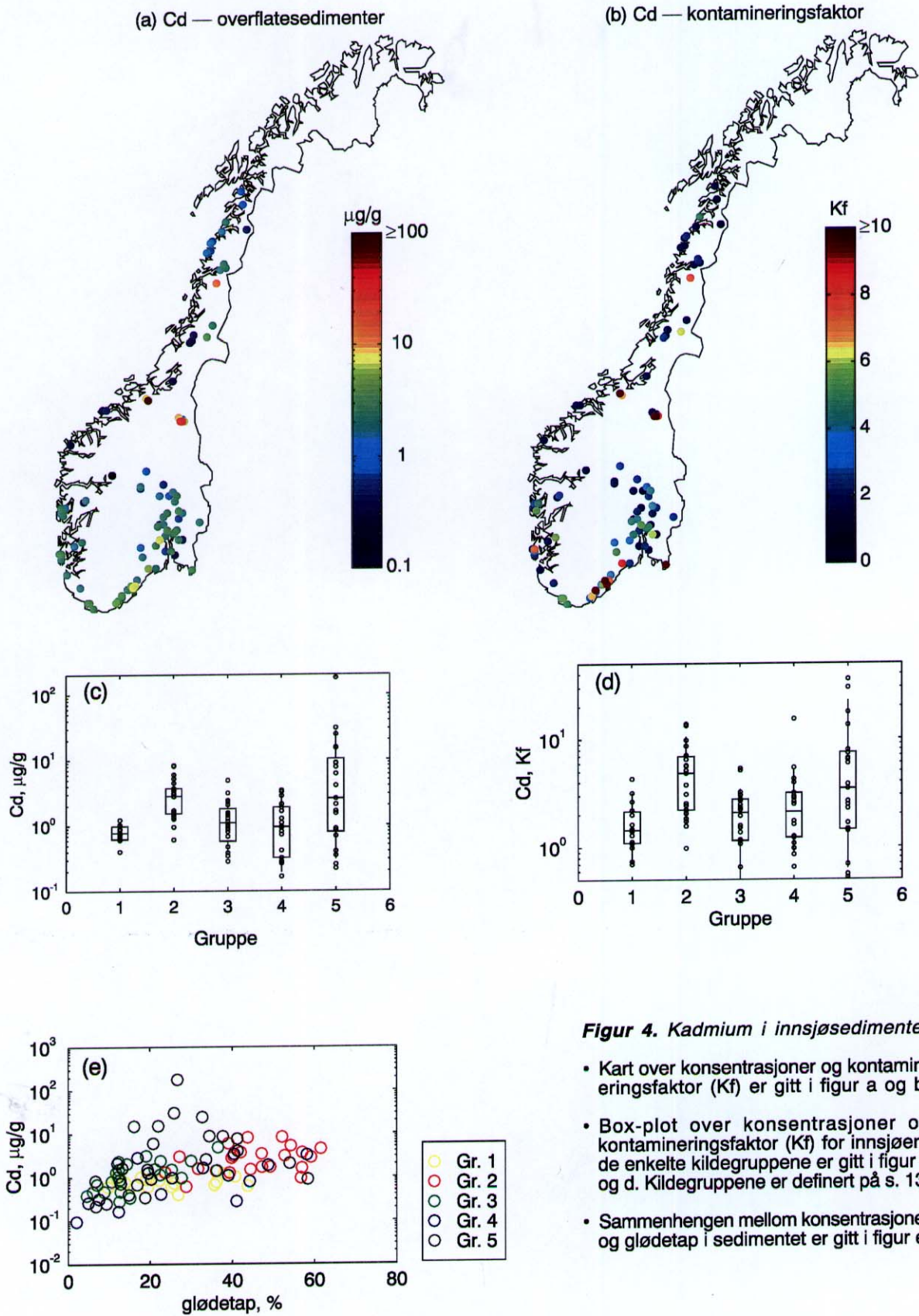
Forurensningskilder

Luft	Vann og jord
<ul style="list-style-type: none"> • partikler/aerosoler fra metallurisk industri og smelteverks-industri. • forbrenning av fossile brensel og søppel (spesielt plast og malingsrester). 	<ul style="list-style-type: none"> • fosforholdig kunstgjødsel og kloakkslam. • stabilisatorer i plast. • gruvetipper og miner. • legeringer, galvaniseringer, batterier, maling.

Resultater fra sedimentundersøkelsen

Konsentrasjoner, kontamineringsfaktorer, samt samvariasjonen med organisk materiale er gitt i figur 4. Det var Gr. 5 (gruvesjøene) og i Gr. 2 (innsjøer påvirket av langtransport og lokale utslipp) som hadde de høyeste kontamineringsfaktorene. De gruvepåvirkede innsjøene i Rørostraktene og ved Løkken verk, samt innsjøene langs Sørlandskysten pekte seg ut. Kornsjø i Østfold som er påvirket av utslipp fra et nedlagt garveri, var også sterkt forurenset. Vi ser også at innsjøer nær aluminiumsverkene i Sauda (Rødstjernet), i Haugesund (Tudstadvatn) og det nedlagte verket i Arendal (Ullsryggstjern) hadde markerte påslag av kadmium i de øverste sedimentlagene.

Konsentrasjonene i overflatesedimentet var klart størst i enkelte av gruveinnsjøene med konsentrasjoner i området 7 til 30 µg/g, mens Bjørnliovatn ved Løkken gruver (179 µg/g) var i en klasse for seg. Gruvesjøene ligger imidlertid i områder der berggrunnen og referanse-sedimentene har høyere konsentrasjoner av Cd enn normalt. Derfor er det slik at høge konsentrasjoner ikke nødvendigvis fører til svært høge K_f verdier for denne gruppen innsjøer. For de andre innsjøene varierte konsentrasjonene mellom 0.1 og 4 µg/g. Det er verd å merke seg at forurensningsgraden i enkelte innsjøer på Sørlandskysten var relativt stor. Dette kan ha flere årsaker, men det er naturlig å nevne høge avsetninger fra luft (lokale og fjerntliggende kilder), utløsning fra forsurede nedbørfelter og enkelte steder utfelling på grunn av kalking. Med unntak av gruveinnsjøene, så var Cd positivt assosiert til glødetapet. Det høge innholdet av organisk materiale i sedimentene i Sørlands-sjøene er antagelig en medvirkende faktor for den høge forurensningsgraden. Størstedelen av innsjøene hadde en kontamineringsfaktor mellom 1 og 3 tilsvarende liten til moderat forurensningsgrad.



Figur 4. Kadmium i innsjøsedimenter

- Kart over konsentrasjoner og kontamineringsfaktor (Kf) er gitt i figur a og b.
- Box-plot over konsentrasjoner og kontamineringsfaktor (Kf) for innsjøer i de enkelte kildegruppene er gitt i figur c og d. Kildegruppene er definert på s. 13.
- Sammenhengen mellom konsentrasjoner og glødetap i sedimentet er gitt i figur e.

4.1.4 Kobolt (Co)

Naturlig forekomst

- Co-innholdet i ultramafiske størkningsbergarter (består vesentlig av mørke Fe/Mn rike mineraler) er høyt (100-250 µg/g), mens det er betydelig lavere i felsiske og sedimentære bergarter (0.1-20 µg/g)
- Co finnes ofte sammen med Fe-holdige mineraler og dets geokjemiske syklus har mye til felles med Fe og Mn.
- I sedimenter observeres ofte en god samvariasjon mellom konsentrasjonene av Co og Mn

Viktige egenskaper

- Co er et essensielt element bl.a. for mennesket (dannelse av vitamin B₁₂), men virker toksisk i høye konsentrasjoner.
- Co er ikke direkte redoks-sensitivt, men indirekte ved at Co er adsorbert til Fe/Mn oksider som løses i reduktivt miljø.
- Mobiliteten er pH-avhengig. Ved synkende pH-verdier øker andelen løst Co²⁺ av total-Co. I sterkt oksidativt miljø kan Co³⁺ forekomme.
- Co i sedimenter er nært assosiert til Al-, Fe- og Mn-oksider. Adsorpsjon til disse forbindelsene kan redusere mobiliteten av Co betydelig i sedimenter og jord.

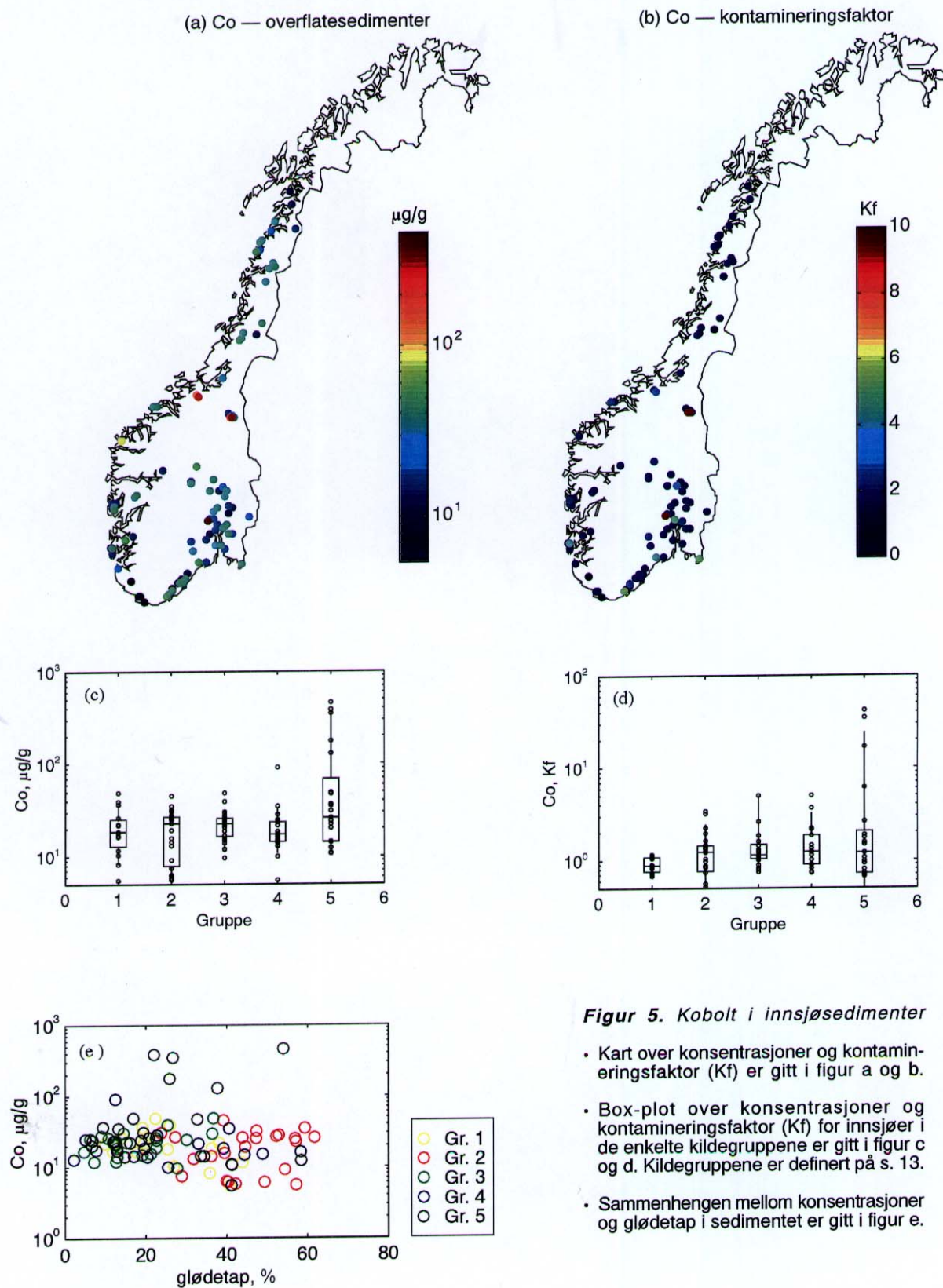
Forurensningskilder

Luft	Vann og jord
<ul style="list-style-type: none"> • partikler/aerosoler fra metallurisk industri og smelteverks-industri. • forbrenning av søppel. 	<ul style="list-style-type: none"> • gruvetipper og miner • legeringer, galvaniseringer • garveri-virksomhet

Resultater fra sedimentundersøkelsen

Konsentrasjoner, kontamineringsfaktorer, samt samvariasjonen med organisk materiale er gitt i figur 5. Forurensningsgraden var størst for Gr. 5 (gruvesjøene), men også enkelte innsjøer fra Gr. 2, 3 og 4 hadde klare påslag. De høyeste K_f-verdiene (20-40) ble observert i Djupsjøen og Hittersjøen ved Røros, samt i Åsterudtjernet på Ringerike som alle er gruvepåvirket. Markerte påslag (K_f 3-10) ble imidlertid også observert i innsjøer der det antropogene bidraget i hovedsak har vært atmosfæriske avsetninger fra lokale kilder. I denne sammenhengen kan vi nevne Tudstadvatn ved Haugesund, Vollevatn ved Kristiansand og Østernvatn ved Oslo. Det sistnevnte vannet kan i tillegg være påvirket av et skyteanlegg. Sedimentene i Kornsjø, som er påvirket av et nedlagt garveri, var også tydelig forurenset av kobolt. I de andre innsjøene var forurensningsgraden liten til moderat.

Konsentrasjonene var klart høgest i de nevnte gruvesjøene (380 til 460 µg/g), mens de forøvrig varierte i intervallet 8 til 80 µg/g. Med unntak av gruvesjøene var det generelt en negativ assosiasjon mellom konsentrasjonene av Co og organisk materiale (untatt gruvesjøene). Dette indikerer at Co i hovedsak er knyttet til den minerogene delen av sedimentet og derfor er mest preget av den lokale geokjemien. Forurensningsgraden i våre innsjøer var generelt liten til moderat, med unntak av de nevnte gruvesjøene.



Figur 5. Kobolt i innsjøsedimenter

- Kart over konsentrasjoner og kontamineringsfaktor (Kf) er gitt i figur a og b.
- Box-plot over konsentrasjoner og kontamineringsfaktor (Kf) for innsjøer i de enkelte kildegruppene er gitt i figur c og d. Kildegruppene er definert på s. 13.
- Sammenhengen mellom konsentrasjoner og glødetap i sedimentet er gitt i figur e.

4.1.5 Krom (Cr)

Naturlig forekomst

- Cr-innholdet i felsiske størkningsbergarter er lavt (4-25 µg/g), men Cr anrikes i mafiske og ultramafiske bergarter (100-1000 µg/g). I sedimentære bergarter som silt- og leirstein og deres metamorfe ekvivalenter er konsentrasjonene høyere (60 -120 µg/g) enn i sand og kalksteiner (5-40 µg/g).
- Kromitt (FeCr_2O_4) er det vanligste mineralet, men Cr finnes også som erstatter for Al og Fe i andre mineraler

Viktige egenskaper

- Cr er et essensielt element (karbohydratmetabolismen hos dyr), men er toksisk i høyere konsentrasjoner.
- Cr er direkte redoks-sensitivt der Cr^{3+} er vanligst i oksygenfattig miljø og Cr^{6+} i oksygenrikt.
- Cr^{3+} er vanligst i jord og sedimenter og forekommer mest i mineral strukturer ofte assosiert til Fe oksider.
- Mobiliteten er svakt pH-avhengig og elementet er bare svakt mobilt i svært sure miljø. Vanligvis er derfor Cr svært stabilt i jord og sedimenter. I basiske miljø er spesielt kromat (CrO_4^{2-}) lett mobiliserbart. Generelt er imidlertid mobiliteten svært liten for Cr, og planter har ofte krom-mangel.

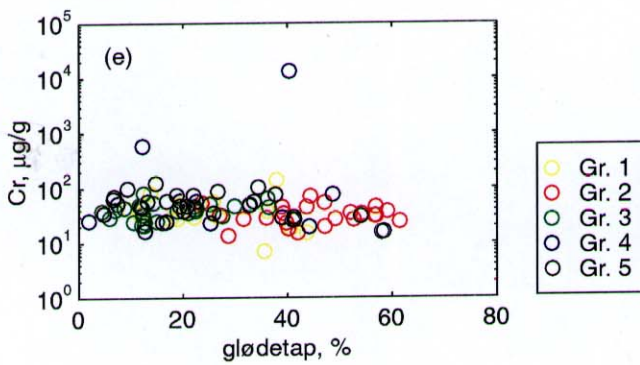
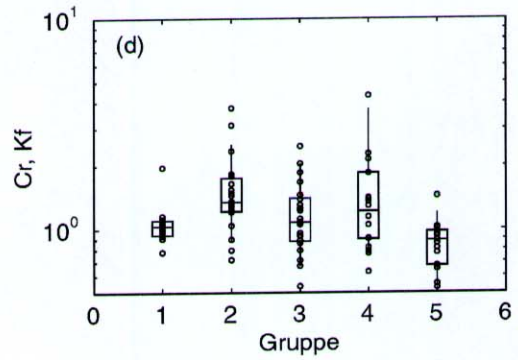
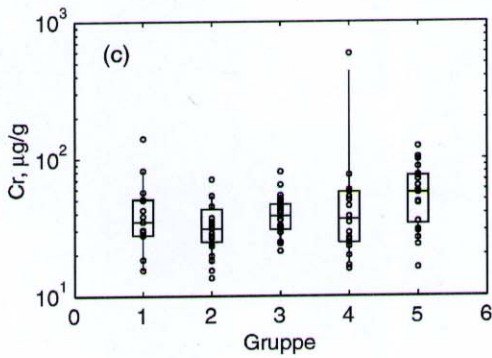
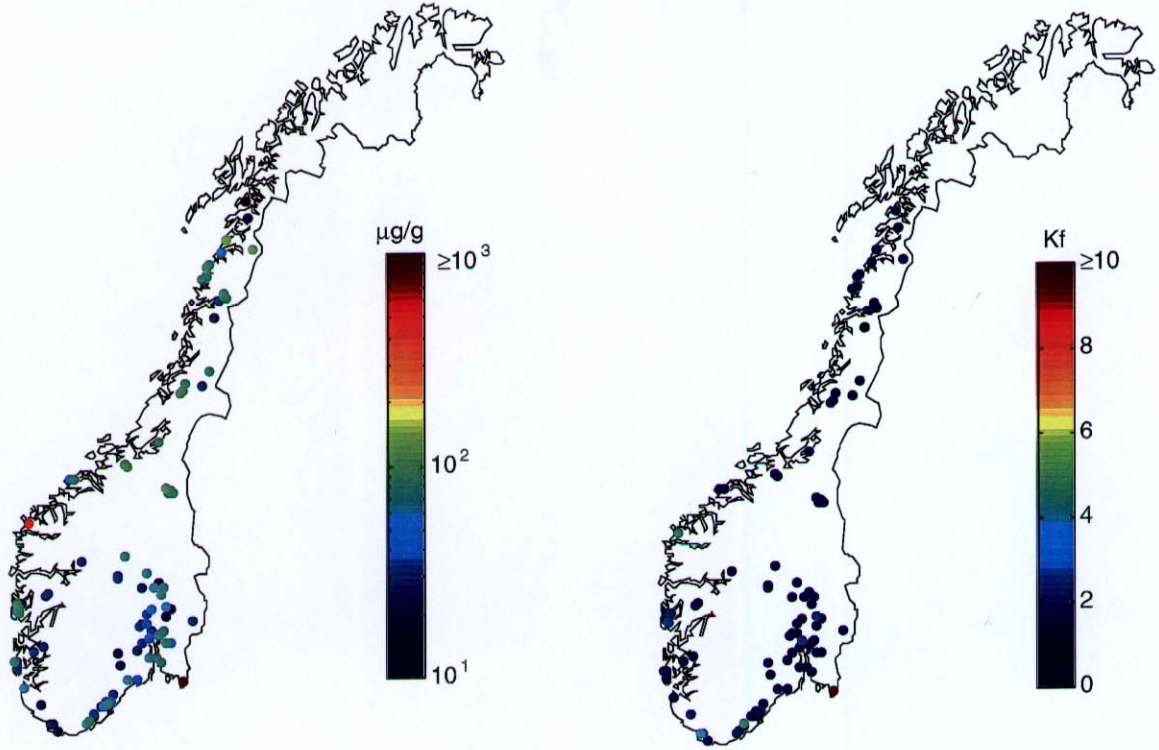
Forurensningskilder

Luft	Vann og jord
<ul style="list-style-type: none"> • partikler/aerosoler fra stålindustri og smelteverks-industri. • forbrenning av ulike typer brensel og søppel. 	<ul style="list-style-type: none"> • rustfritt stål og sement. • impregnering av trevirke. • gruvetipper og miner. • garverier, legeringer, galvaniseringer, maling.

