Atmosfærisk nedfall av tungmetaller i Norge
Landsomfattende undersøkelse i 2005

Rapport:	980/2007
TA-nummer:	TA-2241/2007
ISBN-nummer	978-82-7655-303-1
Oppdragsgiver:	Statens forurensningstilsyn
Utførende institusjon:	Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet (NTNU)
Forfattere:	Eiliv Steinnes (NTNU), Torunn Berg, Hilde Uggerud og Marit Vadset (NILU)

Atmosfærisk nedfall av tungmetaller i Norge

Landsomfattende undersøkelse i 2005

Forord

Denne rapporten presenterer en sammenfatning av de viktigste resultatene fra den sjette landsomfattende kartleggingen av atmosfærisk nedfall av tungmetaller i Norge. Rapporten er basert på moseprøver innsamlet fra 464 lokaliteter sommeren 2005, og dekker hele Norges fastland. Resultatene er presentert i form av kart som viser den geografiske utbredelsen av ti prioriterte metaller i mose, og dermed gir et relativt bilde av atmosfærisk nedfall av disse metallene. Rapporten viser dessuten hvordan nedfallet har utviklet seg over tid i forskjellige landsdeler gjennom de siste 30 år.

Professor Eiliv Steinnes, Institutt for kjemi, NTNU har vært ansvarlig for innsamling og preparering av prøver. De kjemiske analysene er utført av Hilde Thelle Uggerud og Marit Vadset ved NILU. Rapporten er i alt vesentlig utarbeidet av Eiliv Steinnes og Torunn Berg.

Trondheim, februar 2007

Eiliv Steinnes
Prosjektleder

Innhold

Forord 1

1. Sammendrag ... 5

2. Innledning ... 6

3. Praktisk gjennomføring av undersøkelsen ... 7
3.1 Prøvetaking ... 7
3.2 Analyser ... 7

4. Resultater ... 8

5. Diskusjon ... 9
5.1 Generelle trekk ... 9
5.2 Metaller som klart kan relateres til luftforurensning ... 10
5.2.1 Vanadium (V) ... 10
5.2.2 Krom (Cr) ... 10
5.2.3 Jern (Fe) ... 10
5.2.4 Kobolt (Co) ... 10
5.2.5 Nikkel (Ni) ... 10
5.2.6 Kopper (Cu) ... 10
5.2.7 Sink (Zn) ... 10
5.2.8 Gallium (Ga) ... 10
5.2.9 Arsen (As) ... 10
5.2.10 Kadmium (Cd) ... 11
5.2.11 Kvikksølv (Hg) ... 11
5.2.12 Bly (Pb) ... 11
5.2.13 Antimon (Sb) ... 11
5.2.14 Andre grunnstoffer ... 11
5.3 Utvikling fra 2000 til 2005 ... 11
5.4 Utvikling fra 1977 til i dag ... 11

6. Litteratur ... 13

Vedlegg A Tabeller og figurer ... 15

1. Sammendrag

Atmosfærisk nedfall av tungmetaller i Norge er kartlagt på geografisk basis i 2005 ved analyse av prøver av etasjemose innsamlet fra 464 lokaliteter fordelt over landet. Denne rapporten gir en presentasjon av resultatene, samt en sammenlikning med tilsvarende resultater fra tidligere undersøkelser av samme slag. Undersøkelsen inngår i et internasjonalt program som omfatter store deler av Europa. De kjemiske analysene er i alt vesentlig utført ved ICP-MS, og kvaliteten av analysedata er kontrollert ved analyse av internasjonale referansematerialer.

Undersøkelsen gjelder i første rekke de ti metallene vanadium, krom, jern, nikkel, kopper, sink, arsen, kadmium, kvikksølv og bly som er prioritert i det internasjonale programmet. I tillegg rapporteres data for ytterligere 44 grunnstoffer i mosen. Diskusjonen av de enkelte undersøkte stoffene gjelder i første rekke bidrag fra forurensning, men omfatter også en vurdering av eventuelle bidrag fra naturlige kilder til innhold i mosen, og hvordan bidrag fra disse kildene kan innvirke på tolkningen av resultatene.

Atmosfærisk nedfall fra andre land i Europa er fremdeles en dominerende kilde til nedfall av de prioriterte metallene vanadium, sink, arsen, kadmium og bly i Norge. Det samme gjelder også molybden, sølv, tinn, antimon, thallium og vismut. Nivåene av disse elementene er fremdeles nedadgående, men nedgangen fra 2000 til 2005 er mindre markert enn det som har vært tilfelle i tidligere 5-årsperioder. Nedgangen over tid har vært særlig stor for bly, der nedfallet på Sørlandet nå er mindre enn 10 % av hva det var ved den første landsomfattende nedfallsundersøkelsen i 1977. Smelteverk på Kola gir stadig betydelig nedfall i Øst-Finnmark av kopper og nikkel, og nedfallet av disse metallene viser en klar økning i 2005 sammenliknet med tidligere undersøkelser. Flere steder registreres stadig nedfall fra lokale norske kilder, som f.eks. krom og jern i Mo i Rana og sink og kadmium i Odda.