Resultater fra sedimentundersøkelsen

Konsentrasjoner, kontamineringsfaktorer, samt samvariasjonen med organisk materiale er gitt i figur 6. Kornsjø i Østfold (Gr. 4) skilte seg klart ut som den mest forurensede innsjøen (K_f 246), mens ingen av de andre innsjøene var sterkt forurensset. Austlandsvatn ved Lillesand (K_f 3.7) og Ulgjelvatn på Lista (K_f 3.1) var moderat forurensset, mens de øvrige innsjøene inklusive gruveinnsjøene var lite forurensset. I Kornsjø var inneholdt sedimentet 1.3 % Cr. Det er utslipp fra et tidligere garveri som er årsaken til dette, og sedimentene må betraktes som meget sterkt forurensset. Gusdalvatnet på Sunnmøre, som forurenses av et olivinbrudd, hadde også høye verdier (585 µg/g). Forøvrig varierte konsentrasjonene innenfor intervallet 10 til 100 µg/g. Konsentrasjonene av Cr var negativt assosiert til glødetapet. Dette indikerer en nær assosiasjon til den minerogene delen av sedimentet og at geokjemien er viktig for de variasjoner som observeres. Hoveddelen av innsjøene var lite til moderat forurensset.

(a) Cr — overflatesedimenter



Figur 6. Krom i innsjøsedimenter

- Kart over konsentrasjoner og kontamineringsfaktor (Kf) er gitt i figur a og b.
- Box-plot over konsentrasjoner og kontamineringsfaktor (Kf) for innsjøer i de enkelte kildegruppene er gitt i figur c og d. Kildegruppene er definert på s. 13.
- Sammenhengen mellom konsentrasjoner og glødetap i sedimentet er gitt i figur e.

4.1.6 Kobber (Cu)

Naturlig forekomst

- Cu-innholdet er høgere i mafiske størkningsbergarter (30-160 µg/g) enn i felsiske bergarter (4-30 µg/g). Cu er noe anriket i siltstein, leirstein, organiske sedimenter samt deres metamorfe ekvivalenter (40-200 µg/g), mens konsentrasjonene er lavere i sandstein og kalkstein (2-30 µg/g)
- I snitt varierte konsentrasjonene i overflatelaget av jord fra 13.6 på Sørlandet til 8.7 µg/g i Nord-Norge som følge av ulike antropogene atmosfæriske avsetninger og geokjemi (Steinnes et al. 1997).
- Cu er anriket i sulfid årer, ofte sammen med andre metaller (Cd, Zn, Pb).

Viktige egenskaper

- Cu er et essensielt element, men kan virke toksisk overfor akvatiske organismer selv i tildels lave konsentrasjoner.
- Cu er ikke direkte redoks-sensitivt, men indirekte ved at Cu adsorbert til Fe/Mn oksider løses i reduktivt miljø når oksidene løses.
- Mobiliteten er pH avhengig. Ved synkende pH-verdier øker andelen løst Cu²⁺ av total-Cu. I basisk miljø er Cu i hovedsak lite mobilt og kan forekomme som Cu(OH)₂ og CuCO₃.
- Cu i sedimenter og jord er sterkt assosiert til organisk materiale og Fe/Mn-oksider. Adsorpsjon til disse forbindelsene kan redusere mobiliteten av Cu betydelig i sedimenter og jord også i sure miljø.

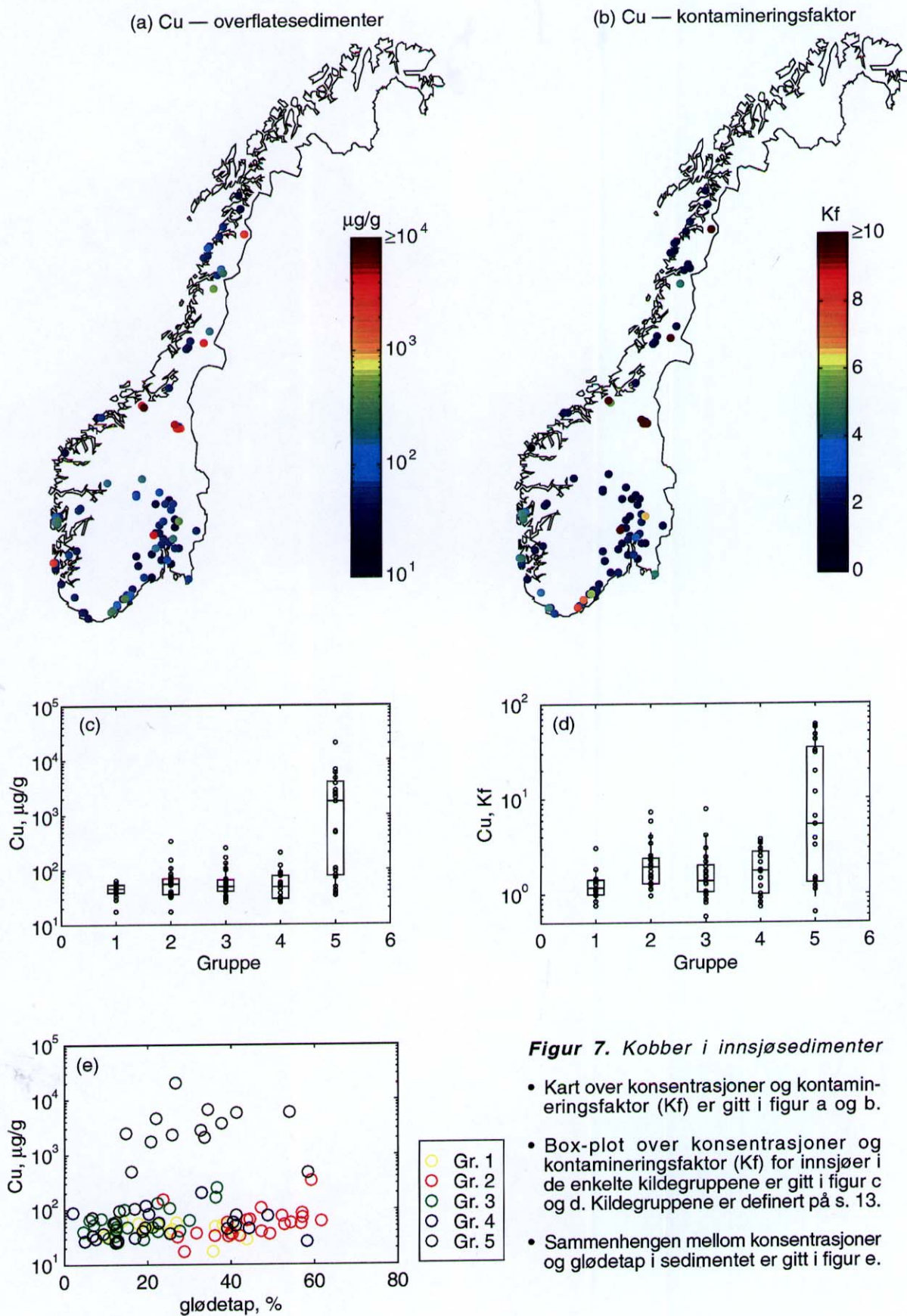
Forurensningskilder

Luft	Vann og jord
<ul style="list-style-type: none"> • partikler/aerosoler fra metallurisk industri og smelteverks-industri. • pesticide aerosoler. • forbrenning av fossile brensel og søppel. 	<ul style="list-style-type: none"> • gjødsel. • korrosjon av messing, kabler, tak og fasader. • gruvetipper og miner. • ammunisjon, deponerte prosjektiler.

Resultater fra sedimentundersøkelsen

Konsentrasjoner, kontamineringsfaktorer, samt samvariasjonen med organisk materiale er gitt i figur 7. Forurensningsgraden var klart størst for Gr. 5 (gruvesjøene), mens den var relativt beskjeden i de andre innsjøene. De høyeste K_F-verdiene (10-60) ble observert i Djupsjøen, Stikkilen, Grunnsjøen, Orvsjøen og Hittersjøen på Røros, Åsterudtjernet på Ringerike, Ringsjøen ved Løkken og St. Skorovatn i Nord-Trøndelag. Kornsjø i Østfold hadde også et klart påslag som følge av den tidligere garverivirksomheten.

Konsentrasjonene i de fleste gruvesjøene var høge og betydelig høgere enn innsjøene i de andre gruppene. Sedimentene i de gruveinnsjøene som skilte seg ut bestod av 0.1-2 % Cu. Enkelte av innsjøene langs Sørlandskysten hadde også relativt høge Cu-verdier, f.eks Mårvatn ved Arendal (335 µg/g) og Vollevatn ved Kristiansand (251 µg/g). Cu var ikke spesielt godt korrelert til organisk materiale. Dette viser at Cu er assosiert til både minerogene og organiske deler i sedimentet. Med unntak av gruveinnsjøene var forurensningsgraden generelt liten til moderat.



Figur 7. Kobber i innsjøsedimenter

- Kart over konsentrasjoner og kontamineringsfaktor (Kf) er gitt i figur a og b.
- Box-plot over konsentrasjoner og kontamineringsfaktor (Kf) for innsjøer i de enkelte kildegruppene er gitt i figur c og d. Kildegruppene er definert på s. 13.
- Sammenhengen mellom konsentrasjoner og glødetap i sedimentet er gitt i figur e.

4.1.7 Kvikksølv (Hg)

Naturlig forekomst

- Hg-innholdet er oftest lavt i størkningsbergarter og sedimentære bergarter som sandstein og kalkstein (0,005–0,03 µg/g). Hg er noe anrikt i siltstein og leirstein, men spesielt i organiske sedimentære lag avsatt i et anaerobt miljø (0,04–0,3 µg/g).
- I snitt varierte konsentrasjonene i overflatelaget av jord fra 0,2 µg/g på sørlige deler av Østlandet og Sørlandet til ca 0,15 µg/g i Nord-Norge (Steinnes og Andersson 1991).
- Hg er anrikt i sulfid-årer, og utvinnes fra HgS.

Viktige egenskaper

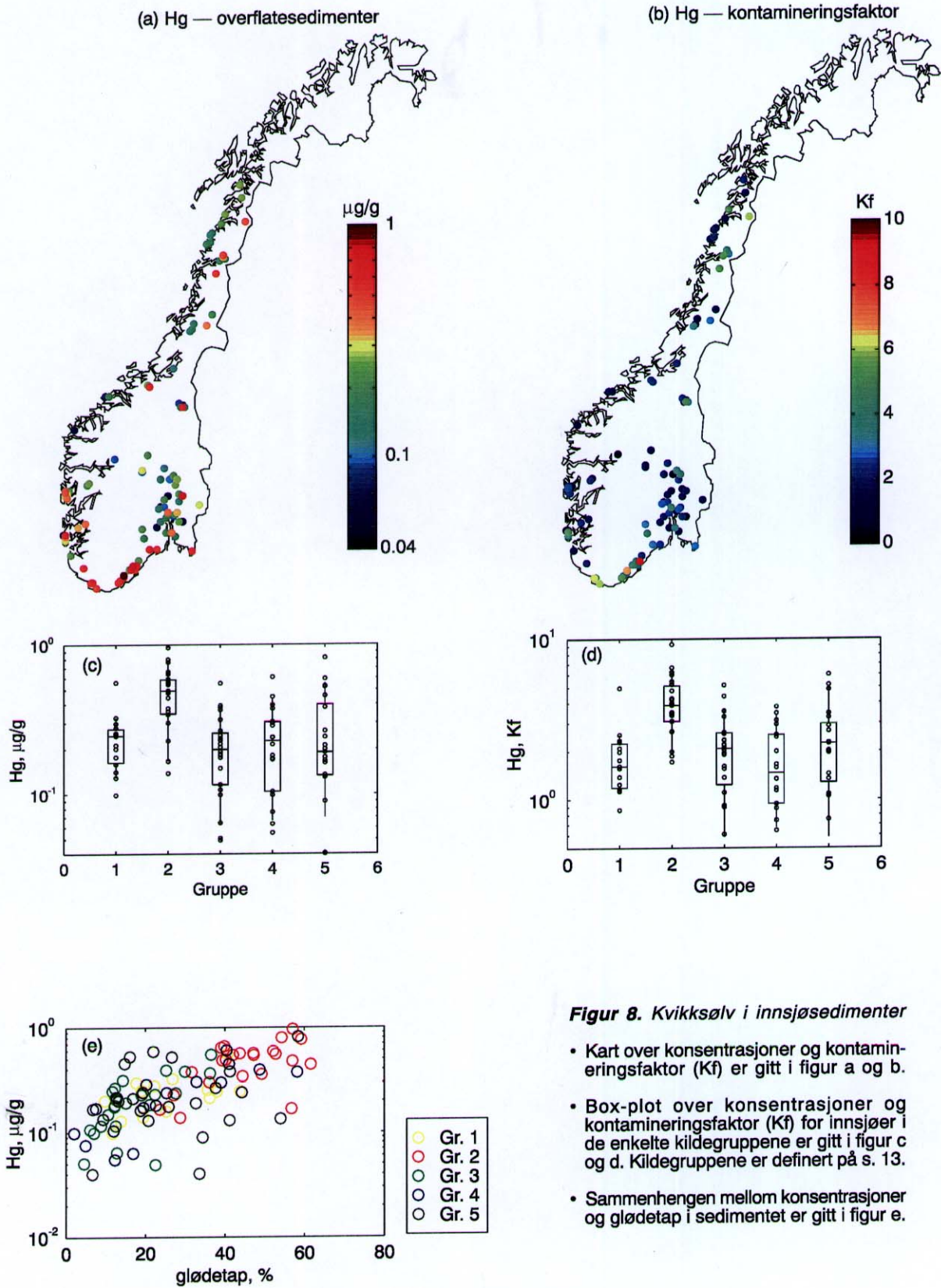
- Hg har en sterk interaksjon med S og Hg-SH-organisk materiale er en vanlig interaksjon i jord og sedimenter.
- Mobiliteten er pH-avhengig. Ved synkende pH-verdier øker bindingsgraden av Hg.
- Hg i sedimenter og jord er nært assosiert til organisk materiale og Fe/Mn oksider.
- Hg metyleres av bakterier i jord og innsjøsedimenter. De metylerte forbindelsene akkumuleres i biota og kan forårsake alvorlige forgiftninger.
- Hg forekommer også som flyktig Hg⁰, og største delen av Hg i atmosfæren forekommer som gass.

Forurensningskilder

Luft	Vann og jord
<ul style="list-style-type: none"> • partikler/aerosoler fra metallurisk industri og smelteverks-industri. • forbrenning av fossile brensel og søppel. • kloralkali-industri (spesielt tidligere) 	<ul style="list-style-type: none"> • termometere og batterier • gruvetipper og miner. • avfall etter tannlege-virksomhet

Resultater fra sedimentundersøkelsen

Konsentrasjoner, kontamineringsfaktorer, samt samvariasjonen med organisk materiale er gitt i figur 8. Det var i hovedsak innsjøer i Gr. 2 (atmosfæriske kilder) som hadde de høyeste forurensningsgradene. I denne gruppen var det først og fremst innsjøene på Sørlandskysten som var de mest forurensete. Noen av gruvesjøene (Bjørnlivatn, Djupsjøen og Bleiklivatn) var også markert forurenset, samt Holsjøen (nedlagt gullverk) og Kornsjø (garveri). Austlandsvatn ved Grimstad hadde den høyeste konsentrasjonen (0,96 µg/g). Dette er blant de høyeste som er registrert i innsjøsedimenter i Norge hvor kildene til innsjøen kun er atmosfæriske. Med unntak av gruvesjøene var det generelt en positiv assosiasjon mellom Hg og organisk materiale. Dette viser at innsjøer med et høgt innhold av organisk materiale i sedimentet også har gode forutsetninger for å akkumulere Hg hvis de ligger i områder med markerte atmosfæriske avsetninger. Konsentrasjonene varierte i intervallet 0,05 til 0,8 µg/g.



Figur 8. Kvikksølv i innsjøsedimenter

- Kart over konsentrasjoner og kontamineringsfaktor (Kf) er gitt i figur a og b.
- Box-plot over konsentrasjoner og kontamineringsfaktor (Kf) for innsjøer i de enkelte kildegruppene er gitt i figur c og d. Kildegruppene er definert på s. 13.
- Sammenhengen mellom konsentrasjoner og glødetap i sedimentet er gitt i figur e.