2. Innledning

Prøvetaking og analyse av terrestrisk mose er en vel etablert teknikk til å studere nedfall av sporelementer fra atmosfæren i stor geografisk skala. Landsomfattende kartlegginger av denne typen i Norge er tidligere utført i 1977 [1,2], 1985 [3,4], 1990 [5,6], 1995 [7,8], og 2000 [9] og inngår som en del av Statlig program for forurensningsovervåking. Dataene inngår dessuten som ledd i en internasjonal kartleggingsvirksomhet der moseprøver innsamles og analyseres i en rekke land i Europa [10-13] på tilsvarende måte som i den foreliggende undersøkelsen. Koordineringen av dette arbeidet skjer i regi av ICP Vegetation, et internasjonalt overvåkingsprogram under UN ECE (United Nations Economic Commission for Europe) (http://icpvegetation.ceh.ac.uk/metals_report_pdf.htm). I 2005-2006 deltar mer enn 20 land i dette arbeidet.

Basis for denne teknikken er at moser generelt mangler rotsystem og derfor tar opp næring via bladverket. Moser har dessuten en evne til å binde mange tungmetaller og andre sporelementer ganske sterkt, og vil derfor akkumulere disse stoffene fra atmosfæren. Ettersom prøvetaking av mose er temmelig enkel, og analysene også er relativt enkle fordi elementene er sterkt oppkonsentrert fra den lufta eller nedbøren de stammer fra, er denne teknikken særlig godt egnet for nedfallsundersøkelser i stor geografisk skala.

Normalt gir mosemetodikken et relativt bilde av nedfallfordelingen. Kalibrering av konsentrasjonsdata for metaller i mose med nedbørprøver tatt i samme tidsperiode ved et betydelig antall stasjoner i Norge [14, 5], gjør det imidlertid nå mulig å konvertere data fra denne type moseundersøkelser til nedfall pr. areal- og tidsenhet for et flertall av de viktigste tungmetallene denne rapporten omhandler.

Den arten som brukes ved nedfallsundersøkelsene i Norge er bladmosen *Hylocomium splendens* (etasjemose) som vokser på bakken, er enkel å kjenne og har en enkelt identifiserbar årlig tilvekst. Arten er lett å finne de fleste steder i landet.

3. Praktisk gjennomføring av undersøkelsen

3.1 Prøvetaking

Prøvene er tatt minst 300 meter fra hovedveier og tett befolkede områder, og minst 100 meter fra lokal vei, enkeltstående hus eller dyrka mark. På hver lokalitet ble 5-10 delprøver tatt innenfor et område på ca. 50x50 meter og samlet i en 2-liters papirpose. Det ble brukt engangshansker av polyeten både ved prøvetaking og ved videre bearbeiding av prøvene. Det ble så vidt mulig unngått å ta mose som vokser under trær og busker. Hver prøvelokalitet ble koordinatfestet ved hjelp av GPS (globalt satellittnavigasjonssystem).

I laboratoriet ble papirposene med mosen tørket på benk ved romtemperatur. Deretter ble prøvene rensket for hånd, og årets tilvekst av *Hylocomium splendens* (som regel ubetydelig) samt årsskuddene fra de tre foregående år ble skilt ut for analyse.

Prøvene ble innsamlet i perioden 20.4.–10.8.2005 fra 464 lokaliteter innenfor et landsdekkende nett. Prøvenettet i 2005 er det samme som i 2000.

3.2 Analyser

Mosene ble oppsluttet ved hjelp av mikrobølgeteknikk. Tørr mose (0.4-0.5 g) ble nøyaktig innveid og tilsatt HNO_3 (5 ml suprapur). Følgende temperaturprogram for mikrobølgeovn ble benyttet: 20-50°C i løpet av 5 min, 50-220°C i løpet av 17 min og deretter 220°C i 20 min. Etter avkjøling ble prøveløsningen fortynnet til 50 ml. 1 ml av denne prøveløsningen ble tilsatt 10 µl 1 ppm Re og fortynnet til 10 ml.

Prøveløsningene ble analysert ved bruk av høyoppløsende induktivt koplet plasma massespektrometer (ICP-HRMS).

Analyseinstrumentet som er brukt er en ELEMENT2, fra Finnigan, Tyskland. De ulike instrumentinnstillinger som ble benyttet er angitt i Tabell 1. Alle standarder og kalibreringsblind inneholdt 1 ppb Re som internstandard og 1 % HNO_3 sp. Kalibreringskurven ble verifisert mot kontrollprøve (SPEX) sporbar til NIST og rekalibrering ble foretatt for hver 48. prøve.

På denne måten ble det oppnådd tilfredsstillende data for 49 elementer, inklusive 9 av de tungmetallene som er prioritert i programmet. For bestemmelse av Hg ble en andel av løsningen tilsatt BrCl for stabilisering, og analysene ble utført ved atomfluorescensspektrometri.

4. Resultater

I tillegg til data for de 10 prioriterte grunnstoffene (V, Cr, Fe, Ni, Cu. Zn, As, Cd, Hg, Pb) presenteres resultater for 49 grunnstoffer som kommer ut ved analysene i tillegg. Ikke alle disse stoffene forekommer i mosen på grunn av atmosfærisk nedfall [18], men noen av dem gjør det, og samtlige grunnstoffer er nevnt i diskusjonen.

Medianverdier, aritmetiske middelverdier og konsentrasjonsområder for de 59 grunnstoffene er gitt i Tabell 3. I Tabell 4 er medianverdiene for 2005 sammenliknet med tilsvarende verdier fra de tidligere landsomfattende moseundersøkelsene. Fargekart som viser den geografiske fordelingen av de 10 prioriterte grunnstoffene er vist i Figurene 1-10. Dessuten er det vist tilsvarende kart (Figur 11) for Sb, den kanskje aller mest typiske eksponenten blant metallene for langtransport av aerosoler i luft.

Mosedata fra seks forskjellige undersøkelser (1977, 1985, 1990, 1995, 2000, 2005) gir et godt grunnlag for å vise hvordan tidsutviklingen har vært for de metallene som hele tiden har vært med i undersøkelsene. For dette formål ble det valgt ut et antall lokaliteter som hele tiden har vært med i programmet. Ti lokaliteter innenfor hvert av seks områder i forskjellige deler av landet ble valgt, og gjennomsnittsverdier for hvert av metallene ble beregnet. De utvalgte lokalitetene er vist på kartet i Figur 12, og er slik valgt at de skulle være lite påvirket av lokale kilder til luftforurensning. Tre av områdene (benevnt S. Østland, Ø. Sørland, V. Sørland) er relativt sterkt utsatt for langtransportert forurensning, mens de øvrige tre (benevnt Midt-N innl, Midt-N kyst, Indre Tr/Fi) er områder som hele tiden har vist relativt lave verdier for atmosfærisk nedfall av metaller.

For å sikre at resultatene skulle være så sammenlignbare som mulig ble fem lagrede mose-prøver fra hver av de foregående undersøkelsene analysert sammen med prøvene fra 2005. I de fleste tilfeller viste resultatene fra 2005 godt samsvar med tidligere data. I noen få tilfeller der forskjellen var større enn 20 % ble de tidligere dataene korrigert tilsvarende.

Tidsutviklingen i mose er vist i Figurene 13-22 for de ti prioriterte metallene og i Figur 23 for Sb. For de fleste metallene gir kurvene et direkte bilde av den tilsvarende utviklingen i atmosfærisk nedfall. For enkelte metaller, særlig Cu og Zn, er det nødvendig å ta hensyn til at mosen har et naturlig nivå av elementet som først må trekkes fra for å få fram tidsutviklingen for disse stoffene.

5. Diskusjon

5.1 Generelle trekk

Ved diskusjon av analysedata for grunnstoffer i mose i relasjon til atmosfærisk nedfall er det viktig å merke seg at det ikke bare er nedfall av luftforurensninger fra lokale kilder og atmosfærisk langtransport som bestemmer sammensetningen i mosen [18]. Følgende kilder er også av betydning:

- Naturlige kretsløpsprosesser, særlig atmosfærisk langtransport av stoffer fra det marine miljø.
- Opptak i høyere planter gjennom rotsystemet, og overføring til mosen gjennom strøfall eller ved utvasking fra levende og dødt plantevev.
  Mineralpartikler, hovedsakelig frigjort til luft ved vinderosjon av lokalt jordsmonn m.m.
- Opptak fra grunnen i perioder hvor jordoverflaten er dekket med vann.

Dette betyr at det alltid vil være et vist bakgrunnsnivå i mosen for samtlige grunnstoffer som forekommer i naturen, og dette vil kunne variere fra sted til sted avhengig av de prosessene som er nevnt ovenfor.

På tross av dette er det enkelt å identifisere trekk i materialet som åpenbart må ha med luftforurensning å gjøre. Det er f.eks. klart [1-8] at de relativt sett høyere verdiene i de sørligste delene av Norge for metaller som V, Zn, As, Cd, Sb, Hg og Pb i hovedsak har sammenheng med atmosfærisk transport fra andre deler av Europa, jfr. Figurene 1, 6, 7, 8, 11, 9, 10. Denne tendensen er også temmelig klar for andre grunnstoffer (Mo, Ag, Tl, Bi) som ikke er vist i figurform. Den kontinuerlige nedgangen som er registrert for disse stoffene tidligere har fortsatt mellom 2000 og 2005, men den relative nedgangen er noe mindre enn tidligere. Grunnstoffer der fordelingen er sterkt preget av nedfall fra punktkilder er Cr, Ni og Cu, og i noe mindre grad V, Fe, Co, Zn, Ga, As, Cd, Hg, Tl og Bi.