4.1.8 Nikkel (Ni)

Naturlig forekomst

- Ni-innholdet er høyere i mafiske bergarter (30-160 µg/g) enn i felsiske bergarter (5-15 µg/g). Ni er noe anrikt i siltstein, leirstein, organiske sedimenter samt deres metamorfe ekvivalenter (40-90 µg/g), mens konsentrasjonene er lavere i sandstein og kalkstein (2-15 µg/g). Spesielt høge kan konsentrasjonene av Ni være i ultramafiske bergarter og i organiske skifre (1400-2000 µg/g).
- Ni kan erstatte Fe i Fe/Mg-holdige bergarter.
- Ni er anrikt i sulfid-årer, ofte sammen med andre metaller (As, Cd, Zn)

Viktige egenskaper

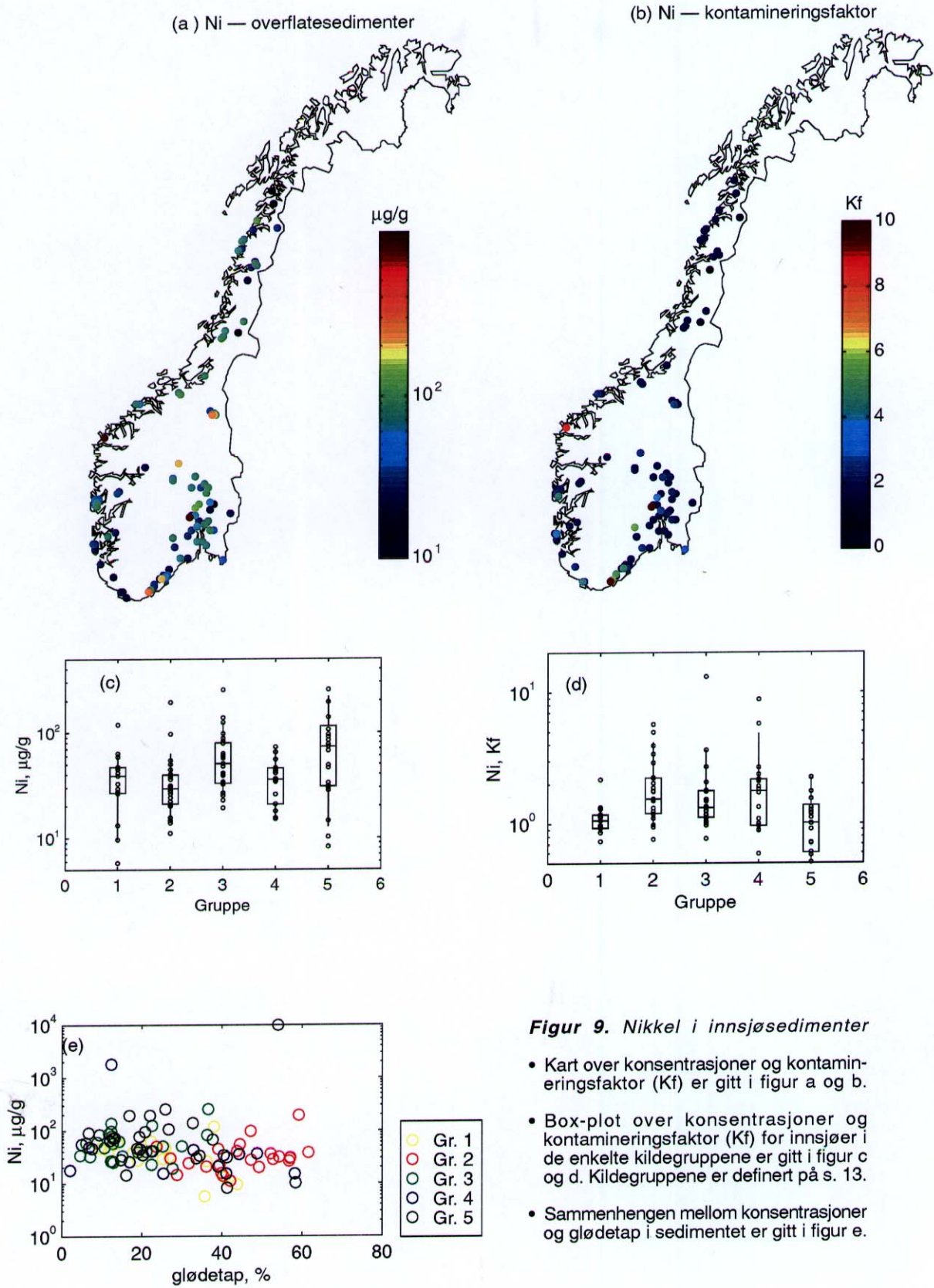
- Ni er et toksisk element som anses for å være ikke-essensielt for planter og dyr.
- Ni er ikke direkte redoks-sensitivt, men indirekte ved at Ni adsorbent til Fe/Mn oksider løses i reduktivt miljø når oksidene løses.
- Mobiliteten er pH-avhengig. Ved synkende pH-verdier øker andelen løst Ni²⁺ av total-Ni betydelig. I basisk miljø er Ni i hovedsak lite mobilt og kan forekomme som Ni(OH)₂, NiCO₃. I reduktivt miljø kan NiS dannes.

Forurensningskilder

Luft	Vann og jord
<ul style="list-style-type: none"> • partikler/aerosoler fra metallurisk industri og smelteverks-industri. • forbrenning av fossile brensel og søppel. 	<ul style="list-style-type: none"> • batterier. • korrosjon av forniklede overflater. • gruvetipper og miner. • ammunisjon, deponerte prosjektiler.

Resultater fra sedimentundersøkelsen

Konsentrasjoner, kontamineringsfaktorer, samt samvariasjonen med organisk materiale er gitt i figur 9. Generelt var forurensningsgraden liten, men med enkelte unntak, slik som Åsterudtjernet på Ringerike, som er påvirket av gruveavgang/oppreding fra et nedlagt nikkelverk, og Vollevatnet ved Kristiansand, som kan være påvirket av luftutslipp fra Falconbridge smelteverk i Kristiansand. Forøvrig var flere innsjøer på Sørlandskysten som mottar bare atmosfæriske avsetninger, markert forurenset. Dette gjelder Austlandsvatn, Vesvatn, Mårvatn i Lillesand-Arendal området og Ulgjelvatn på Lista. På grunn av forurensende virksomhet i nedbørfeltet var også GUSDALSVATNET på Sunnmøre (olivinbrudd), Heddalsvatn ved Notodden (smelteverk) og Apeltunvatn ved Bergen markert forurenset. Konsentrasjonene var spesielt høge i Åsterudtjernet og i GUSDALSVATNET med henholdsvis 1% og 0,2 % Ni i sedimentet. Forøvrig varierte konsentrasjonene i intervallet 10 til 150 µg/g. Ni er i hovedsak knyttet til sedimentets minerogene deler og er følgelig negativt assosiert til organisk innhold. Hoveddelen av innsjøene i undersøkelsen var lite til moderat forurenset.



Figur 9. Nikkel i innsjøsedimenter

- Kart over konsentrasjoner og kontamineringsfaktor (Kf) er gitt i figur a og b.
- Box-plot over konsentrasjoner og kontamineringsfaktor (Kf) for innsjøer i de enkelte kildegruppene er gitt i figur c og d. Kildegruppene er definert på s. 13.
- Sammenhengen mellom konsentrasjoner og glødetap i sedimentet er gitt i figur e.

4.1.9 Bly (Pb)

Naturlig forekomst

- Pb-innholdet er noe høyere i felsiske størkningsbergarter (10-40 µg/g) enn i mafiske (1-10 µg/g). Kaliumfeltspat og pegmatitter er ofte noe anrikt da Pb kan erstatte K, Sr og Ba i mineraler.
- I snitt varierte konsentrasjonene i overflatelaget av jord fra 111.3 µg/g på Sørlandet til 8.75µg/g i Nord-Norge som følge av ulike avsetninger av antropogene atmosfæriske forurensninger (Steinnes et al. 1997).
- Pb er anrikt i sulfid-årer ofte som PbS og sammen med Cd og Zn.

Viktige egenskaper

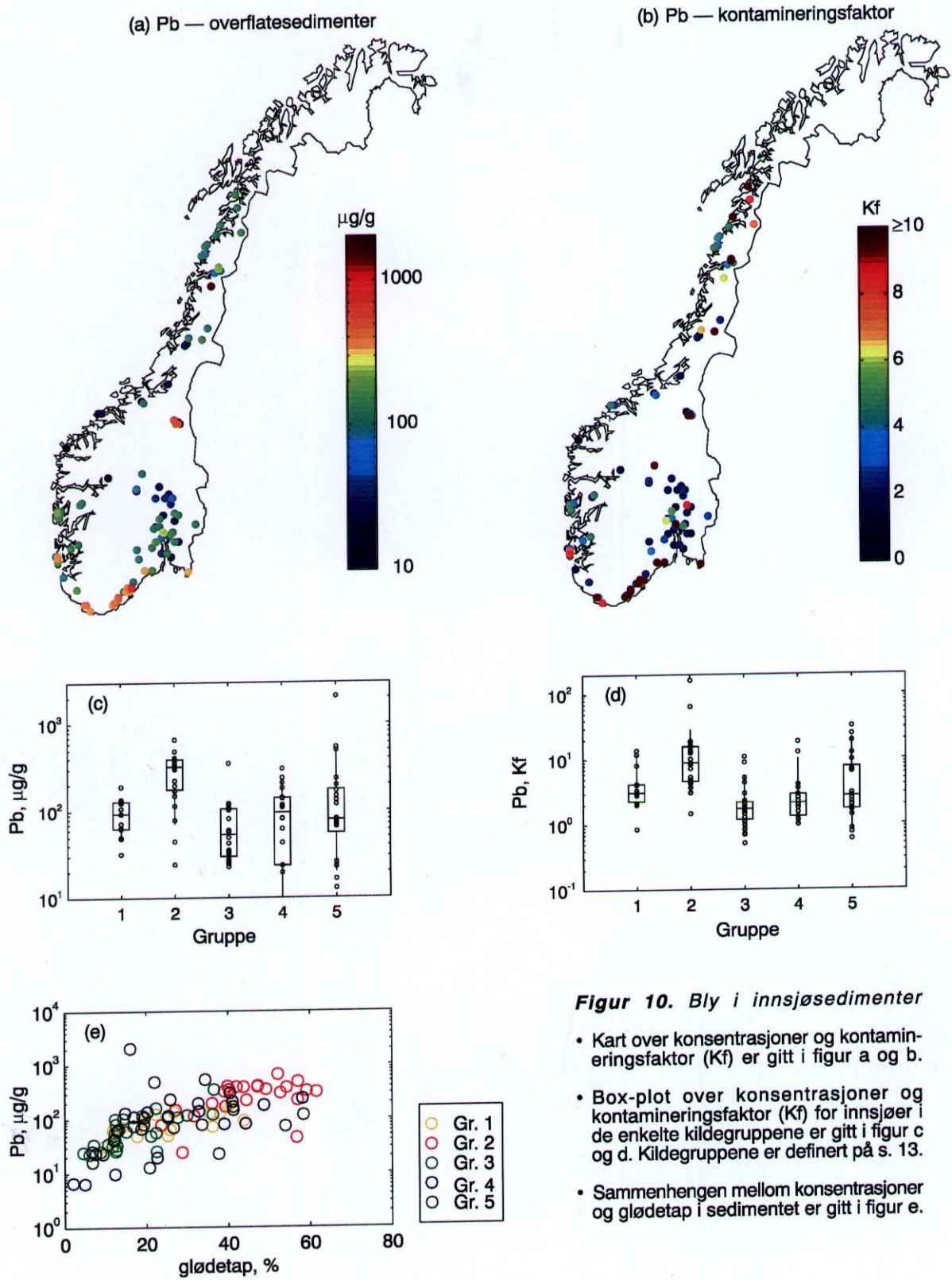
- Pb er et ikke-essensielt og toksisk element som skaper alvorlige miljøproblemer i enkelte områder.
- Pb er ikke direkte redoks-sensitivt, men indirekte ved at Pb adsorbert til Fe/Mn-oksider løses i reduktivt miljø når oksidene løses.
- Mobiliteten er pH avhengig. Ved synkende pH-verdier øker andelen løst Pb²⁺ av total-Pb, men i langt mindre grad enn f.eks. Cd, Zn og Ni. I basisk miljø er Pb i hovedsak lite mobilt og kan forekomme som Pb₃(OH)₂(CO₃)₂, PbCO₃.
- Pb i sedimenter og jord er meget sterkt assosiert til organisk materiale, Fe/Mn-oksider og leirpartikler. Adsorpsjon til disse forbindelsene reduserer mobiliteten av Pb betydelig i sedimenter og jord også i sure miljø.

Forurensningskilder

Luft	Vann og jord
<ul style="list-style-type: none"> • partikler/aerosoler fra metallurisk industri og smelteverks-industri. • blytillsetning i bensin. • forbrenning av fossile brensel og søppel. 	<ul style="list-style-type: none"> • batterier. • avfallstipper. • avrenning fra gruvevirksomhet. • ammunisjon, deponerte prosjektiler.

Resultater fra sedimentundersøkelsen

Konsentrasjoner, kontamineringsfaktorer, samt samvariasjonen med organisk materiale er gitt i figur 10. Forurensningsgraden var størst i Gr. 2-innsjøene selv om enkelte av gruvesjøene også var betydelig påvirket. Blant Gr. 2 innsjøene var det innsjøene langs kysten fra Grenland og opp mot Haugesund som var mest forurensset. Blyforurensning av disse innsjøene skyldes i hovedsak langtransporterte forurensninger. De gruvepåvirkede innsjøene L. Bleiklivatn, samt Djupsjøen, Stikkilen og Hittersjøen i Rørosområdet hadde også meget sterkt forurensede sedimenter. Det er også verd å merke seg at Svartavatn og Gåstjøna i Rana-distriktet også hadde sterkt forurensede sedimenter vesentlig på grunn av luftutslipp fra industrien i området (langtransporterte forurensninger er av liten betydning i denne regionen). Forøvrig hadde også Kornsjø i indre Østfold, Østernvatnet i Bærum alle betydelige forurensede sedimenter. Med unntak av gruvesjøene var Pb-konsentrasjonen i sedimentet nært assosiert til organisk innhold. Kombinasjonen høye atmosfæriske avsetninger og høgt organisk innhold i sedimentet er avgjørende for de høye Pb-verdiene langs kysten i Sør-Norge. Blytillsetning i bensin er en viktig grunn til at Pb finnes i forhøyede konsentrasjoner i jord og sedimenter nær sagt overalt i den tempererte sone på den nordlige halvkule. Dette i tillegg til andre antropogene kilder gjør at mange av innsjøene i vår undersøkelse klassifiseres som moderat til sterkt forurensset.



Figur 10. Bly i innsjøsedimenter

- Kart over konsentrasjoner og kontamineringsfaktor (Kf) er gitt i figur a og b.
- Box-plot over konsentrasjoner og kontamineringsfaktor (Kf) for innsjøer i de enkelte kildegruppene er gitt i figur c og d. Kildegruppene er definert på s. 13.
- Sammenhengen mellom konsentrasjoner og glødetap i sedimentet er gitt i figur e.

4.1.10 Antimon (Sb)

Naturlig forekomst

- Sb-innholdet er ofte lavt i størkningsbergarter, sandstein og kalkstein samt deres metamorfe ekvivalenter (0.05-0.5 µg/g). I leirstein, siltstein og organisk holdige skifer er konsentrasjonene vanligvis noe høyere (1-3 µg/g).
- I snitt varierte konsentrasjonene i overflatelaget av jord fra 2.4 µg/g på Sørlandet til 0.22 µg/g i Nord-Norge vesentlig på grunn av antropogene langtransporterte atmosfæriske avsetninger. (Steinnes et al. 1997).
- Geokjemisk sett har Sb mange likheter med As.
- Forekommer i sulfidminerale ofte sammen med Pb, Cu og Hg.

Viktige egenskaper

- Toksik for levende organismer og er et alvorlig miljøproblem i enkelte områder.
- Sb er redoks-sensitivt, men forekommer oftest som Sb³⁺ selv om også Sb⁵⁺ kan forekomme.
- Mobiliteten er sterkt avhengig av kompleksdannere som Fe/Mn-oksider og organisk materiale, men kunnskapen om mobiliteten av Sb i jord og sedimenter er svært mangelfull.
- brukes både i metallprodukter og ikke metallholdige produkter.

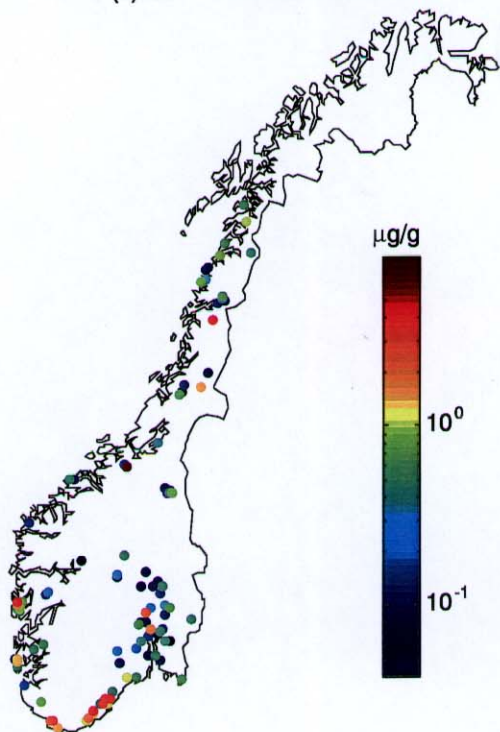
Forurensningskilder

Luft	Vann og jord
<ul style="list-style-type: none"> • partikler/aerosoler fra metallurisk- og smelteverks-industri. • forbrenning av fossile brensel. • forbrenning av søppel og industriavfall. 	<ul style="list-style-type: none"> • ammunisjon (i legeringer med Pb) • treimpregnering • gruvetipper (spes. S og P holdige mineraler) • batterier, glassindustri, maling, gummiprodukter

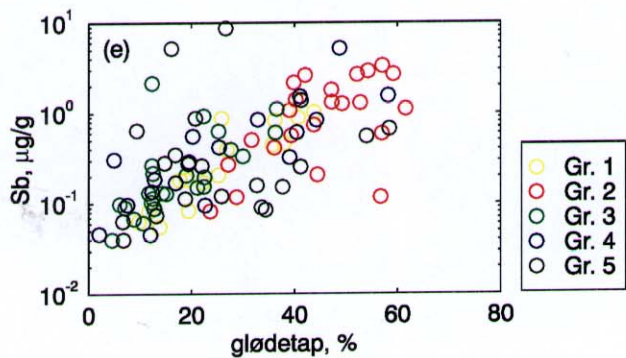
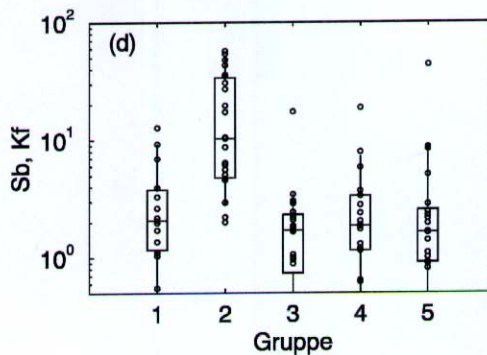
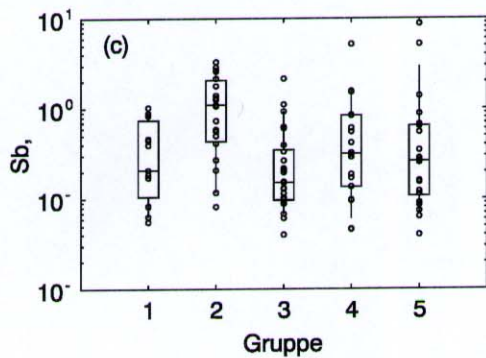
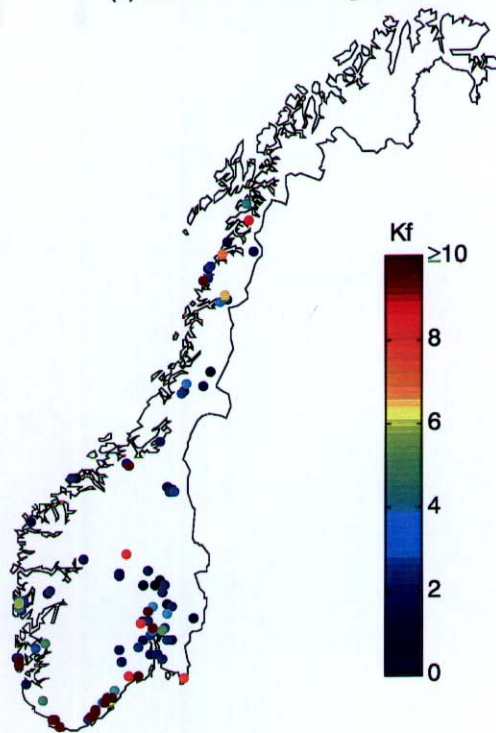
Resultater fra sedimentundersøkelsen

Konsentrasjoner, kontamineringsfaktorer, samt samvariasjonen med organisk materiale er gitt i figur 11. Forurensningsgraden var størst i Gr. 2-innsjøene selv om også enkelte innsjøer i de andre gruppene var betydelig forurenset. Det var i hovedsak innsjøene langs kysten fra Grenlandsområdet og ned til Lista som var mest forurenset. Dette henger sammen med at antimon er et element som ofte har en betydelig andel av forurensningsbelastningen knyttet til langtransporterte forurensninger. Vi skal likevel merke oss at sedimentene i sydlige deler av Randsjorden og i Helgalandsvatn ved Haugesund også var sterkt forurenset av Sb antagelig på grunn av henholdsvis glassverks-industri ved Jevnaker og lokal smelteverks-industri i Haugesund. Markert forurenset var også sedimentene i enkelte gruvepåvirkede innsjøer (Bjørnlivatn), Kornsjø i indre Østfold (garveri), Rødstjern ved Sauda (Alverk), enkelte innsjøer langs Nordlandskysten (langtransport) samt Østernvatn ved Oslo som kan være påvirket av en skytebane. Konsentrasjonene varierte i intervallet 0.05 til 5 µg/g, og med unntak av gruvesjøene var Sb positivt assosiert til organisk innhold. Kombinasjonen høye atmosfæriske avsetninger og høgt organisk innhold i sedimentet er viktige årsaker til de høye verdiene i innsjøene langs kysten i Sør-Norge. Generelt sett var sedimentene i vår undersøkelse moderat til betydelig forurenset.