For mange av grunnstoffene er det også klare sammenhenger å spore med mekanismer uten tilknytning til forurensning. Grunnstoffer som Mg og Sr viser geografiske mønstre i mosen som klart peker i retning av bidrag fra det marine miljø. Tilførsel til mosen via høyere planters opptak og utskillelse og i visse perioder muligens direkte fra jordvæsken [19] er helt dominerende for Mn, gjør seg også klart gjeldende for Mg, Ca, Zn, Rb og Cs, og spiller dessuten en viss rolle for Cu og muligens for Cd. Bidrag fra lokalt mineralmateriale (vinderosjon etc.) er tidligere antatt å være en dominerende forklaringsfaktor for Li, Al, Y, lantanoider (La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb), Th, U, og utenfor områder sterkt preget av lokale forurensningsutslipp også for V, Cr, Fe og Co [6]. Denne faktoren er sannsynligvis også dominerende for de stoffene som ikke er nevnt ovenfor (Be, Ti, Zr, Nb, Hf, Ta,W).

Det er imidlertid grunn til å merke seg at nivåene i mosen av noen av de stoffene som er antatt å stamme hovedsakelig fra lokale jordpartikler (f.eks. Al og Fe) har avtatt jevnt og trutt i Norge i løpet av de snart 30 årene moseundersøkelsene har pågått, jfr. Figur 3, mens de stoffene som presumptivt tilføres hovedsakelig via høyere planter (Mg, Ca, Mn, Rb) ikke har avtatt tilsvarende. Dette kan tyde på at disse såkalte lithofile grunnstoffene også har andre kilder, f.eks. langtransport av flygeaske fra kullforbrenning. En tilsvarende nedgang over tid er vist for Fe i svenske moseundersøkelser [20].

5.2 Metaller som klart kan relateres til luftforurensning

I dette kapitlet er det gitt en nærmere diskusjon av de grunnstoffene som enten domineres av atmosfærisk langtransport eller slippes ut til luft fra lokale kilder i et betydelig omfang. En mer omfattende diskusjon av nedfall av tungmetaller og andre grunnstoffer i nærområdene til et antall større industribedrifter i Norge, basert på separat innsamling av moseprøver i 2000 og 2005, er gitt i separate rapporter [21, 22].

5.2.1 Vanadium (V)

Nedfallet av V fra atmosfærisk langtransport har avtatt gradvis siden 1977, og bidraget har gått ytterligere ned fra 2000 (Figur 1), mest på Sørlandet.

5.2.2 Krom (Cr)

Situasjonen er omtrent den samme som i 2000 (Figur 2): Lavt nedfall i landet generelt, men stadig relativt høyt i nærområdet til industrier i Mo i Rana.

5.2.3 Jern (Fe)

Nivået i mose har avtatt noe over tid, og er ganske jevnt over landet (Figur 3) bortsett fra Mo i Rana der lokal industri stadig bidrar til nedfall, noe mer enn i 2000.

5.2.4 Kobolt (Co)

Bortsett fra et tydelig forurensningsbidrag i Varanger-området fra industri på Kola skyldes Co i mose hovedsakelig støv fra lokalt jordsmonn.

5.2.5 Nikkel (Ni)

Situasjonen er omtrent den samme som i 2000, men det generelle nivået ser ut til å ha avtatt (Figur 4). Tilførselen fra kilder på Kola har økt sterkt siden 2000. Det registreres fremdeles mindre bidrag fra industrier i Årdal og Kristiansand.

5.2.6 Kopper (Cu)

Situasjonen for Cu (Figur 5) har endret seg relativt lite over det meste av landet siden 2000, men tilførselen fra kilder på Kola viser en sterk økning.

5.2.7 Sink (Zn)

Bidraget fra atmosfærisk langtransport (Figur 6) er ytterligere redusert siden 2000. Industrien i Odda bidrar stadig til nedfall i nærområdet omtrent som tidligere.

5.2.8 Gallium (Ga)

Ga følger stort sett den gruppen som har sammenheng med jordstøv. Dette grunnstoffet er geokjemisk nær beslektet med Al, og viser forhøyede verdier i mosen nær flere aluminium-verk i landet.

5.2.9 Arsen (As)

Bidraget fra atmosfærisk langtransport (Figur 7) har avtatt kraftig siden 1970-tallet, og viser også en viss nedgang siden 2000. Lokalt registreres som tidligere nedfall i Varanger-området fra industri på Kola og i noen grad rundt industrier i Sauda, Årdal og Odda. Nedfallet i Sauda er betydelig redusert siden 2000.

5.2.10 Kadmium (Cd)

Ytterligere reduksjon i bidraget fra atmosfærisk langtransport registreres siden 2000-undersøkelsen (Figur 8). Det lokale nedfallet fra industri i Odda viser liten endring fra tidligere.

5.2.11 Kvikksølv (Hg)

Mens nivå og geografisk fordeling av Hg i mose var tilnærmet konstant i Norge i perioden 1985-1995 [7,8] viste resultatene fra 2000 en generell nedgang. Resultatene i 2005 er på nivå med 2000-undersøkelsen, og det gjelder også det lokale nedfallet av Hg i Odda (Figur 9).

5.2.12 Bly (Pb)

Nedfallet av Pb i Norge (Figur 10) har gått ytterligere ned siden 2000, men den relative nedgangen er klart mindre enn tidligere. Ytterligere nedgang kan neppe ventes før bruken av blyholdig bensin opphører i enkelte land i Øst-Europa.