(a) Sb — overflatesedimenter



(b) Sb — kontamineringsfaktor



Figur 11. Antimon i innsjøsedimenter

- Kart over konsentrasjoner og kontamineringsfaktor (Kf) er gitt i figur a og b.
- Box-plot over konsentrasjoner og kontamineringsfaktor (Kf) for innsjøer i de enkelte kildegruppene er gitt i figur c og d. Kildegruppene er definert på s. 13.
- Sammenhengen mellom konsentrasjoner og glødetap i sedimentet er gitt i figur e.

4.1.11 Selen (Se)

Naturlig forekomst

- Se er ofte anriktet i leirestein, siltstein og deres metamorfe ekvivalenter (1-5µg/g), men har oftest lave konsentrasjoner i størkningsbergarter. Se kan være spesielt anriktet i enkelte sulfid-mineraler og i skiferbergarter med organisk innhold (f.eks. alunskifer).
- I snitt varierte konsentrasjonene i overflatelaget av jord fra 2.4 µg/g på Sørlandet til 0.2 µg/g i Nord-Norge vesentlig på grunn av ulik grad av påvirkning fra antropogene atmosfæriske avsetninger og påvirkning fra havet (Steinnes et al. 1997).
- Se er nær beslektet med S og danner tungt løselige metallselenider.
- Se fås som et biprodukt ved Cu-fremstilling.

Viktige egenskaper

- Se er essensielt for levende organismer, men blir raskt toksisk i overskudd.
- Se er redoks-sensitivt og forekommer oftest som metallselenider i reduktivt miljø, og som selenitt (SeO_3^{2-}) eller selenat (SeO_4^{2-}) i oksidativt miljø.
- Mobiliteten er sterkt avhengig av kompleksdannere som Fe/Mn-oksider og organisk materiale.
- SeO_3^{2-} danner lite løselige Fe-forbindelser slik som $\text{Fe}_2(\text{SeO}_3)_3$ i svakt sure oksidative miljø, mens selenat som er vanligst i basisk miljø, ikke danner slike uløselige forbindelser.
- Metyleres både i akvatisk og marint miljø (dimetylselenid).

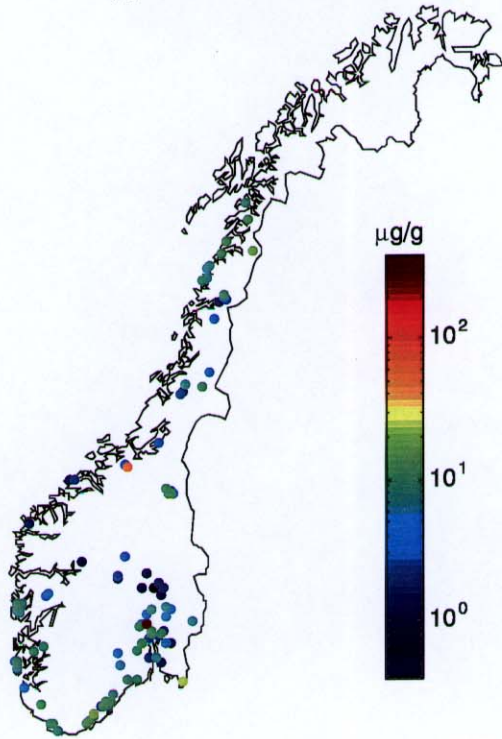
Forurensningskilder

Luft	Vann og jord
<ul style="list-style-type: none"> • partikler/aerosoler fra metallurisk- og smelteverks-industri. • forbrenning av fossile brensel, spesielt kull. 	<ul style="list-style-type: none"> • gruvetipper (spes. S- og P-holdige mineraler). • garveri-virksomhet. • glassverks-industri, elektronikk industri.

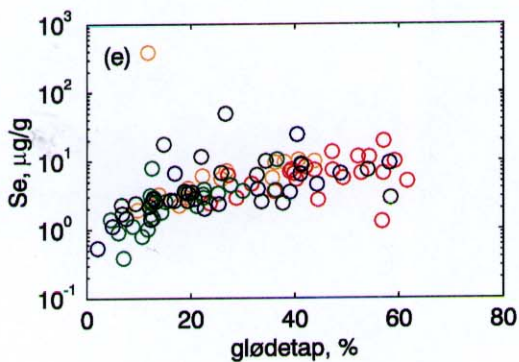
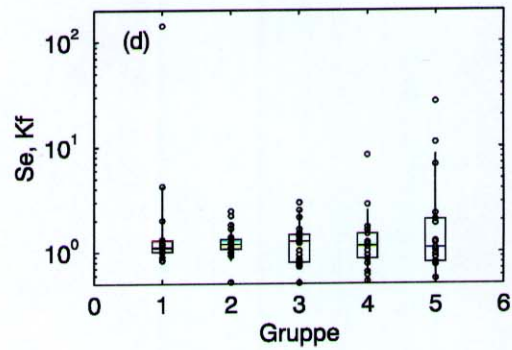
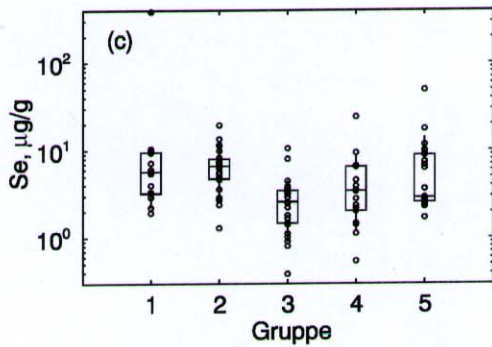
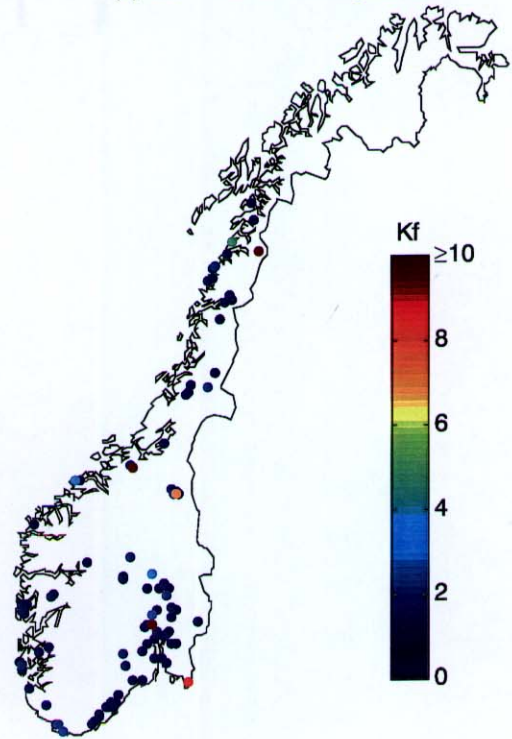
Resultater fra sedimentundersøkelsen

Forurensningsgraden var generelt liten, med unntak av Steinsfjorden på Ringerike. Hvorfor denne innsjøen skiller seg ut med sterk grad av forurensning vet vi ikke. Forøvrig var også enkelte av gruvesjøene som er påvirket av tidligere kopperverk (Bjørnlivatn ved Løkken gruver og Djupsjøen på Røros) sterkt forurenset. Langvatn ved Fauske (ukjent årsak, muligens geokjemiske årsaker) og Kornsjø i Østfold (garveri) hadde også forurensete sedimenter. Med unntak av gruvesjøene var Se positivt assosiert til sedimentets organiske innhold, og konsentrasjonene varierte i hovedsak mellom 1 og 10 µg/g. Sedimentene i de undersøkte innsjøene var med de ovennevnte unntak lite til moderat forurenset.

(a) Se — overflatesedimenter



(b) Se — kontamineringsfaktor



- Gr. 1
- Gr. 2
- Gr. 3
- Gr. 4
- Gr. 5

Figur 12. Selen i innsjøsedimenter

- Kart over konsentrasjoner og kontamineringsfaktor (Kf) er gitt i figur a og b.
- Box-plot over konsentrasjoner og kontamineringsfaktor (Kf) for innsjøer i de enkelte kildegruppene er gitt i figur c og d. Kildegruppene er definert på s. 13.
- Sammenhengen mellom konsentrasjoner og glødetap i sedimentet er gitt i figur e.

4.1.12 Vanadium

Naturlig forekomst

- V er ofte anriktet i mafiske bergarter og i leirskifere (100-250 µg/g), mens konsentrasjonene i felsiske bergarter og i sandstein/sandskifer er betydelig lavere (5-20 µg/g).
- V danner vanligvis ikke egne mineraler, men erstatter Fe, Ti og Al i krystall-strukturen.

Viktige egenskaper

- V er et essensielt element både for dyr og planter, men marginene er små, og elementet blir raskt toksisk ved økende konsentrasjoner.
- V er redoks-sensitivt og kan forekomme i flere oksidasjonstrinn, både som anioner og kationer.
- Mobiliteten er pH-avhengig (lavere ved synkende pH) og av kompleksdannere som Fe/Mn-oksider og organisk materiale.

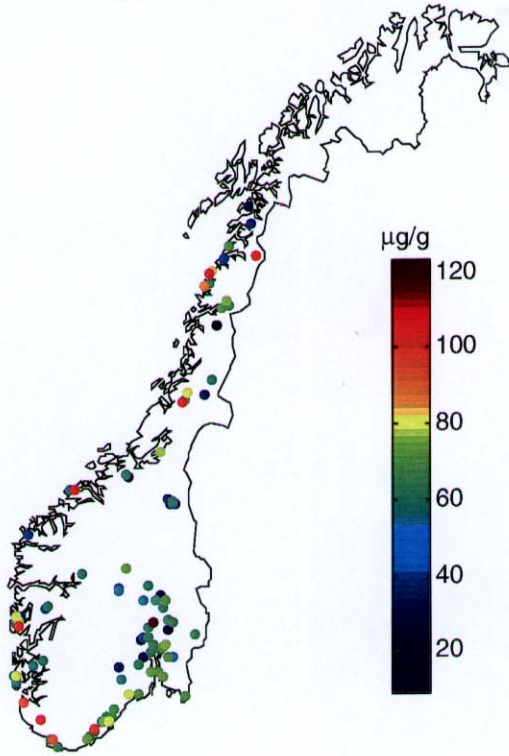
Forurensningskilder

Luft	Vann og jord
<ul style="list-style-type: none"> • partikler/aerosoler fra metallurisk- og smelteverks-industri. • forbrenning av fossile brensel som olje og kull. 	<ul style="list-style-type: none"> • gruvetipper. • fosforholdig kunstgjødsel. • kloakkslam.

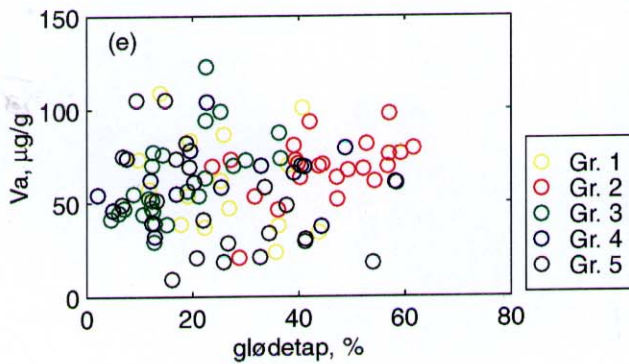
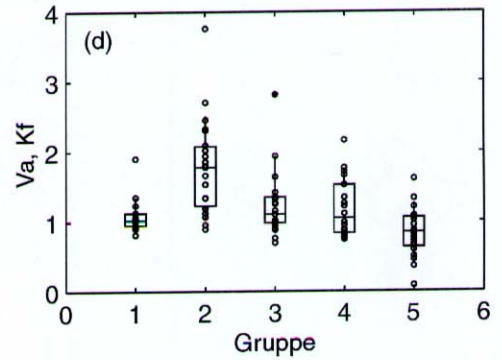
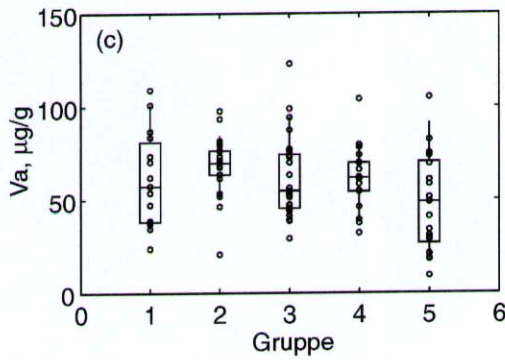
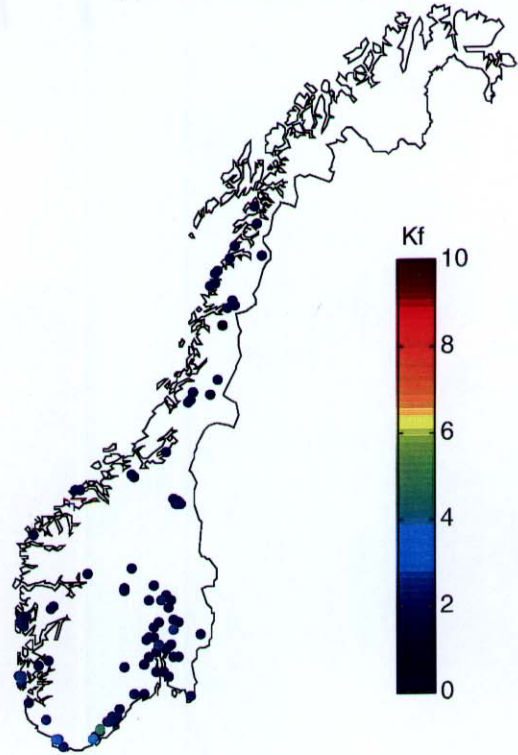
Resultater fra sedimentundersøkelsen

Forurensningsgraden var størst for Gr. 2 innsjøene. Det var innsjøene langs Sørlandskysten som var mest påvirket, med Austlandsvatn i en klasse for seg som det klart mest forurensede. Konsentrasjonene varierte mellom 20 og 100 µg/g, og V var ikke positivt assosiert til sedimentets organiske materiale. Sedimentene i de undersøkte innsjøene var generelt lite til moderat forurenset av vanadium.

(a) Va — overflatesedimenter



(b) Va — kontamineringsfaktor



Figur 14. Vanadium i innsjøsedimenter

- Kart over konsentrasjoner og kontamineringsfaktor (Kf) er gitt i figur a og b.
- Box-plot over konsentrasjoner og kontamineringsfaktor (Kf) for innsjøer i de enkelte kildegruppene er gitt i figur c og d. Kildegruppene er definert på s. 13.
- Sammenhengen mellom konsentrasjoner og glødetap i sedimentet er gitt i figur e.

4.1.13 Sink (Zn)

Naturlig forekomst

- Zn-innholdet er høgere i mafiske størkningsbergarter (80-120 µg/g) enn i felsiske bergarter (40-60 µg/g). Zn er noe anriket i siltstein, leirstein, samt deres metamorfe ekvivalenter (40-200 µg/g), mens konsentrasjonene er lavere i sandstein (10-30 µg/g).
- I snitt varierte konsentrasjonene i overflatelaget av jord fra 84 µg/g på Sørlandet til 30-40 µg/g i Midt-Norge og Nord-Norge (Steinnes et al. 1997).
- Zn er anriket i sulfid-årer, ofte sammen med andre metaller som Pb, Cd og Cu.

Viktige egenskaper

- Zn er et essensielt element for planter og dyr, men virker toksisk særlig overfor planter i høyere konsentrasjoner. Metalltet kan redusere gifteffekten av andre tungmetaller i akvatisk miljø.
- Zn er ikke direkte redoks-sensitivt, men indirekte ved at Zn adsorbent til Fe/Mn oksider løses i reduktivt miljø når oksidene løses.
- Mobiliteten er pH-avhengig. Ved synkende pH-verdier øker andelen løst Zn²⁺ av total-Zn. I basisk miljø er Zn i hovedsak lite mobilt og kan forekomme som Zn(OH)₂ og ZnCO₃.
- Zn i sedimenter og jord er nært assosiert til leirmineraler og Fe/Mn oksider. Adsorpsjon til disse forbindelsene kan redusere mobiliteten av Zn betydelig i sedimenter og jord.

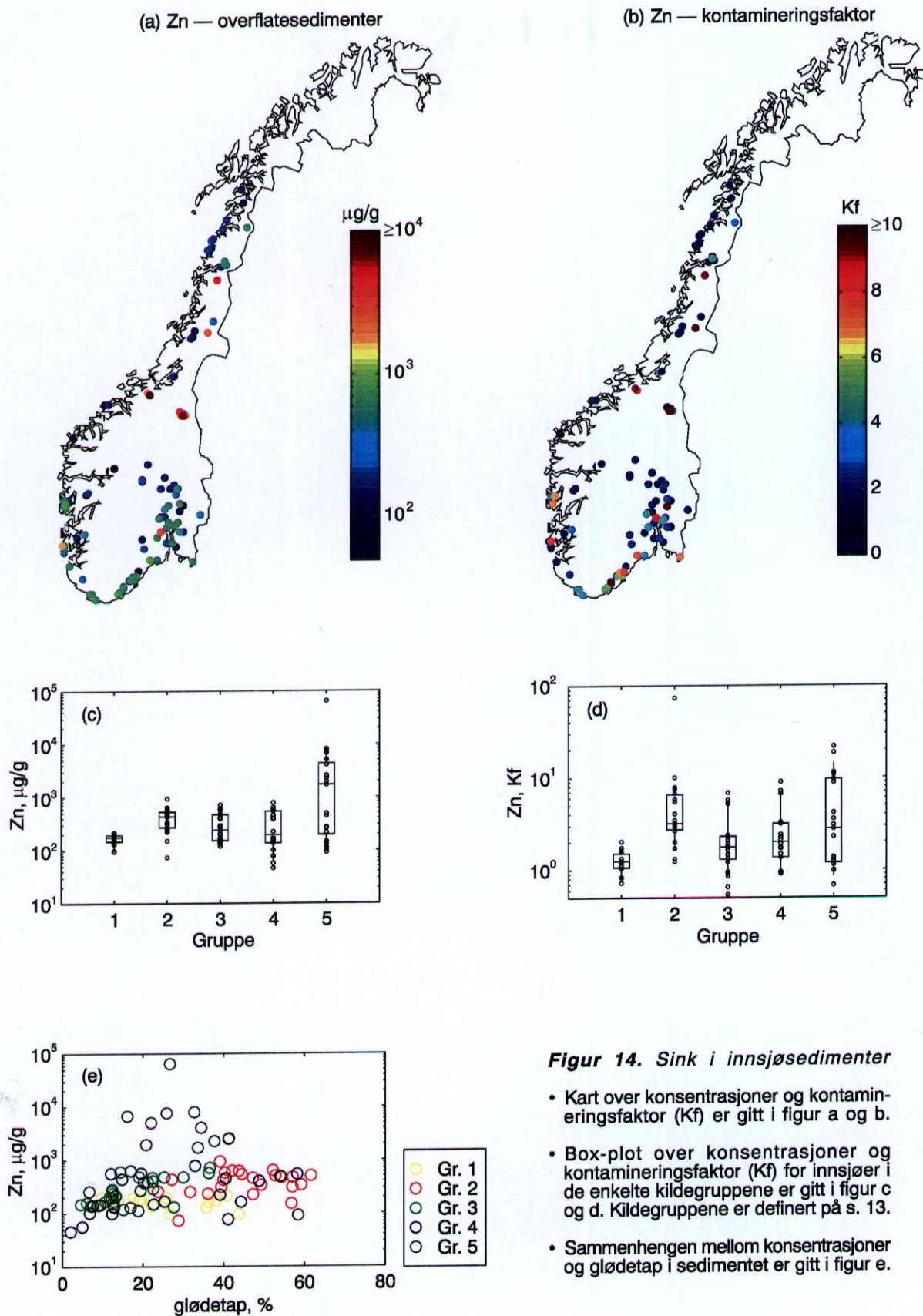
Forurensningskilder

Luft	Vann og jord
<ul style="list-style-type: none"> • partikler/aerosoler fra metallurisk industri og smelteverks-industri. • forbrenning av fossile brensel og søppel. • 	<ul style="list-style-type: none"> • kunstgjødsel og pesticider. • korrosjon av forsinkede metalleder og messing, glass-industri, batterier, gummi • gruvetipper. • ammunisjon, deponerte prosjektiler.

Resultater fra sedimentundersøkelsen

Forurensningsgraden var størst for Gr.5, de gruvepåvirkede innsjøene. De høyeste K_f-verdiene (20-60) ble observert i Djupsjøen, Stikkilen, Grunnsjøen og Hittersjøen på Røros, i Åsterudtjernet på Ringerike og St. Skorovatn i Nord-Trøndelag. Betydelig påvirket var også Orvsjøen ved Røros og Ringsjøen ved Løkken.

Konsentrasjonene i de fleste gruvesjøene var høye og betydelig høyere enn for innsjøene i de andre gruppene. Sedimentene i de gruveinnsjøene som skilte seg ut, hadde betydelige konsentrasjoner i overflate-sedimentet. Enkelte av innsjøene langs Sørlandskysten hadde også relativt høye Zn-verdier, f. eks. Austlandsvatn ved Grimstad (469 µg/g) og Vesvatn ved Kristiansand (454 µg/g). Zn var ikke korrelert til organisk materiale. Dette indikerer at Zn kan være assosiert til både minerogene og organiske sediment-bestanddelene. Med unntak av gruveinnsjøene var forurensningsgraden liten til moderat.



Figur 14. Sink i innsjøsedimenter

- Kart over konsentrasjoner og kontamineringsfaktor (Kf) er gitt i figur a og b.
- Box-plot over konsentrasjoner og kontamineringsfaktor (Kf) for innsjøer i de enkelte kildegruppene er gitt i figur c og d. Kildegruppene er definert på s. 13.
- Sammenhengen mellom konsentrasjoner og glødetap i sedimentet er gitt i figur e.

4.2 Samvariasjon mellom konsentrasjoner av metaller i sedimentet.

En korrelasjonsanalyse av konsentrasjonene av metaller og glødetap i sedimentene viste at vi hadde tre grupper av elementer der de innbyrdes var relativt nært korrelert. Den første gruppen besto av elementer som er kjent for å ha en høy andel av antropogen belastning fra atmosfæriske avsetninger (Tab. 3).

Tabell 3. Korrelasjonskoeffisienter (r) for konsentrasjoner av elementer som viste høy grad av samvariasjon ($p < 0.001$). Alle verdiene er log transformert bortsett fra glødetapet (GT).

	As	Cd	Hg	Pb	Sb	Se
As						
Cd	0.43					
Hg	0.58	0.40				
Pb	0.62	0.60	0.71			
Sb	0.59	0.46	0.72	0.64		
Se	0.48	0.47	0.43	0.58	0.50	
GT	0.32	0.45	0.57	0.62	0.62	0.45

Denne gruppen elementer har størst kontamineringsfaktor i innsjøsedimenter som kun er utsatt for antropogene forurensninger gjennom atmosfæriske avsetninger fra fjærntliggende eller lokale kilder. Dette er de eneste elementene som viser en positiv signifikant assosiasjon til organisk innhold i sedimentet. De metallene som var assosiert til minerogent materiale dannet to grupperinger som innbyrdes var nært korrelert (Tab. 4 og Tab. 5)

Tabell 4. Korrelasjonskoeffisienter (r) for log transformerte konsentrasjoner for elementer med høy grad av samvariasjon ($P < 0.001$)

	Zn	Cd	Cu
Zn			
Cd	0.91		
Cu	0.75	0.59	

Tabell 5. Korrelasjonskoeffisienter (r) for log transformerte konsentrasjoner av elementer med høy grad av samvariasjon ($P < 0.001$)

	Ni	Cr	Co
Ni			
Cr	0.61		
Co	0.75	0.60	

Det var en meget god samvariasjon mellom Zn og Cd, men også korrelasjonen mellom Cu og Zn, og Cu og Cd var god. Den god samvariasjonen mellom disse tre elementene skyldes i hovedsak at disse samvarierer i innsjøer som er påvirket av gruvevirksomhet. I hovedsak er dette gruver der kobber har vært hovedinteressen. Gruvepåvirkede innsjøer hadde derfor høye kontamineringsfaktorer for denne gruppen elementer i vår undersøkelse.

Den gode samvariasjonen mellom elementene i den siste gruppen (Ni, Cr, Co) har sammenheng med generelt lave kontamineringsfaktorer og like fysiske egenskaper. De lave kontamineringsfaktorene innebærer at geokjemien i de lokale bergartene i nedbørfeltet er viktig for konsentrasjonene. Ni, Cr og Co har nær samme ioneradius og elektronegativitet og erstatter Fe og Mg i Fe/Mg silikater. De forekommer derfor i høyere konsentrasjoner i mer felsiske bergarter slik som f.eks. granitt, enn i mafiske og ultramafiske bergarter (se Tabell 2). Dette til skille fra Cu og Zn som vanligvis har høyere konsentrasjoner i mafiske bergarter (gabbro, basalt).

5. Diskusjon

Det var naturlig å dele de undersøkte metallene i tre grupper etter forurensningenes karakter. Den første gruppen av metaller var typisk for de såkalte gruvesjøene. Disse innsjøenes sedimenter var betydelig anrikt med hensyn til de fleste metallene, men spesielt av Zn, Cu, Cd og i enkelte innsjøer av Co. Den andre gruppen av metaller hadde generelt sett størst forurensningsgrad i innsjøer hvor kildene var atmosfæriske avsetninger fra langtransporterte forurensninger og lokale utslipp til luft. Dette gjaldt elementene As, Hg, Pb, Sb, Se, V og Be. Den tredje gruppen av elementer består av Ni, Cr og Co. Disse metallene var også negativt assosiert til organisk materiale. Dette indikerer at metallene er knyttet til den minerogene fraksjonen i sedimentet, og at konsentrasjonene i hovedsak er bestemt av geokjemien i nedbørfeltene

Undersøkelsen har vist at konsentrasjonene av metaller i mange av de undersøkte innsjøene var relativt høye. Dette gjaldt spesielt de såkalte gruvesjøene som var direkte eller indirekte påvirket av gruvedrift. Gruveinnsjøene var betydelig anrikt av de fleste metallene, men spesielt av Zn, Cu, Cd og i enkelte tilfeller av Co. Dette er naturlig da de fleste gruvene har vært drevet med hensyn på kobber, og disse andre elementene finnes ofte anrikt i kobbermalmen. Det er imidlertid noen unntak som f.eks Åsterudtjernet på Ringerike som var sterkt forurenst av nikkel som følge av virksomheten til et nikkelverk. Vanadium og Be var generelt lite anrikt i gruvesjøenes sedimenter. Generelt sett var ikke metallene i disse innsjøenes sedimenter spesielt godt assosiert til glødetapet i sedimentet. Dette skyldes antagelig en kombinasjon av flere forhold slik som at: (i) metallene var anrikt i minerogene fragmenter fra de lokale malmene, (ii) de har vært adsorberte til uorganiske partikler dannet i oppredningsverk (evt. flotasjonsanlegg) og siden sedimentert i innsjøen, (iii) de har blitt utfelt i innsjøene som assosiert til sekundære oksider (Fe/Mn) og eventuelt sulfider. Utfellingene i innsjøene vil alltid inkludere en assosiert organisk fraksjon. Konsentrasjonene av metaller i gruvesjøenes sedimenter var i mange tilfeller så høye at de er giftige for de aller fleste organismer.

Den annen gruppen av metaller er As, Cd, Hg, Pb, Sb, Se, V og Be. Disse hadde (med unntak av Cd) generelt sett ofte størst forurensningsgrad i innsjøer der kildene var atmosfæriske avsetninger fra langtransporterte forurensninger og lokale luftutslipp (Gr.2). Mange av disse innsjøenes sedimenter kan klassifiseres som sterkt forurenset og toksiske effekter på bunnlevende organismer kan ikke utelukkes i enkelte tilfeller. Med unntak av V og Be var elementene positivt assosiert til organisk materiale. Dette er i overensstemmelse med tidligere undersøkelser som har vist at for innsjøer der atmosfæriske avsetninger er hovedkilden for metallforurensningen, har konsentrasjonene i sedimentet ofte vært nært assosiert til innholdet av organisk materiale (Fjeld et al. 1993, Rognerud et al. 1998). Mange innsjøer langs kysten i Sør-Norge har høye konsentrasjoner i sedimentet av denne gruppen elementer vesentlig på grunn av følgende forhold:

- betydelig avsetning av langtransporterte metallforurensninger fra andre deler av Europa
- mange industrivirksomheter med utslipp til luft er lokalisert langs kysten
- innsjøene langs kysten er ofte humuspåvirket, og sedimentenes innhold av organisk materiale er høgt
- kystområdene har også vært mest påvirket av sur nedbør som har ført til forsurening av mange nedbørfelt med følgende utvasking av mobile metaller som kadmium fra jordsmonnet
- kalking av sure innsjøer kan også ha ført til anrikning av metaller i sedimentet

Vi vet at noen av innsjøene i vår undersøkelse har vært kalket. Det er verd å merke seg at for de ovennevnte metaller var betydningen av atmosfæriske forurensninger større eller like stor som f.eks. betydningen av gruvepåvirkning, spesiell industri eller forurenset avrenning fra urbane områder.

Nikkel, krom og kobolt utgjør den tredje gruppen av elementer. Forurensningsgraden var generelt liten selv om det var 5-6 innsjøer med markert til sterkt forurensede sedimenter. Disse elementene var også negativt assosiert til organisk materiale. Dette indikerer at metallene er knyttet til den minerogene fraksjonen i sedimentet og at konsentrasjonene i hovedsak er bestemt av geokjemien i nedbørfeltene. Den gode samvariasjonen skyldes deres tilnærmet like fysiske egenskaper, og at de kan erstatte de samme elementene (Fe, Mg) i silikatmineralene (Salomons og Förstner 1984). De finnes derfor i høgere konsentrasjoner i mørke bergarter (mafiske) enn i lyse Fe/Mg rikere bergarter (felsiske).

I tillegg til denne generelle oversikten over grupper av metaller som viste god samvariasjon, er det naturlig å kommentere enkelte innsjøer spesielt fordi at de avviker fra det generelle mønsteret med høy forurensningsgrad av enkelte eller grupper av metaller. I denne sammenheng kan vi nevne: Kornsjø i Østfold i Halden kommune hadde sterkt forurensede sedimenter antagelig på grunn av virksomheten ved et garveri som nå er nedlagt. De aller fleste metallene var anriktet i sedimentet fra denne innsjøen. Garverivirksomhet og lærbehandling medfører forbruk av ulike metall-løsninger (Alloway og Ayres 1993). Krom er et viktig element i garveri- og lærbehandlingsvirksomhet, og Kornsjø var den eneste innsjøen i vår undersøkelse som var sterkt forurenset av dette elementet.

Søndre Holsjøen i Eidsvoll kommune har vært resipient for et gammelt gullverk. Sedimentet (også referansen) var betydelig forurenset av Hg og Cu. Det er kjent fra utlandet at rundt århundreskiftet inngikk disse elementene ofte i den videre rensing av gull etter knuse- og vaske-prosessen (Lacerada 1997). Det er mulig at de samme prosedyrene ble benyttet ved gullverket i Eidsvoll, og at dette er årsaken til forurensningen.

Vesvatn og Vollevatn ved Kristiansand hadde høye konsentrasjoner av As, Co, Ni selv om vi tar hensyn til betydningen av atmosfæriske avsetninger fra langtransporterte forurensninger. Det er sannsynlig at Falconbridge nikkelverk kan være enn av kildene til disse elementene.

Åsterudtjernet i Ringerike kommune var sterkt forurenset av Ni, Co og Cu på grunn av avrenning fra slagghauger deponert i forbindelse med tidligere gruvedrift etter nikkel. Denne innsjøen er atypisk i metallsammensetning i forhold til de andre gruvesjøene som i hovedsak er påvirket av kobbergruver.

Auslandsvatn i Grimstad kommune hadde høye konsentrasjoner av mange metaller samt organiske mikroforurensninger (Rognerud et al. 1997). Innsjøen mottar såvidt vi vet bare atmosfæriske forurensninger av metaller, men kalking kan ha bidratt til økte fellinger av metaller til sedimentet. I alle tilfeller indikerer det høye innholdet av PAH og klororganiske forbindelser i sedimentet at de atmosfæriske avsetningene har vært en betydelig kilde for denne lokaliteten.

Denne undersøkelsen har vist at mange innsjøsedimenter var sterkt forurenset av metaller. Den viktigste årsaken var gruvevirksomhet, men også andre virksomheter kan også lokalt bidra til betydelige forurensninger slik som eksempelvis garverivirksomhet. Det er imidlertid verd å merke seg at for en stor gruppe av elementer var atmosfæriske avsetninger fra fjerntliggende og lokale kilder den viktigste årsaken til høye metallkonsentrasjoner i sedimentene. Omfanget av denne typene forurensning er også betydelig langs kysten av Sør-Norge og lokalt rundt enkelte tettsteder med industrivirksomhet. Undersøkelsen av organiske mikroforurensninger i sedimentene fra et utvalg av de samme innsjøene viste klart at de atmosfæriske avsetningene har vært en dominerende kilde for forurensningen av innsjøene generelt selv om enkelte innsjøer også hadde betydelige punktutslipp direkte til jord og vann i nedbørfeltet (Rognerud et al. 1997).

6. Litteraturliste

- Alloway, B. J. and Ayres, D. C. 1993. Chemical principles of environmental pollution. Blackie Academic & professional, London, 291p.
- Barrie, L. Macdonald, R., Bidleman, Diamond, M. Gregor, D. Smekin, R., Strachan, W., Alae, M. Backus, S., Bewers, M., Gobeil, C., Halsall, C., Hoff, J., Li, A., Lochkart, L., Mackay, D., Muir, D., Pudykiewicz, J., Reimer, K., Smith, J., Stern, G., Schroeder, W., Wagemann, R., Wania, F., and Yunker, M. 1997. Chapter 2. Sources, Occurrence and Pathways. In: Jensen, J., Adare, K. and Shearer, R. (Eds), Canadian Arctic Contaminants Assessment Report, Indian and Northern Affairs Canada, Ottawa 1997.
- Berg, T. and Steinnes E. 1997. Use of mosses (*Hylocomium splendens* and *Pleurozium schreberi*) as biomonitors of heavy metal deposition: from relative to absolute deposition values. *Environ. Pollut.* 98, (1): 61 - 71.
- Bricker, O. P., and Jones, B.F. 1995. Main factors affecting the composition of natural waters. In: Salbu, B., and Steinnes, E. (Eds.). Trace elements in natural waters. CRC Press, Ann Arbor: 1-20.
- Dickson, K.L., Maki, A.W. and Brungs, W.A. 1984. Fate and effects of sediment-bound chemicals in aquatic ecosystems. Pergamon Press, New York.
- Driscoll, C.,T., Otton, J. K., and Iverfeldt, Å., 1994. Trace metal speciation and cycling. In: Moldan, B. and Cerny, J. (eds) Biogeochemistry of small catchments. John Wiley & Sons, New York : 299 - 322.
- Eisenreich, S.J. 1987. The chemical limnology of nonpolar organic contaminants: PCBs in Lake Superior. In: Hites, R.A. and Eisenreich, S.J. (eds.). Sources and fates of aquatic pollutants. Washington, D.C., ACS Advances in Chemistry Series # 216, American Chemical Society. pp. 393-469.
- Fjeld, E., Rognerud, S., and Steinnes, E. 1994. Influence of environmental factors on heavy metal concentration in lake sediments in southern Norway indicated by path analysis. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 51: 1708 - 1720.
- Gjelle, S. og Sigmond, E.M.O. 1994. Bergartsklassifikasjon og kartfremstilling. Skrifter 113. Norges Geologiske undersøkelse.
- Hamilton-Taylor, J. and Davison, W. 1995. Redox-driven cycling of trace elements in lakes. In: Lerman, A., Imboden, D. M., and Gat, J. R. (eds.). Physics and chemistry of lakes. Springer Verlag, Berlin : 217 - 261
- Harrison, R. M. 1990. Pollution: Causes, Effects, and Control. The Royal Society of Chemistry, Cambridge, 393 p.
- Kabata-Pendias, A. and Pendias, H. 1984. Trace elements in soil and plants. CRC Press, Boca Raton, Florida. 315p.