5.2.13 Antimon (Sb)

Tidsutviklingen for Sb i mose (Figur 11) er atter et eksempel på den store nedgangen i nedfall av metaller fra atmosfærisk langtransport som har funnet sted i Norge over de siste 20-25 år.

5.2.14 Andre grunnstoffer

Av de øvrige grunnstoffene som er undersøkt men ikke er nevnt spesielt ovenfor, er Mo, Ag, Tl og Bi knyttet til langtransportert forurensning og i noen grad også til utslipp fra lokale kilder. De resterende 31 stoffene finnes stort sett i mosen på grunn av naturlige prosesser, jfr. diskusjonen i kap. 4.1.

5.3 Utvikling fra 2000 til 2005

Atmosfærisk nedfall av tungmetaller i Norge har i alle år siden målingene startet vært sterkt dominert av atmosfærisk langtransport fra land i andre deler av Europa, men nivåene har gradvis avtatt og er i dag vesentlig lavere enn de var på 1970-tallet. Mens resultatene av 1995-undersøkelsen kunne tyde på at nedgangen var i ferd med å stoppe opp for noen elementer [7], viser resultatene fra den foreliggende en ytterligere nedgang for samtlige elementer som er funnet å ha atmosfærisk langtransport som hovedkilde.

Dette betyr at enkeltkilder innenfor landet eller i naboland nær vår grense relativt sett spiller en større rolle for det totale nedfallet av flere tungmetaller i Norge enn tidligere. Eksempler på lokale utslipp av betydning i denne sammenheng er Cu og Ni fra smelteverk på Kola, Cr i Mo i Rana og Zn og Cd i Odda.

Resultatene for moseprøver innsamlet i 2000 lengst sør i Østfold viste tilsynelatende forhøyet innhold av flere tungmetaller i forhold til tidligere undersøkelser, og dette ga grunnlag for mistanke om nye utslipp til luft enten i Halden-området eller på svensk side nær grensen [9]. Disse prøvene er blitt re-analysert i 2005, og viser verdier som er normale for regionen. De høye verdiene fra 2000 kan derfor skyldes feil i analysene.

5.4 Utvikling fra 1977 til i dag

Som det framgår av kurvene i Figurene 13-23 har det skjedd en stor nedgang i nedfallet av tungmetaller i Norge over de siste 30 år. Nedgangen har vært særlig sterk i de delene av

landet som er mest utsatt for atmosfærisk langtransport, men også i de områdene som er lite utsatt har nedgangen vært stor for de fleste metallene.

Størst har nedgangen vært for Pb, der nedfallet på Sørlandet nå bare er ca. 5% av hva det var da moseundersøkelsene startet. Også nedfallet av As har gått kraftig ned, og er i dag ca. 9% av hva det var 30 år tidligere. For andre elementer er tilsvarende tall for Sørlandet: Zn, 18%; Cr, 20%, Sb, 24%, Fe, 24%, V, 25%, Cd, 30%, Ni, 35% og Cu, 37%. Tallene for Zn og Cu er noe mer usikre enn de øvrige på grunn av naturlig innhold av disse metallene i mosen. Det kan være grunn til å merke seg at området ”S. Østland”, som ligger øst for Oslo, viser mindre tall for reduksjonen i nedfall enn de tilsvarende områdene på Sørlandet. Dette har muligens sammenheng med et relativt større bidrag fra Øst-Europa snarere enn påvirkning fra kilder i Oslo-området.

Når det gjelder Hg stammer de første mosedataene fra 1985. Resultatene tyder på en viss nedgang i nedfallet fra 1985, men tendensen er ikke helt entydig. Nivåene i 2005 er omtrent som i 2000, mens det ble registrert en viss nedgang fra 1995 til 2000.

De områdene av Norge som ligger nærmest grensen med Russland mottar betydelig nedfall av Ni og Cu fra smelteverk på Kola. Målte konsentrasjoner i mose på 7 lokaliteter i Varanger-området fra 1977 til 2005 er vist i Tabell 4. Mens nedfallet fram til 1990 var tilnærmet konstant på de fleste av disse lokalitetene, gjorde det seg gjeldende en viss økning på 1990-tallet. Fra 2000 til 2005 har det skjedd en kraftig økning i nedfallet på samtlige av de påvirkede lokalitetene. Størst er økningen på lokaliteten Svanvik, der konsentrasjonene av Ni og Cu er tre ganger høyere enn i 2000. Dette peker i retning av smelteverket i Nikel som ansvarlig for økningen i nedfall på norsk side av grensen.

6. Litteratur

1. Schaug, J., Rambæk, J.P., Steinnes, E. og Henry, R.C. (1990) Multivariate analysis of trace element data from moss samples used to monitor atmospheric deposition. Atmos. Environ. 24A, 2625-2631.

2. Steinnes, E., Rambæk, J.P. og Hanssen, J.E. (1992) Large scale multi-element survey of atmospheric deposition using naturally growing moss as biomonitor. Chemosphere 35, 735-752.

3. Steinnes, E., Frantzen, F., Johansen, O., Rambæk, J.P. og Hanssen, J.E. (1988) Atmosfærisk nedfall av tungmetaller i Norge. Landsomfattende undersøkelse 1985. Statlig program for forurensningsovervåking, Rapport 334. Statens forurensningstilsyn, Oslo.

4. Steinnes, E., Hanssen, J.E., Rambæk, J.P. og Vogt, N.B. (1994) Atmospheric deposition of trace elements in Norway: temporal and spatial trends studied by moss analysis. Water, Air, Soil Pollut. 74, 121-140.

5. Steinnes, E., Røyset, O., Vadset, M. og Johansen, O. (1993) Atmosfærisk nedfall av tungmetaller i Norge. Landsomfattende undersøkelse 1990. Statlig program for forurensningsovervåking, Rapport 523. Statens forurensningstilsyn, Oslo.

6. Berg, T., Røyset, O. og Steinnes, E. (1995) Atmospheric trace element deposition: Principal component data from ICP-MS data from moss samples. Environ. Pollut. 88, 67-77.

7. Steinnes, E., Berg, T., Vadset, M. og Røyset, O. (1997) Atmosfærisk nedfall av tungmetaller i Norge. Landsomfattende undersøkelse i 1995. Statlig program for forurensningsovervåking, Rapport 691. Statens forurensningstilsyn, Oslo.

8. Berg, T. og Steinnes, E. (1997) Recent trends in atmospheric deposition of trace elements in Norway as evident from the 1995 moss survey. Sci. Total Environ. 208, 197-206.

9. Steinnes, E., Berg, T., Sjøbakk, T.E., Uggerud, H. og Vadset, M. (2001) Atmosfærisk nedfall av tungmetaller i Norge. Landsomfattende undersøkelse i 2000. Statlig program for forurensningsovervåking, Rapport 838. Statens forurensningstilsyn, Oslo.

10. Rühling, Å., Rasmussen, L., Pilegaard, K., Mäkinen, A. og Steinnes E. (1987) Survey of atmospheric heavy metal deposition in Nordic countries in 1985. Rapport NORD 1987:21, Nordisk Ministerråd, København, 44 pp.

11. Rühling, Å., Brumelis, G., Goltsova, N., Kvietkus, K., Kubin, E., Liiv, S., Magnusson, S., Mäkinen, A., Pilegaard, K., Rasmussen, L., Sander, E. og Steinnes, E. (1992) Atmospheric Heavy Metal Deposition in Northern Europe 1990. Rapport NORD 1992:12, Nordisk Ministerråd, København, 41 pp.

12. Rühling, Å. og Steinnes, E. red. (1998) Atmospheric Heavy Metal Deposition in Europe 1995 - 1996. Rapport NORD 1998:15, Nordisk Ministerråd, København, 66 pp.

13. Harmens, H., Buse, A., Büker, P., Norris, D., Mills, G., Williams, B., Reynolds, B., Ashenden, T.W., Rühling, Å. og Steinnes, E. (2004) Heavy metal concentrations in European mosses: 2000/2001 survey. J. Atmos. Chem. 49, 425-436.

14. Berg, T., Røyset, O. og Steinnes, E. (1995) Moss (*Hylocomium splendens*) used as biomonitor of atmospheric trace element deposition: Estimation of uptake efficiencies. Atmos. Environ. 29, 353-360.

15. Berg, T. og Steinnes, E. (1997) Use of mosses (*Hylocomium splendens* and *Pleurozium schreberi*) as biomonitors of heavy metal deposition: From relative to absolute values. Environ. Pollut. 98, 61-71.

16. Røyset, O., Vadset, M., Johansen, O. og Steinnes, E. (1995) Multielement ICPMS Analysis of Moss used as Biomonitor of Air Pollutants. Rapport TR 1/95, Norsk institutt for luftforskning, Kjeller.

17. Steinnes, E., Rühling, Å., Lippo, H. og Mäkinen, A. (1997) Reference materials for large-scale metal deposition surveys. Accred. Qual. Assur. 2, 243-249.

18. Steinnes, E. (1995) A critical evaluation of the use of naturally growing moss to monitor the deposition of atmospheric metals. Sci. Total Environ. 160/161, 243-249.

19. Økland, T., Økland, R.H. og Steinnes, E. (1999) Element concentrations in the boreal forest moss *Hylocomium splendens*: variation related to gradients in vegetation and local environmental factors. Plant and Soil 209, 71-83.

20. Rühling, Å. og Tyler, G. (2001) Changes in atmospheric deposition rates of heavy metals in Sweden. Water, Air, Soil Pollut.: Focus 1, 311-323.

21. Steinnes, E., Berg, T., Sjøbakk, T.E. og Vadset, M. (2001) Nedfall av tungmetaller rundt utvalgte norske industrier. Statlig program for forurensningsovervåking, Rapport 831. Statens forurensningstilsyn, Oslo.

22. Steinnes, E., Berg, T., Sjøbakk, T.E. og Vadset, M. (2007) ”Nedfall av tungmetaller rundt norske industrier studert ved analyse av mose: Undersøkelse i 2005.” Statlig program for forurensningsovervåking, Rapport 979/2007. Statens forurensningstilsyn, Oslo.