- Lacerada, L.D. 1997. Global mercury emissions from gold and silver mining. *Water Air Soil Pollut.* 97:209 - 221.
- Mudroch, A., and Azcue, J. M. 1995. *Manual of aquatic sediments sampling.* Lewis publishers. London, Ann Arbor, 219p.
- Ottesen, R.T., Bogen, J., Bølviken, B., and Volden, T. 1989. Overbank sediment: a representative sample medium for regional geochemical mapping. *J. Geochem. Explor.* 32. 257-277.
- Rognerud, S., og Fjeld, E. 1990. Nasjonal undersøkelse av tungmetaller i innsjøsedimenter og kvikksølv i fisk. Statlig program for forurensningsovervåkning. Rapport 426/90. TA 714/1990.
- Rognerud, S., Hongve, D. og Fjeld E. 1997. Naturlige bakgrunnskonsentrasjoner av metaller. NIVA-rapport, L.nr. 3670-97, 20 s.
- Rognerud, S., Fjeld, E., og Løvik, J. E. 1997. Regional undersøkelse av miljøgifter i innsjøsedimenter. Delrapport 1. Organiske mikroforurensninger. Statlig program for forurensningsovervåkning, Rapport 712/97.
- Rognerud, S., Skotvold, T., Fjeld, E., Norton, S.A., and Hobæk A. 1998. Concentrations of trace metals in recent and pre-industrial sediments from Norwegian and Russian Arctic lakes. *Can. J. Aquat. Sci.* *in press.*
- Salomons, W., and Förstner, U. 1984. *Metals in the Hydrocycle.* Springer-Verlag, Berlin, 349 s.
- Skotvold, T. og Rognerud, S. 1993. Tungmetaller og persistente organiske forbindelser i innsjøsedimenter i Finnmark. Akvaplan-niva rapport 306/01/02. 77 s.
- Skotvold, T., Wartena, E.M.M. and Rognerud, S. 1997. Heavy metals and persistent organic pollutants in sediments and fish from lakes in Northern and Arctic regions of Norway., E. Allen, R.O., Petersen H. M., Rambæk, J. P. and Varskog, P. 1997. Evidence of large scale heavy-metal contamination of natural surface soils in Norway from long-range atmospheric transport. *Sci. Total Environ:* 205. 255 - 266.
- Steinnes, E., Berg, T., Vadset, M. og Røyset, O. 1997. Atmosfærisk nedfall av tungmetaller i Norge. Landsomfattende undersøkelse i 1995. SFT-rapport.

Vedlegg

Vedlegg 1. Oversikt over innsjøenes lokalisering: UTM koordinater, sone, kommuner og fylker. Prøvedyp, høyde over havet og forurensningsgruppe i henhold til inndeling på side 13 er også vist.

Vedlegg 2. Kjemiske analyser av metallene og glødetap for overflatesedimentet og referanse-sedimenter. Alle konsentrasjoner er gitt i $\mu\text{g/g}$ tørrvekt, untatt glødetap som er gitt i %. Kontamineringsfaktor er også beregnet. Usikre verdier nær deteksjonsgrensen er uthevet. For disse innsjøene er følgelig beregningene av K_f -verdier usikker.

NR	Innsjø	Kommune	Fylke	Kart	NS	ØV	son	Prøvedyp	h.o.h.	Gr.*	Forurensning
1	Søndre Holsjøen	Eidsvoll	Akershus	19151	66952	6291	32	23	277	5	Gullverk, Gruvedrift 1897-1907
2	Lyseren	Askim	Akershus	19142	66201	6185	32	49	161	5	avrenning spesialavfall
3	Patterudtjernet	Moss	Østfold	18131	65902	5965	32	4		3	vei, søppel, bark
4	Skinnarfloen	Råde	Østfold	19134	65765	6075	32	6	20	4	NSB kreosot, fett, lim, slam
5	Kornsjø	Halden	Østfold	20124	65359	6535	32	10	141	4	tidligere garvervirksomhet, NSB-verk.
6	N.Åklangen	Eidskog	Hedmark	20152	66665	3399	33	16	138	4	sagbruksvirksomhet utløp i sjøen
7	Sæbufjorden	N.Aurdal	Oppland	16172	67654	5112	32	24	379	1	søppeleplassavrenning
8	Lønnavatn	Voss	Hordaland	13163	67295	3618	32	27	78	1	industri, landbruk
9	Vangsvatn	Voss	Hordaland	13163	67230	3570	32	64	47	3	industri, landbruk, tettsted
10	Rødstjern	Sauda	Hordaland	13143	66157	3488	32	15	44	2	luftavsetn., fra smelteverket
11	Fjellgardsvt.	Vindafj.	Rogaland	12142	66068	3320	32	103	158	1	kun atm dep. blandt de betydeligste
12	Røyrvatn	Vindafj.	Rogaland	12142	66045	3316	32	28	231	1	atm. dep. sørøstlandet
13	Tuastadvatn	Karmøy	Rogaland	11131	65845	2921	32	28	24	2	industri, luftavsetn. fra smelteverk
14	Visnesvatn	Karmøy	Rogaland	11131	65848	2858	32	9	4	5	kobbergruver + Zn
15	Stokkalandsvatn	Sandnes	Rogaland	12124	65247	3115	32	17	22	3	industri, tettbebyggelser, vei
16	Dypingsvatn	Sokndal	Rogaland	13114	64871	3437	32	65	176	1	atm. avsetninger
17	Øyevatn	Høylandet	Nord-Trøndelag	18243	71802	3733	33	49	63	5	forsuring, gruvevirksomhet
18	Grungstadv.	Høylandet	Nord-Trøndelag	17242	71642	3663	33	41	14	5	gruvevirksomhet
19	Eidsvatn	Grong	Nord-Trøndelag	17242	71602	3618	33	18	6	5	gruvevirksomhet, landbruk
20	Hammerv.	Levanger	Nord-Trøndelag	16222	70555	5999	32	57	25	3	småindustri, kornbeising, tettbebygg.
21	Bjørnlivatn	Meldal	Sør-Trøndelag	15213	70002	5343	32	19	274	5	Løkken gruver, gruveavgang
22	Ringvatnet	Meldal	Sør-Trøndelag	15213	70048	5275	32	27	197	5	gruveforurensning
23	Nosavatnet	Eide	Møre&Romsdal	13204	69761	4172	32	25,5	10	4	steinbrudd, kalk/marmorbrudd
24	Langvatnet	Fræna	Møre&Romsdal	12201	69754	4077	32	17	38	4	industri kalk/marmorbrudd
25	Gusdalsvatnet	Vanylven	Møre&Romsdal	11193	68806	3203	32	65	44	4	gruver, olivinbrudd
26	Djupsjøen	Røros	Sør-Trøndelag	17203	69427	6302	32	24,5	705	5	gruveavrenning, Røros-kobberverk
27	Stikkilen	Røros	Sør-Trøndelag	17203	69423	6265	32	2,5	696	5	Røros-kobberverk
28	Hittersjøen	Røros	Sør-Trøndelag	17203	69422	6241	32	9	673	5	gruveavrenning, Røros-kobberverk, bebygg.
29	Aursunden	Røros	Sør-Trøndelag	17203	69516	6282	32	21	690	5	gruveavrenning, Røros-kobberverk
30	Orvsjøen	Røros	Sør-Trøndelag	17203	69534	6182	32	21	806	5	Røros-kobberverk
31	Grunnsjøen	Røros	Sør-Trøndelag	17203	69453	6325	32	1	720	5	Røros-kobberverk
32	Mjøsa Brumund	Ringsaker	Hedmark	19164	67498	6043	32	48	123	3	industri, kloakk, jordbruk, søppeleplass
33	Mjøsa Hamar	Stange	Hedmark	19164	67400	6123	32	32	123	3	industri, kloakk, jordbruk, søppeleplass
34	Årdalsvatnet	Årdal	Sogn&Fjordane	15174	67975	4334	32	175	3	4	aluminiumverk-utslipp vann/luft
35	Espedalsvatn	Gausdal	Oppland	17174	68078	5306	32	21	722	5	gamle nikkelgruver
36	Strondafjorden	Nord Aurdal	Oppland	17164	67602	5142	32	83	359	3	fiskeoppdrett, industri, tettbebygg.

NR	Innsjø	Kommune	Fylke	Kart	NS	ØV	son	Prøvedyp	h.o.h.	Gr.*	Forurensning
37	Mjøsa Lillehammer	Lillehammer	Oppland	18172	67715	5781	32	53-60	123	3	Hg.industri,kommunalt avløpsv.
38	Mjøsa Gjøvik	Gjøvik	Oppland	18161	67413	5930	32	56-64	123	3	Raufoss,Toten cellulose,Hunton
39	Randsfjorden Flubergfj.	Søndre Land	Oppland	18164	67398	5665	32	50-54	135	3	Glassverket,blymønje,arsenikk
40	Randsfj. Jevnaker	Jevnaker	Oppland	18151	66827	5763	32	60-63	135	3	glassverk (PB, As) tettsted
41	Totenvika Mjøsa	Ø.Toten	Oppland	19163	67272	6092	32	55	123	3	intensivt jordbr. industri
42	Borre vann	Borre	Vestfold	18131	65865	5813	32	13,5	9	1	jordbruk
43	Vollevatn	Kristiansand	Vest Agder	15113	64477	4430	32	26	65	3	avrenning veg og bebyggelse
44	Østre Grimevatn	Lillesand	Aust Agder	15111	64625	4633	32	85	44	2	luffor. fra AS Norton
45	Ullsryggfj.	Arendal	Aust Agder	16122	64856	4927	32	11	13	2	luffor. fra Eidangerverkene
46	Trevatn	Froland	Aust Agder	16114	64841	4760	32	28	41	4	impreg. verk, jernverk, treforedl.
47	L. Bleikvatn	Hemnes	Nordland	19261	73112	4485	33	5,5	396	5	luftdep.
48	Ågvatn	Meløy	Nordland	19283	69993	4323	33	17,5	23	1	luftdep.
49	Grønåsv.	Meløy	Nordland	19283	74039	4416	33	37,5	83	1	luftdep., landbruk
50	Markvannet	Meløy	Nordland	18281	74218	4452	33	30	26	1	luftdep.
51	Storvikvannet	Gildeskål	Nordland	18281	74273	4499	33	40	183	1	luftdep.
52	Vainesv.	Bodø	Nordland	20293	74498	4762	33	92	121	1	luftdep., vei
53	Nordliv.	Bodø	Nordland	20291	74782	4903	33	30	55	1	luftdep.
54	Langvatn	Fauske	Nordland	21292	74473	5442	33	31	127	1	luftdep.
55	Kilevannet	Hammarøy	Nordland	12312	75575	5402	33	65	94	1	luftdep., vei
56	Tennvatn	Sørfold	Nordland	21301	75163	5407	33	54	330	1	jordbr. (+kloakk)
57	Vektaren	Røyrvik	Nord Trøndelag	19244	72005	4297	33	65	445	5	gruve drift
58	Store Skorovatn	Namskogan	Nord Trøndelag	18242	71703	4074	33	26	452	5	gruve drift skrovatn
59	Hurdalsjøen	Hurdal	Oppland	19154	66980	6149	32	24,5	176	3	gammel gruve drift
60	Jarenvatnet	Gran	Oppland	18151	66948	5860	32	37,5	201	3	jordbruk, små industri, kloakk
61	Auslandsv.	Grimstad	Aust-Agder	15111	6470	4630	32	42	191	2	lufforurensning fra Norton
62	Vesvatn	Birkenes	Vest Agder	15112	6451	4485	32	27	38	2	luffor. Kristiansand + veiknutepunkt, drikkevann
63	Norsjø	Lunde	Telemark	17134	65718	5165	32	117	15	3/5	Ulefoss industrivirk. + gruver
64	Heddalsv.	Notodden	Telemark	17143	66016	5150	32	42	16	3/5	Notodden ind., Tinfos + Hydro
65	Øyeren	Enebakk	Akershus	19142	66225	6255	32	69	101	3	Resipient Glåma, Romerike
66	Gjersrudtjernet	Oslo	Oslo	19144	66342	6034	32	3	150	4	avløp fra Grønmo fyllplass
67	Gjellumvatnet	Asker	Akershus	18141	66292	5808	32	11	98	3	Asker, tettsted
68	Steinsfj.	Hole	Buskerud	18153	66630	5736	32	22	63	2/3	landbruk
69	Tyrifjorden	Ringerike	Buskerud	18153	66610	5635	32	130	63	3/4	utenfor Skjærdalen + Follum fabrikker
70	Kleppevatnet	Askøy	Hordaland	11151	67048	2912	32	17	70	4	Tidl. industri, skytebaner
71	Hopsvatnet(Strømsnesv.)	Askøy	Hordaland	11151	67105	2916	32	23	4	4	Trikotasjefabr.
72	Gaupåsv.	Bergen	Hordaland	11151	67080	3030	32	17	65	4	Søppeifylling, vei, skytebane, steinbr.

NR	Innsjø	Kommune	Fylke	Kart	NS	ØV	son	Prøvedyp	h.o.h.	Gr.*	Forurensning
73	Stendavatnet	Bergen	Hordaland	11151	66873	2977	32	29	40	3	vei, bebygg, søppeifylling, kirkegård
74	Nestunvatnet	Bergen	Hordaland	11151	66931	2988	32		14	3	Industri, bensinst., forretningsbygg
75	Tveitevatnet	Bergen	Hordaland	11151	66968	2989	32	16	50	4	PCB aktive sedimenter, mange udef.kilder
76	Solheimsv.	Bergen	Hordaland	11151	66983	2986	32	8	36	4	Industri, store veier, postterminal, verksteder
77	Orrunvatnet	Bergen	Hordaland	11151	66956	2953	32	8	32	4	bensinst., kjøpesenter, giftig vann, dren. Fyllings
78	Åpeltunvatnet	Bergen	Hordaland	11151	66903	2975	32	18	32	3	bilverkst., kjøpesenter, boliger
79	Åsterudtjernet	Ringerike	Hordaland	18153	66592	5579	32	14	146	5	gruveavrenning
80	Østernvatnet	Bærum	Buskerud	18141	66490	5885	32	25	215	4	skyttebane
81	Nøklevannet	Oslo	Oslo	19144	66396	6051	32	29	163	2	lufforurensning (Oslo)
82	Langfjern (Løren)	Lørenskog	Akershus	19144	66453	6098	32	11	190	3	tettsted + industri
83	Engervannet	Bærum	Akershus	18141	66410	5858	32	2	4	3	tettsted + industri
84	Eikeren	Hof	Vestfold	18143	66068	5573	32	40	19	4	Eidsfoss verk
85	Stordammen	Drammen	Buskerud	18143	66210	5632	32	3,8	243	5	Konnerud gruver, flotasjonsanlegg
86	Hersjøen	Ullensaker	Akershus	19152	66779	6195	32	13	139	2	jordbruk, dyrefabrikk
87	Aklangstjerna	Tvedestrand	Aust-Agder	16122	65095	5020	32	26	42	2/3	biltrafikk, langtransport.luft
88	Hovdangsvatn	Tvedestrand	Aust-Agder	16122	64955	4998	32	24	22	2	luffor. Eydehavn
89	Mårvatn	Froland	Aust-Agder	16114	64826	4800	32	32	78	2	luffor. Eydehavn
90	Fjellsvatn	Arendal	Aust-Agder	16123	64935	4891	32	24	83	2	lufforurens. fra Eydehavn smelteverk
91	Bjellandsv.	Arendal	Aust-Agder	16122	64885	4946	32	12	4	2	lufforurens. fra Eydehavn smelteverk
92	Bamblevatn	Bamble	Telemark	17133	65418	5328	32	14	26	2	lufforurens. fra Grenland industriomr.
93	Hallevatnet	Larvik	Vestfold	17132	65435	5522	32	56	48	2	lufforurens. fra Grenland industri + langtransp.
94	Ulgjellvatnet	Farsund	Vest-Agder	13112	64475	3652	32	26	210	2	lufforurens. fra Lista aluminiumsverk
95	Laulandsvatnet	Farsund	Vest-Agder	13112	64460	3735	32	24	25	2	lufforurens. fra Lista aluminiumsverk
96	Ramsjordvatn	Lyngdal	Vest-Agder	14113	64348	3818	32	31	38	2	lufforurens. fra Lista aluminiumsverk
97	Gunnarstadvatn	Bokn	Rogaland	11132	64698	2950	32	19	16	2	lufforurens. fra Al.verk Haugesund
98	Nedre Helgalandsvatn	Karmøy	Rogaland	11131	65792	2922	32	20	15	2	lufforurens. fra Al.verk Haugesund
99	Anfiskvatnet	Rana	Nordland	19271	73496	4648	33	22	241	2	lufforurens. fra Mo i Rana
100	St. Raudvatnet	Rana	Nordland	20274	73515	4780	33	32	488	2	lufforurens. fra Mo i Rana
101	Svartvatnet	Rana	Nordland	20274	73630	4750	33	22	210	2	lufforurens. fra Mo i Rana
102	Gåstjørna	Rana	Nordland	20274	73565	4731	33	12	222	2	lufforurens. fra Mo i Rana
*)	1. Atmosfæriske avsetn. LT										
	2. Atmosfæriske avsetn. nær industri										
	3. Veg/by/tettsted/småindustri										
	4. Spesiell industri										
	5. Gruvedrift										