Vedlegg A

Tabeller og figurer

Tabell 1. Instrumentinnstillinger.

Parameter	**Verdi**
RF-frekvens	1250 MHz
Gass	
- Plasma	16 l min^{-1}
- Hjelpe	1 l min^{-1}
- Forstøver	~0,9 l min^{-1} , optimalisert daglig
Oppløsning	
- Lav	Li, Be, B, Ni, Zn, Y, Nb, Mo, Ag, Cd, Sb, Cs, Ba, La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu, Tl, Pb, Bi, Th, U
- Middels	Na, Mg, Al, Ca, Sc, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Cu, Ga, Rb, Sr
- Høy	As,
Scan type	Peak hop
Punkter per topp i de ulike oppløsninger	
- Lav	10
- Middels	20
- Høy	30
Linseinnstillinger	Optimalisert daglig for maksimum intesitet og topp separasjon.
Koner	
- Sampler	Platina
- Skimmer	Nikkel

Tabell 2. Analyse av referansematerialene M-2 og M-3 med hensyn på 50 grunnstoffer (ppm): Sammenlikning med anbefalte litteraturverdier [15]. NILUs verdier er gjennomsnitt av 5 paralleller med standard avvik.

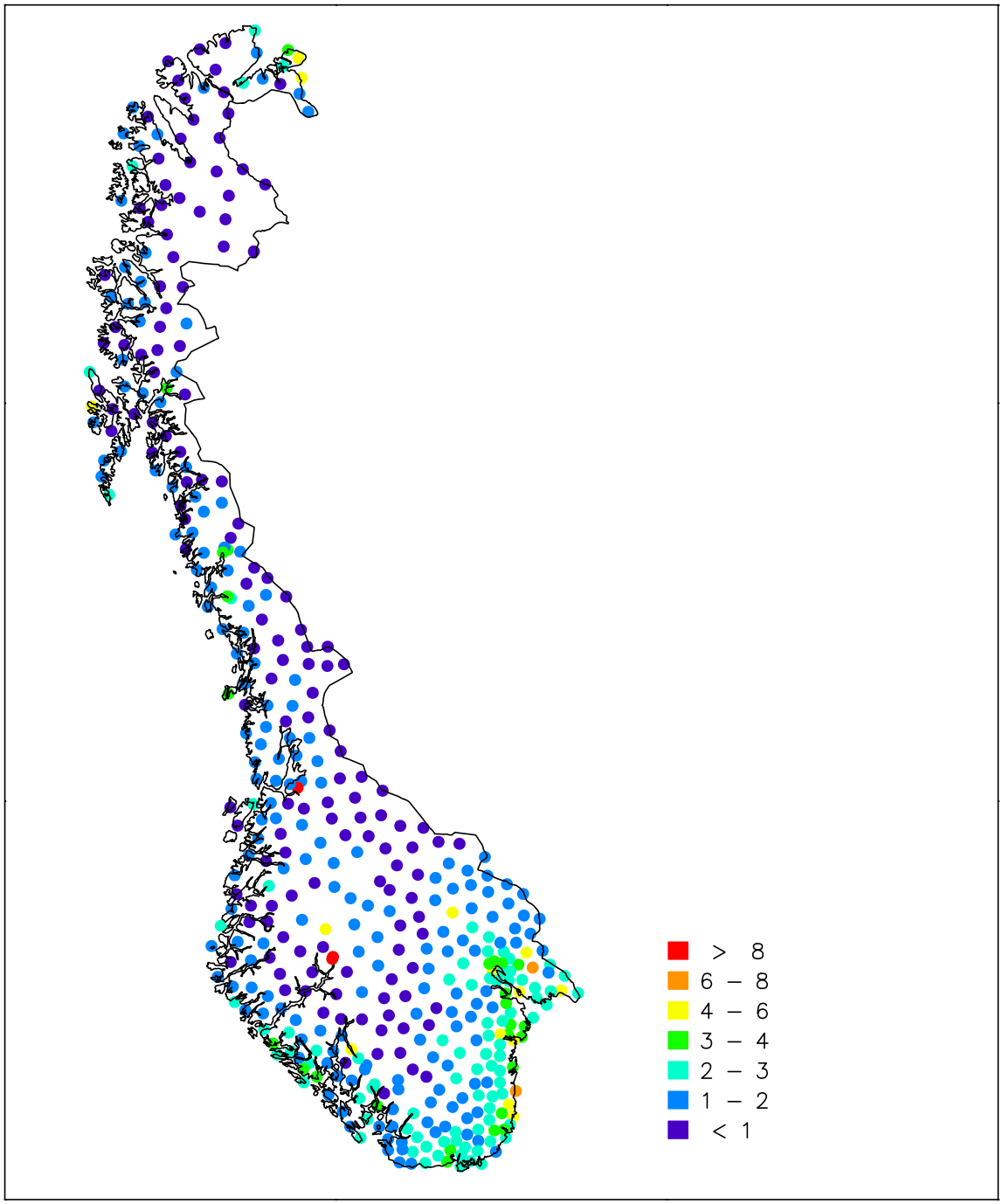
	M-1		M-2		M-3	
Element	NILU	Anbefalt	NILU	Anbefalt	NILU	Anbefalt
Li	0.03±0.02		0.09±0.02		0.06±0.03	
Be	0.031±0.015		0.032±0.005		0.026±0.016	
B	8.6±0.8	8.8±0.9	14.1±0.6	16.1±1.3	9.3±1.0	9.7±1.2
Na	86±4	88±9	168±16	166±15	126±13	133±12
Mg	910±63	773±49	803±76	826±52	872±105	755±77
Al	117±12	(87±7)	204±18	178±15	213±32	169±10
Ca	2290±240	1990±50	2080±180	1910±100	2340±240	1920±70
Sc	0.020±0.005		0.049±0.002		0.035±0.009	
Ti	14.6±0.6		31.0±1.4		22.0±2.8	
V	0.72±0.06	0.60±0.10	1.52±0.11	1.43±0.17	1.34±0.14	1.19±0.15
Cr	0.39±0.02	0.50±0.13	1.09±0.07	0.97±0.14	0.60±0.08	0.67±0.19
Mn	576±38	522±29	331±29	342±17	554±30	535±30
Fe	109±11	90±12	283±25	262±35	170±11	138±12
Co	0.114±0.013	0.124±0.004	1.15±0.11	0.98±0.06	0.107±0.010	0.115±0.006
Ni	1.29±0.08	0.99±0.10	16.6±1.7	16.3±0.9	1.05±0.08	0.95±0.08
Cu	3.46±0.24	3.18±0.12	75.1±3.3	68.7±2.5	3.96±0.17	3.76±0.23
Zn	28.1±1.6	25.0±0.9	37.5±0.6	36.1±1.2	25.8±2.0	25.4±1.1