Nr	Imnsjø	Al	Al-ref	Kf	As	As-ref	Kf	Be	Be-ref	Kf	Cd	Cd-ref	Kf	Co	Co-ref	Kf	Cr	Cr-ref	Kf	Cu	Cu-ref	Kf	Fe	Fe-ref	Kf	Hg	Hg-ref	Kf	
1	Søndre Holsjøen	18300	24600	0,74	11,9	6,58	1,81	1,42	1,46	0,97	0,885	0,352	2,26	12,3	8,32	1,48	16,1	17,3	0,93	469	72,8	6,44	57600	49500	1,16	0,816	0,409	2,00	
2	Lyseren	28200	28700	0,98	14,8	6,28	2,36	1,72	1,52	1,13	1,51	0,292	5,94	30,8	19,7	1,56	47,3	48,5	0,98	479	38,9	1,46	68000	42700	1,55	0,241	0,108	2,23	
3	Pattendjernet	30300	27500	1,10	7,35	6,45	1,14	3,11	2,38	1,31	2,39	1,03	2,32	24,3	17,4	1,40	46,8	37,4	1,25	63,9	26,2	2,44	46500	27600	1,57	0,361	0,166	3,28	
4	Skinnarfløen	30000	30900	0,97	7,02	6,17	1,83	1,83	1,88	0,97	0,318	0,327	0,97	17,4	15,2	1,14	52,4	58,2	0,90	29,4	32,2	0,91	45900	47500	0,96	0,17	0,181	0,94	
5	Komsjø	28400	25000	1,42	14,9	1,32	11,29	2,71	0,993	2,73	3,41	0,223	15,29	34,8	24,6	5,03	13400	54,3	246,78	58,3	15,6	3,74	48900	17600	2,63	0,607	0,207	2,93	
6	N-Åkingen	19400	20000	0,77	4,86	4,6	1,01	7,51	5,41	1,99	1,09	0,438	2,49	18,3	25,1	0,73	29	46,2	0,63	45	37,5	1,20	64600	80900	0,80	0,299	0,254	1,18	
7	Sørlidjorden	21000	23000	0,91	14,3	9,11	1,57	1,15	1,17	0,98	1,01	0,681	1,48	16,4	19,7	0,83	27,7	28,6	0,97	57	48,9	1,14	57000	51400	1,11	0,288	0,255	1,17	
8	Lønsvatn	26700	25700	1,04	16,7	9,89	1,69	1,74	1,45	1,02	0,905	0,342	2,65	36,5	32,7	1,12	28,3	24,5	1,16	46,6	32,5	1,43	80600	62300	1,29	0,252	0,292	0,86	
9	Vangsvatn	29300	32200	0,91	12,2	9,02	1,35	1,07	0,994	1,08	0,341	0,302	1,13	22,4	22	1,02	24,8	23,5	1,06	47,7	36,9	1,29	55600	39000	1,43	0,192	0,088	2,18	
10	Redsjøen	29500	30200	1,08	10,2	3,55	2,27	1,75	1,46	1,20	1,58	0,276	5,72	13,1	17,6	0,74	27,3	22,6	1,21	54,2	49,7	1,09	70300	79400	0,89	0,279	0,173	1,61	
11	Fjellgardsv.	30800	30200	1,02	25,6	19,9	1,29	1,08	1,13	0,96	0,863	0,865	1,00	48,9	43,8	1,12	29,7	28,6	1,04	54,2	49,7	1,09	70300	79400	0,89	0,279	0,173	1,61	
12	Reyrvatn	24700	25400	0,97	18,7	15	1,25	1,15	1,02	0,986	1,042	0,432	2,07	30,4	27,3	1,11	36,3	34,2	1,11	58,4	45,3	1,28	41700	37500	1,11	0,325	0,139	2,34	
13	Tuastadvatn	23300	16600	1,40	23,4	7,2	3,25	1,75	0,986	1,77	3,06	0,432	2,07	30,4	27,3	1,11	36,3	34,2	1,11	58,4	45,3	1,28	41700	37500	1,11	0,325	0,139	2,34	
14	Vinesvatn	30500	29800	1,31	8,58	20,8	0,41	2,08	1,05	1,98	2,54	3,66	0,69	14,3	13,4	1,07	56,6	84,4	0,67	20,50	63,7	3,22	50200	117000	2,42	0,0403	0,264	0,15	
15	Stokklandsvatn	20100	23600	0,85	32,1	3,99	8,05	1,1	1,3	0,85	1,15	1,77	0,65	18,8	21,1	0,89	41,7	37,3	1,12	40,4	29,4	1,37	56200	69500	1,14	0,231	0,258	0,90	
16	Dyringsvatn	31200	35600	0,88	6,2	3,33	1,86	1,37	1,41	0,97	0,343	0,243	1,41	24	24,5	0,98	74,9	87,4	0,86	41	37	1,11	55400	69000	1,23	0,559	0,282	1,98	
17	Løyvatn	25700	43800	0,59	7	7,79	0,90	0,987	1,31	0,76	0,218	0,152	1,43	23,8	32,8	0,73	70,5	134	0,53	33,6	68,3	0,49	57600	73400	0,75	0,167	0,215	0,75	
18	Grungstadv.	38300	37500	1,02	24,1	4,48	5,38	1,3	1,22	1,07	0,251	0,102	2,46	36,5	30,2	1,21	98,9	102	0,97	36,3	32,7	1,11	102000	69300	1,47	0,134	0,0388	3,45	
19	Edsvatn	37100	37200	1,00	36,9	7,29	5,34	1,54	1,43	1,08	0,283	0,179	1,58	21,8	21,5	1,01	80,4	83,9	0,96	44,6	34,2	1,30	86400	69200	1,54	0,116	0,0553	2,10	
20	Hammerv.	29400	25300	1,16	95,3	20,4	4,67	1,35	0,98	1,38	1,79	2,72	6,58	350	133	2,63	87,3	86,2	1,01	20400	3810	5,35	218000	69400	3,14	0,523	0,233	2,24	
21	Bjornilvatn	27400	33800	0,81	9,15	15,3	0,60	0,91	1,14	0,80	0,86	0,644	13,45	129	73,4	1,76	76,2	98,6	0,77	3710	117	31,71	17600	98400	1,78	0,265	0,117	2,26	
22	Nossavatn	27300	30100	0,97	21,3	1,25	1,70	1,21	1,13	1,07	0,412	0,38	1,08	28,2	22,9	1,23	57,6	55	1,05	57,8	33,6	1,71	85700	61800	1,06	0,161	0,159	1,14	
23	Langvatn	11300	14700	0,77	1,17	0,729	1,60	0,88	1,02	0,96	0,282	0,215	1,22	24,7	11,2	2,21	34,5	38,1	0,91	25,7	36,4	0,73	45100	20800	2,17	0,0757	0,0459	1,65	
24	Cusudalsvatn	14300	19500	0,73	0,84	1,36	0,53	1,01	0,991	1,02	0,165	0,255	0,65	91,2	74,6	1,22	56,5	136	0,98	25,1	48,10	0,01	59800	181000	0,33	0,0551	0,0743	0,74	
25	Djupsvatn	29000	17800	1,63	17	14,9	1,14	0,999	0,987	1,01	15,3	0,684	13,61	38,5	9,22	41,76	74,3	76	0,98	4580	82,3	55,77	206000	40200	5,12	0,591	0,122	4,84	
26	Sjøkløven	13100	10900	1,20	4,53	4,69	0,97	1,01	0,988	1,02	24,4	0,082	35,67	47,2	7,69	6,14	48,4	47,2	1,03	2760	47,9	57,62	38900	18800	2,32	0,19	0,0941	2,02	
27	Sjøkløven	11900	13500	0,88	14,4	6,82	2,11	1,01	0,988	1,02	30,4	0,122	29,80	17,7	10,5	16,86	34,8	53,8	0,65	2310	55,5	1,34	197000	24000	8,21	0,176	0,122	1,44	
28	Hitersund	22200	25200	0,88	3,17	3,83	0,81	0,981	1,2	0,82	0,827	0,497	1,66	20,1	29,9	0,67	63,5	71,5	0,89	6640	57,2	11,31	95000	90900	1,05	0,0895	0,0388	2,25	
29	Aursunden	59600	28600	2,08	3,9	5,17	0,75	2,26	0,56	3,90	8,95	1,78	5,86	14,2	3,7	0,38	103	109	0,94	1740	57,6	30,21	27600	20200	1,37	0,13	0,0388	3,27	
30	Onvsjøen	12100	11700	1,03	2,72	9,76	0,28	1,33	1,24	1,03	1,24	0,85	2,67	18,7	17,7	1,07	21,2	31,7	0,67	25,5	31,5	0,81	48200	40600	1,19	0,206	0,0579	3,56	
31	Grumsjøen	19400	18300	1,06	14,1	11,2	1,26	1,33	1,27	1,05	2,31	1,07	3,21	23,4	21,5	1,09	43,3	28,8	0,77	60	47	1,28	41700	39300	1,08	0,286	0,0746	3,16	
32	Mjosa Brumund	15000	20300	0,74	7,85	6,32	1,24	1,03	1,24	0,85	0,954	0,112	0,85	12,9	12,8	1,01	25,6	33,3	0,77	86,6	109	0,81	20000	24700	0,81	0,0887	0,057	3,05	
33	Mjosa Hamar	11600	13500	0,86	0,708	1,06	0,67	0,335	0,36	0,93	0,968	0,112	0,85	12,9	12,8	1,01	25,6	33,3	0,77	86,6	109	0,81	20000	24700	0,81	0,0887	0,057	3,05	
34	Aradalvatnet	25100	38500	0,69	4,79	3,7	1,29	0,29	0,82	0,35	0,682	0,269	2,63	48,7	26,1	1,87	58	71,3	0,81	104	163	0,64	44200	48700	0,91	0,211	0,195	1,08	
35	Storodfjorden	24200	29300	0,63	15,3	21,7	0,71	0,97	1,53	0,63	0,471	0,968	0,49	25	20,2	1,24	29	33,8	0,86	65,3	74,6	0,88	54500	67300	0,81	0,107	0,176	0,61	
36	Mjosa Litenhammer	21600	24100	0,90	10	5,24	1,91	1,47	1,62	0,91	0,968	0,307	3,15	9,95	11,1	0,90	23	20,1	1,14	37	20,8	1,78	21800	22500	0,97	0,239	0,0683	3,45	
37	Mjosa Gjølven	16400	7900	2,08	4,97	3,27	1,32	1,06	0,495	2,14	0,684	1,46	0,47	11,9	4,55	2,62	40,3	84	0,48	53,1	123	0,43	25900	46100	1,33	0,116	0,0486	2,34	
38	Randsfjorden Flubergfj.	20000	17900	1,12	13,8	12,4	1,11	1,42	1,32	1,08	0,804	0,531	1,51	25,6	24,3	1,05	24,3	22,5	1,06	30,8	28	1,06	63100	46100	1,37	0,149	0,0783	1,90	
39	Randsfj. Jevnaker	23200	27200	0,85	13,4	10,9	1,23	1,01	1,27	1,28	0,999	1,28	0,572	2,24	22,7	20,9	1,09	48,5	51,9	0,93	57,2	41,2	1,39	56300	37000	1,52	0,247	0,105	2,35
40	Tolenvika Mjosa	18200	18300	0,94	26,5	5,73	4,62	1,27	1,28	0,999	1,28	0,572	2,24	22,7	20,9	1,09	48,5	51,9	0,93	57,2	41,2	1,39	56						

Nr.	Innsj.	Al	Al-ref	Kf	As	As-ref	Kf	Be	Be-ref	Kf	Cd	Cd-ref	Kf	Co	Co-ref	Kf	Cr	Cr-ref	Kf	Cu	Cu-ref	Kf	Fe	Fe-ref	Kf	Hg	Hg-ref	Kf	
68	Stensfj.	25000	27000	0,93	20,3	6,14	3,31				1,01	0,318	3,18	16,8	15,5	1,08	34,9	31,4	1,11	37,9	27,3	1,39	56700	43200	1,31	0,089	0,0394	2,51	
69	Tyrfi.	19600	19000	1,65	8,53	4,48	1,90				0,471	0,311	1,51	13,9	7,53	1,63	24	17,3	1,39	26	20,3	1,28	56700	19600	2,89	0,0643	0,0396	1,62	
70	Kleppvatnet	16700	18000	0,93	29,5	14,1	2,09				0,281	0,231	1,22	5,51	2,97	1,86	26,5	19,5	1,36	51	15	3,40	45300	21000	2,16	0,448	0,177	2,53	
71	Hovvatnet(Siennsnesv.)	28300	29800	0,96	10,9	8,51	1,15				1,31	1,08	1,21	1,88	0,72	2,61	76,1	59	1,29	77,2	44,8	1,72	30400	31400	0,97	0,395	0,161	2,45	
72	Gaupsv.	24700	18800	1,31	6,31	2,52	2,50				0,803	0,204	3,94	14,8	10,2	1,45	19,7	9,16	2,15	45,4	35	2,99	54800	11600	4,72	0,24	0,179	1,34	
73	Stendavatnet	32500	21900	1,53	7,87	3,16	2,49				1,1	0,986	1,12	1,5	2,81	3,34	50,9	27,4	1,86	106	106	3,52	48400	42700	1,13	0,392	0,178	2,20	
74	Nestuvatnet	24700			5,6						1,54		25,9			46,6				132			38700			0,874			
75	Tvelevvatnet	19400	25900	0,75	22,1	6,72	3,29	1,39	1,35	1,03	1,64	1,01	1,62	21,5	28,6	0,75	50	60,9	0,82	203	57,9	3,51	161000	51200	3,14	0,304	0,345	0,88	
76	Solheimsv.	25400	22700	1,12	9,28	3,77	2,46	1,85	1,59	1,16	1,28	1,01	1,25	18,4	14,7	1,25	59,1	32	1,95	118	47,8	2,47	97800	36000	2,71	0,173	0,27	0,64	
77	Ortnvatnet	21700	20400	1,06	8,73	3,06	2,85	1,52	1,32	1,15	0,917	0,529	1,73	13,9	10,4	1,34	38,1	27	1,41	83,4	33,1	2,13	40100	34100	1,16	0,287	0,144	1,99	
78	Apellunvatnet	33000	20900	1,58	11,2	3,87	2,89	1,12	0,981	1,14	1,42	0,51	2,78	29,5	27,3	1,08	64,6	26,1	2,48	167	40,2	4,15	52700	29300	1,80	0,386	0,188	1,95	
79	Asterudfj.	56400	17600	3,20	6,2	2,45	2,53				2,06	0,594	3,47	4,9	13,2	34,77	30,4	21,1	1,44	5960	97,5	60,10	96600	17200	5,63	0,134	0,0501	2,67	
80	Østerm.	42000	41900	1,00	16,6	1,97	8,43				3,24	0,598	5,42	16,2	4,41	3,67	15,8	6,92	2,28	25,9	10,4	2,49	39600	13400	2,96	0,373	0,0986	3,78	
81	Neklev.	34000	31300	1,09	9,89	3,27	2,96				2,05	1,92	1,07	30,2	21	1,44	32,2	43,1	1,24	31,9	25,1	1,27	91200	25900	3,52	0,228	0,0854	2,67	
82	Langfj.	17800	19100	0,93	4,52	3,21	1,41				0,869	0,742	1,17	12	10,9	1,10	32,2	60,1	0,54	100	45,9	2,18	57600	41300	1,39	0,315	0,12	2,63	
83	Engelv.	22900	27000	0,85	10,9	6,99	1,56				7,65	2,02	3,79	10,9	13,6	0,80	24,4	31	0,79	30,5	30,5	1,21	30900	31300	0,99	0,217	0,196	1,11	
84	Eikeren	16200	26500	1,42	10,8	10	1,08				0,611	0,389	1,57	7,48	5,51	1,36	19,6	36,3	0,82	79	65,3	1,21	19800	18300	1,08	0,0633	0,0397	1,59	
85	Stordammen	5700	4020	1,42	11	7,14	4,16				0,968	0,317	3,05	9,67	12,2	0,79	31,1	23,8	1,31	41,1	27,3	1,51	50700	56300	0,81	0,13	0,0664	1,96	
86	Hersjøen	23800	25300	0,94	32,2	1,36	22,13				8,31	1,18	7,04	26,9	32,2	0,84	34,9	19,1	1,83	75,9	43,8	1,73	23700	36200	0,65	0,582	0,0639	9,26	
87	Hovdanskv.	34100	33100	1,03	30,1	1,36	22,13				2,81	0,491	5,72	35	25,4	1,33	37	27,5	1,35	335	56,9	5,89	53700	28400	1,89	0,768	0,18	4,27	
88	Mårvann	29400	40000	0,74	23,2	0,72	34,52				5,22	0,39	13,38	9,13	7,42	1,23	33,5	26	1,29	57,5	38,1	1,47	28600	18700	1,54	0,796	0,19	4,19	
89	Fjellsv.	30400	19900	1,53	15,4	1,11	1,40				8,1	4,4	1,84	25,9	17,6	1,47	45,1	33,4	1,35	64,1	87	0,96	22900	33800	0,68	0,565	0,146	3,87	
90	Blindsv.	30900	33900	0,91	25,1	2,16	11,62				5,97	0,69	6,65	45,2	13,3	3,40	44,9	31	1,45	58,3	37,9	1,54	51600	16000	3,23	0,64	0,207	3,09	
91	Barnlev.	48500	38400	1,22	106	3,36	9,25				1,26	0,518	2,43	15,7	11,3	1,39	34,3	19,1	1,80	32,7	15,9	2,06	73600	26300	2,81	0,485	0,183	2,65	
92	Hallef.	29100	23800	1,48	92,2	5,4	17,07				2,77	0,54	5,13	6,32	7,17	0,88	23,1	7,4	3,12	36,7	10,7	3,43	134000	53400	2,51	0,661	0,106	6,24	
93	Ugjellevatn	35900	24300	1,43	30,4	3,4	8,94				3,7	2	1,85	5,8	10,3	0,56	15,3	6,5	2,35	33,4	14,7	2,27	186000	70600	2,63	0,545	0,1	5,45	
94	Laulandvatn	27800	19500	1,43	20,8	4,4	4,73				4,2	2,1	2,00	3,1	0,64	4,84	18,1	11	1,65	35,6	14	2,54	86800	38500	2,45	0,493	0,082	6,01	
95	Ramsfjordvatn	35300	30400	1,16	20,8	4,4	4,73				1,7	1,5	1,40	14,2	19,1	0,74	28,5	21,6	1,32	33,4	16,3	2,05	58800	38900	1,51	0,301	0,086	6,01	
96	Gunnaarstadvatn	31300	28100	1,11	34,6	7,1	4,87				0,948	0,967	0,98	6,1	13	0,47	27,1	17,6	1,54	36	15,3	2,35	41400	31700	1,31	0,358	0,075	4,77	
97	Gunnaarstadvatn	23000	21500	1,07	3,4	2	1,70				0,861	0,711	1,21	24,9	18,7	1,33	31	39	0,79	55,3	48,4	1,14	58900	34900	1,69	0,167	0,032	5,22	
98	N.Helgelandsvatn	100	ST.Raudvatn	1,07	5,7	4	1,43				1,3	0,75	1,73	30,5	23,3	1,04	53,8	51,6	1,04	153	117	1,31	44900	54200	0,83	0,166	0,054	3,07	
99	Anfiskvatn	33300	34100	0,84	17,3	9,1	1,80				1,2	1,1	1,09	22,7	23,2	0,98	45,1	62,8	0,72	85,3	75,6	1,13	108000	75600	1,43	0,477	0,119	4,01	
100	ST.Raudvatn	28800	34100	0,84	5,4	2,3	2,35				1,5	0,73	2,05	19,2	22,1	0,87	70,7	52,2	1,35	65,9	51,2	1,29	81900	38100	2,15	0,342	0,099	3,45	
101	Svarvatn																												
102	Gåsåbjørna	22800	24300	0,94	5,4	2,3	2,35																						

Nr.	Innsjø	Mn	Mn-ref	Kf	Ni	Ni-ref	Kf	Pb	Pb-ref	Kf	Sb	Sb-ref	Kf	Se	Se-ref	Kf	V	V-ref	Kf	Zn	Zn-ref	Kf	Gt	Gt-ref	Kf	
1	Søndre Holsjøen	357	539	0,66	10,2	8,43	1,21	118	59,1	2,00	0,667	0,343	1,94	2,9	3,26	60,7	79,9	0,76	91,1	69,2	1,32	58,4	66,6	0,88		
2	Lysen	11600	556	20,86	77,1	44	1,75	80,4	48,9	1,64	0,276	0,129	2,14	2,62	2,12	1,24	60,2	64,2	1,08	270	118	2,29	19,4	18,1	1,07	
3	Pattenufjelmet	533	338	1,58	34,2	14,8	1,18	62,1	33,6	1,90	0,333	0,188	1,71	3,85	2,92	1,25	72,9	55,1	1,32	475	200	2,38	30	27,3	1,10	
4	Skinnarfløen	603	579	1,04	45,8	51,6	0,86	23,4	23,6	0,99	0,0973	0,0516	1,69	1,46	1,58	0,82	69,8	39,6	1,76	141	149	0,95	7,6	5,9	1,29	
5	Kornsjø	631	207	3,05	34	12,7	2,66	30,2	16,4	16,41	0,0172	7,90	24,2	2,91	8,32	69,8	39,6	1,76	141	149	0,95	7,6	5,9	1,29		
6	N.Aklangeren	875	990	0,88	20,8	35,3	0,59	80,5	31,6	2,55	0,324	0,823	0,39	3,51	4,09	0,86	66,1	79,5	0,83	222	150	1,48	39,1	28,4	1,38	
7	Seabufjorden	1210	991	1,22	39	38,8	1,06	48,8	22,8	2,13	0,184	0,135	1,84	2,23	2,06	1,08	38,8	42,9	0,90	197	164	1,20	17,8	17,4	1,02	
8	Lanavatin	2080	1080	1,93	27,6	28,2	0,95	107	25,5	4,20	0,185	0,0933	1,98	2,92	2,69	1,09	53,9	52,9	1,02	178	114	1,56	19,1	15,4	1,24	
9	Vangsvatin	860	792	1,09	33,1	32,8	1,01	59,4	41,2	1,44	0,129	0,14	1,44	0,17	2,56	2,5	1,02	38,7	40,2	0,96	119	90	1,32	15,2	20,5	0,74
10	Redsjøvatn	698	375	1,66	24	15,7	1,53	114	30,9	3,69	0,0653	0,11	4,56	4,63	4,68	0,99	53,5	50,3	1,06	253	95,2	2,66	31,7	43,5	0,73	
11	Fjellandsvatn	10500	3910	2,76	63,3	47,4	1,34	124	61,3	2,02	0,172	0,0653	3,71	6,02	5,33	1,13	37,1	36,8	1,01	141	113	1,25	22,3	29,7	0,75	
12	Reyrvatn	422	512	0,82	32,7	30,8	1,06	136	48	2,83	0,397	0,976	0,41	7,14	6	1,19	47,4	35,1	1,35	97,2	78,8	1,23	26,9	30,3	0,89	
13	Tussetvatn	1480	747	1,98	28,3	29,0	0,90	300	97,9	3,08	1,29	0,586	2,20	6,63	4,8	1,38	81,6	81,6	1,35	232	500	63,8	78,4	52,8	47,3	
14	Vesnesvatn	373	566	0,63	23,9	28,6	1,01	78,6	134	0,59	0,0903	0,102	0,89	2,86	6,13	0,42	94,2	92,8	1,02	100	173,0	0,96	33,6	4,6	7,30	
15	Stokkavassvatn	712	633	1,12	22,8	20,5	1,11	56,6	78,3	0,72	0,0892	0,147	1,05	2,92	3,12	0,94	94,2	92,8	1,02	216	106	0,85	22,5	23,1	0,97	
16	Dyringsvatn	142	404	0,35	13,2	6,07	2,17	190	93,2	2,04	0,892	0,227	3,93	10,4	9,43	1,10	101	53,1	1,20	410	216	1,06	40,7	48,9	0,83	
17	Øyevatin	661	542	1,22	46,2	50,7	0,91	66,7	10,3	6,48	0,0396	2,85	1,13	8,21	1,72	1,03	82,1	87,2	0,84	113	93,2	1,21	18,8	18,6	1,01	
18	Grungstadv.	1250	868	1,44	48,8	95,7	0,81	16,3	18,1	0,85	0,0398	1,00	1,7	1,56	1,09	1,09	75	127	0,59	102	150	0,68	6,8	3,2	2,13	
19	Eidsvatn	9120	858	10,63	84,1	71	1,18	23	13,3	1,73	0,641	0,282	2,27	2,41	2,52	0,96	105	103	1,02	146	129	1,13	9,4	4,8	1,96	
20	Hammerv.	4760	538	8,85	78,7	67,6	1,16	25,8	15,7	1,64	0,218	0,131	1,66	2,58	1,86	1,39	77,3	78,2	0,99	153	126	1,21	12,6	7,3	1,73	
21	Bjornvatn	433	876	0,49	106	80	1,33	69,8	25,7	2,72	8,72	0,2	43,90	48,1	4,45	11,03	28,5	63	0,45	64300	7290	8,83	26,7	18	1,48	
22	Ringvatn	6780	4830	1,40	67,1	93,1	0,72	22,6	12,8	1,77	0,153	0,0944	1,62	2,43	2,34	1,04	48,8	72,1	0,88	2240	233	9,61	37,7	28,8	1,31	
23	Nosavatn	1330	864	1,54	41	30,7	1,34	19,5	7,61	2,56	0,0956	0,187	0,11	2,02	3,13	0,65	104	129	0,81	146	85	1,75	22,7	29,2	0,78	
24	Langvatn	10700	382	28,01	55,2	25,4	0,77	6,44	1,82	3,54	0,307	0,177	1,73	1,12	0,96	2,63	46,2	59,8	0,77	56,6	82,5	0,91	5	3,6	1,39	
25	Gusudsvatin	968	42200	0,02	1820	207	8,79	9,81	503	0,02	0,136	0,22	0,62	1,41	2,34	0,60	39,4	53,1	0,74	99,7	5400	0,02	12,4	27,3	0,45	
26	Dippjøen	44100	738	59,78	193	125	1,54	493	20,4	24,17	0,261	1,85	1,16	1,16	1,71	6,78	41	25,5	1,61	5010	464	10,80	22	16,3	1,35	
27	Stikkjøen	648	251	2,58	139	110	1,26	195	6,14	31,76	0,159	0,187	1,81	6,25	2,69	2,32	21	17,4	1,21	7900	366	21,75	32,7	25,3	1,29	
28	Hiltersjøen	42300	634	74,61	254	113	2,25	232	12,1	19,17	0,0867	1,40	6,74	3,3	2,04	18,5	23	0,80	7660	412	18,59	25,9	22,8	1,14		
29	Aursunden	12800	2470	5,18	90,5	81,3	1,11	25,5	10,4	2,45	0,0637	1,65	2,23	2,83	0,81	49,2	51,9	0,95	259	208	1,25	6,7	6,8	0,99		
30	Onvsjøen	632	1140	0,55	33,2	54,6	0,61	536	71,1	0,75	0,0852	0,671	0,13	9,96	7,27	1,37	33,8	52,5	0,64	4050	9080	0,45	34,4	0,6	57,33	
31	Grunnsjøen	706	523	1,35	95,3	66,8	0,58	12,8	4,26	3,00	0,881	0,361	2,44	3,1	3,73	0,75	20,7	19,6	1,06	1950	470	4,15	20,8	1,21		
32	Mjosa Bjurund	10600	3420	3,10	57,1	45,8	1,25	27,7	15,1	1,83	0,0884	0,289	0,31	1,48	0,9	1,64	29,3	42,3	0,89	170	96,3	1,77	12,8	7,6	1,68	
33	Mjosa Hamar	12000	1900	6,32	97,4	54,3	1,79	42,3	20	2,12	0,266	0,143	1,36	1,66	1,29	1,29	70,1	68,7	1,02	283	137	2,07	12,4	6,4	1,94	
34	Åndalsvatnet	323	318	1,02	17,9	20,0	0,90	6,65	6,66	1,00	0,0464	0,089	1,19	0,541	0,702	0,21	54,5	72	0,76	45,8	50,2	0,91	2,1	2,6	0,81	
35	Espeidsvatin	28600	1180	24,24	194	86,7	2,24	75,2	7,71	9,75	0,347	0,0398	8,72	2,84	1,41	1,87	73,6	84,3	0,87	129	94,5	1,37	16,9	16,8	1,01	
36	Strondafjorden	5000	1380	3,62	98,5	53,2	1,10	22,7	33	0,69	0,0987	0,112	0,88	0,907	2,47	0,37	44,8	47,8	0,84	159	243	0,65	6,1	19,2	0,32	
37	Mjosa Lillehammer	5390	1390	3,87	60,6	58	1,04	25,2	14,8	1,70	0,0681	0,0398	1,11	1,12	0,36	2,95	54,9	62,5	0,88	144	100	1,44	8,9	3,5	2,54	
38	Mjosa Gjøvik	272	152	1,79	32,3	15,6	2,07	34	41,2	0,83	0,0906	1,39	0,07	0,387	0,536	0,72	47,2	24,4	0,93	140	148	0,95	7,1	78,8	0,09	
39	Randsfjorden Flubergfj.	40900	5200	7,87	138	51	2,71	102	19,8	5,15	0,0613	0,351	0,17	0,8	1,09	0,73	44,1	40	1,10	168	102	1,65	10,7	5,6	1,91	
40	Randsfjorden Jevnaker	6060	692	8,76	88,4	75,3	1,17	32,1	17,2	1,87	0,131	0,0713	1,84	2,48	0,993	2,50	51,5	44,6	1,10	168	102	1,65	10,7	5,6	1,91	
41	Totenvik Mjosa	1710	792	2,16	46,5	39,3	1,18	31,9	37,6	0,85	0,0635	0,0575	1,10	1,93	1,89	1,02	73,4	59,1	1,23	205	114	1,80	11,8	5,7	2,07	
42	Borrev.	760	348	2,18	25,4	19,4	1,09	350	32,3	10,84	1,11	0,488	2,27	10,5	8,65	1,21	73,9	28,2	2,82	710	137	5,18	38,6	46,4	0,79	
43	Øllevatn	4980	5060	0,98	27,8	22,3	1,24	408	31,2	13,01	1,31	0,067	19,55	7,32	6,07	1,21	51,9	33,8	1,54	224	112	2,00	47,3	43	1,10	
44	Zestire Grimevatn	209	206	1,01	37,9	16,6	2,04	312	56,8	5,31	1,11	0,089	5,58	5,02	4,23	1,19	79,2	59,2	1,34	504	87,1	5,79	61,6	66,3	0,90	
45	Ulsjøggi.	209	254	0,62	15,5	17,4	0,89	116	59,2	1,99	0,42	0,151	2,78	2,35	2,1	1,12	58,4	43,5	1,34	168	69,8	2,41	25,4	35,6	0,71	
46	Trevatn	2450	1030	2,38	47,3	49,8	0,95	64,3	15,5	4,15	0,881	0,0692	12,73	5,47	4,17	1,31	86,7	85,6	1,01	197	148	1,33	25,9	31,3	0,83	
4																										

Nr.	Intsjø	Mn	Mn-ref	Kf	Ni	Ni-ref	Kf	Pb	Pb-ref	Kf	Sb	Sb-ref	Kf	Se	Se-ref	Kf	V	V-ref	Kf	Zn	Zn-ref	Kf	Gl	Gl-ref	Kf
66	Steinsjø	3540	938	3,88	41,4	36,8	1,13	62,3	21,4	2,91	0,0831	0,0483	1,72	386	2,71	142,44	57,4	50,8	1,13	183	116	1,58	11,8	6,2	
69	Tyrifi	1630	408	4,00	25,2	19,2	1,31	33,1	19,6	1,69	0,0886	0,093	0,95	2,93	2,05	1,43	39,2	39,2	1,42	131	68,5	1,91	12,9	11,9	
70	Kleppvatnet	187	95,2	1,96	15,3	6,91	1,72	100	51,6	4,03	1,52	0,262	5,80	6,47	5,45	1,19	69,4	41,8	1,66	76,5	33,6	2,28	41,1	57,7	
71	Hopsvatnet(Slumsnesv.)	307	371	0,93	36,3	30,3	1,00	180	155	1,16	5,17	1,55	3,34	6,54	5,29	1,24	79,3	83,7	0,95	401	127	3,16	48,8	39,4	
72	Stupasv.	357	162	2,20	35,3	18,4	1,92	81,3	28,3	2,87	0,836	0,353	2,37	4,54	3,84	1,18	37,5	21,9	1,71	163	24,5	6,85	44,5	1,00	
73	Stendavatnet	720	814	0,68	50,8	28,7	1,77	108	24,7	4,37	0,628	2,47	0,25	3,38	2,63	1,29	99	60,5	1,64	477	70	6,81	25,3	23,6	
74	Nestuvatnet	641			41,1			161			0,932			3,26			63,4			464			22,4		
75	Tvelevatnet	1270	707	1,80	42,7	39,3	1,09	140	107	1,31	0,844	0,462	1,83	3,89	3,81	1,02	69,9	80,6	0,87	775	367	2,11	32,9	27,1	
76	Solheimsv.	691	501	1,38	44,5	21,2	2,10	109	48	2,27	0,29	0,455	0,64	3,4	6,45	0,53	78,1	51,3	1,52	563	248	2,27	19,6	37,3	
77	Orntuvatnet	439	445	0,99	34,6	16,2	2,14	137	70,3	1,95	0,554	0,151	3,67	3,48	3,11	1,12	61,1	48,6	1,26	382	225	1,70	20,3	31,6	
78	Apletuvatnet	574	572	1,00	82,7	22,8	3,63	122	69,8	1,75	0,806	0,29	2,09	3,77	4,57	0,82	87,5	69	1,27	567	100	5,67	36,3	62,5	
79	Astevdji	354	362	0,98	9890	52,2	189,46	73,1	11,5	6,36	0,952	0,0661	8,35	7,39	9,39	0,79	16,1	36,4	0,50	488	137	3,56	54	51,1	
80	Østernv.	1080	618	1,76	15,1	6,36	2,37	237	16,7	12,67	1,55	0,083	18,67	9,3	6,26	1,49	61,1	28,3	2,16	540	161	8,99	58,2	58,3	
81	Nøkiev.	2810	912	3,06	29,6	19,6	1,51	149	35	4,26	0,27	0,0575	4,70	6,19	1,2	0,52	73,2	47,8	1,53	431	142	3,04	27,2	44,3	
82	Långji.	1120	470	2,38	63	41,3	1,53	103	65,5	1,57	0,131	0,0544	2,41	1,8	3,56	0,51	75,9	57	1,33	604	262	2,31	14,4	17,9	
83	Engerv.	329	313	1,05	26,7	27,5	0,97	81,1	43,8	2,53	0,171	0,0841	2,03	7,94	6,2	1,28	45,7	41,3	1,11	237	259	0,92	12,6	8,9	
84	Eikeren	46400	2000	23,20	25,8	26,8	0,96	111	168	121	1,39	0,253	1,09	9,03	7,37	1,23	29,4	31,1	0,95	2470	803	3,08	41,2	40,5	
85	Stordammen	353	232	1,52	31	43,6	0,71	168	12,1	1,32	0,118	0,0396	2,98	2,89	2,66	1,09	20,7	9,91	2,09	73	0,991	73,66	28,8	30,1	
86	Hersjøen	61500	146000	0,42	14,6	11,1	1,32	24,2	16,5	1,47	0,18	0,0396	2,98	4,45	5,21	0,85	70	56	1,25	131	75,3	1,74	27,7	37,4	
87	Aklandsv.	442	253	1,75	36,1	30,4	1,19	661	4,01	164,84	2,64	0,0735	35,92	11,5	11,8	0,97	68,2	36,7	1,86	633	82,4	7,68	52,2	57,4	
88	Howdansv.	175	341	0,51	194	48,5	3,92	328	20	16,40	2,67	0,0883	27,16	9,86	9,1	1,08	76,5	39,5	1,94	338	58,9	5,74	59,2	61,8	
89	Fjellsv.	161	110	1,46	31,4	21	1,50	378	5,84	64,73	2,89	0,0506	57,11	11,3	10,3	1,10	61,5	34,2	1,80	468	69,2	6,76	54,3	62,5	
90	Bjellandsv.	331	311	1,06	40,4	36,7	1,10	388	43,9	8,84	0,736	0,12	8,70	7,3	19,3	0,38	69,7	73,2	0,95	618	152	4,07	43,8	56,5	
92	Båmiev.	828	276	3,00	44,5	19,8	2,25	323	23,8	13,57	1,07	0,123	6,13	7,3	19,3	0,38	69,7	73,2	0,95	618	152	4,07	43,8	56,5	
93	Hallev.	1120	831	1,35	22,1	12,6	1,75	170	13,6	12,50	0,562	0,0533	10,54	7,43	6,67	1,31	73	61,5	1,19	311	103	3,02	39,4	43,1	
94	Ugjeilvatn	325	360	0,90	15,6	4,6	3,39	402	25,5	15,76	2,16	0,04	54,00	6,54	3,93	1,66	71,1	26,3	2,70	422	144	2,93	39,9	39,7	
95	Laulandvatn	349	363	0,96	11,1	5	2,22	391	80,6	4,85	2,6	0,06	43,33	8,2	3,7	2,22	93,3	38	2,46	626	197	3,18	42,1	45,7	
96	Ramsjordvatn	447	640	0,70	13,9	7,82	1,78	348	41,4	8,41	1,4	0,04	35,00	5,4	2,2	2,45	63,6	31,5	2,02	575	187	3,07	40,3	39,9	
97	Gummarstadvatn	97	1040	0,76	20,7	13,4	1,54	194	23,3	8,33	0,412	0,04	10,30	9,6	3	1,20	46,4	28	1,66	233	156	1,71	36,1	34,2	
98	N.Høglandsvatn	454	515	0,88	20,1	10,7	1,88	351	48,7	7,21	1,26	0,073	17,26	9,6	3,1	1,81	67,4	28,2	2,31	335	105	3,19	49,3	40,4	
99	Anfiskvatn	1290	363	3,55	26,2	27,7	0,86	44,5	14,3	3,11	1,17	0,04	2,93	1,3	1,2	1,08	69,4	56,2	1,19	151	115	1,31	56,8	17,1	
100	St.Raudvatn	419	376	1,11	49,9	51	0,98	78,1	17,4	4,49	0,0821	0,041	2,00	2,4	2	1,20	69,5	62	1,12	259	210	1,23	23,7	15,3	
101	Svartvatn	1890	830	2,28	29,4	38,5	0,76	223	22,1	10,09	0,59	0,092	6,41	6,6	5	1,32	76,2	85,5	0,89	306	152	2,01	57	53,1	
102	Gåstjøenna	1110	880	1,26	54,4	49,2	1,11	221	11,6	19,05	0,207	0,041	5,05	2,7	2,2	1,23	70,7	52,7	1,34	535	156	3,43	44,5	56,9	