Ga	0.040±0.008	(0.052)	0.093±0.010	(0.113)	0.078±0.009	(0.084)
As	0.076±0.011	0.070±0.005	0.91±0.14	0.98±0.07	0.101±0.024	0.105±0.007
Rb	19.9±1.5	17.6±0.4	42.2±3.0	39.4±0.4	21.4±2.0	19.5±0.4
Sr	3.83±0.30	3.45±0.10	5.58±0.29	5.31±0.15	4.88±0.48	4.64±0.24
Y	0.036±0.003	(0.034)	0.098±0.009	(0.099)	0.067±0.005	(0.067)
Nb	0.018±0.002		0.044±0.008		0.030±0.002	
Mo	0.080±0.006	(0.08)	0.318±0.013	(0.23)	0.149±0.060	(0.10)
Ag	0.027±0.004	(0.024)	0.131±0.011	(0.137)	0.025±0.009	(0.027)
Cd	0.085±0.009	0.077±0.006	0.491±0.047	0.454±0.019	0.121±0.018	0.106±0.005
Sb	0.023±0.004	0.031±0.006	0.162±0.017	0.210±0.016	0.041±0.004	0.052±0.007
Te	0.017±0.006		0.018±0.003		0.013±0.007	
Cs	0.070±0.005	0.068±0.009	0.54±0.04	0.55±0.04	0.192±0.019	0.189±0.014
Ba	11.8±1.0	10.8±0.5	18.2±2.1	17.6±0.7	12.9±1.2	13.7±0.6
La	0.075±0.006	0.071±0.008	0.178±0.013	0.195±0.018	0.129±0.013	0.131±0.018
Ce	0.142±0.011	0.15±0.04	0.33±0.03	0.35±0.03	0.24±0.02	0.25±0.03
Pr	0.016±0.002		0.041±0.003		0.028±0.004	
Nd	0.058±0.005		0.157±0.011		0.102±0.011	
Sm	0.007±0.003	(0.010)	0.021±0.004	(0.030)	0.017±0.005	(0.020)
Gd	0.013±0.002		0.031±0.003		0.023±0.005	
Tb	0.0012±0.0002		0.0029±0.0009		0.0023±0.0010	
Dy	0.0065±0.0006		0.0175±0.0018		0.0121±0.0020	
Ho	0.0006±0.0004		0.0025±0.0006		0.0015±0.0005	
Er	0.0032±0.0014		0.0108±0.0008		0.0070±0.0018	
Yb	0.0039±0.0017		0.0081±0.0027		0.0050±0.0024	
Ta	0.019±0.007		<0.005		0.015±0.008	
W	0.021±0.005		0.18±0.05		0.047±0.010	
Tl	0.014±0.002	0.016±0.002	0.045±0.004	0.048±0.004	0.053±0.004	0.053±0.002
Pb	2.42±0.17	2.00±0.13	7.56±0.46	6.37±0.43	3.82±0.34	3.33±0.25
Bi	0.011±0.003		0.158±0.025		0.016±0.003	
Th	0.014±0.002	0.017±0.001	0.044±0.004	0.042±0.002	0.030±0.004	0.027±0.002
U	0.0091±0.0007	(0.0062)	0.0199±0.0007	(0.021)	0.0117±0.0028	(0.0128)

Tabell 3. Medianverdi, aritmetisk middel, laveste og høyeste konsentrasjon av 50 grunnstoffer i 464 prøver av mose innsamlet i 2005.

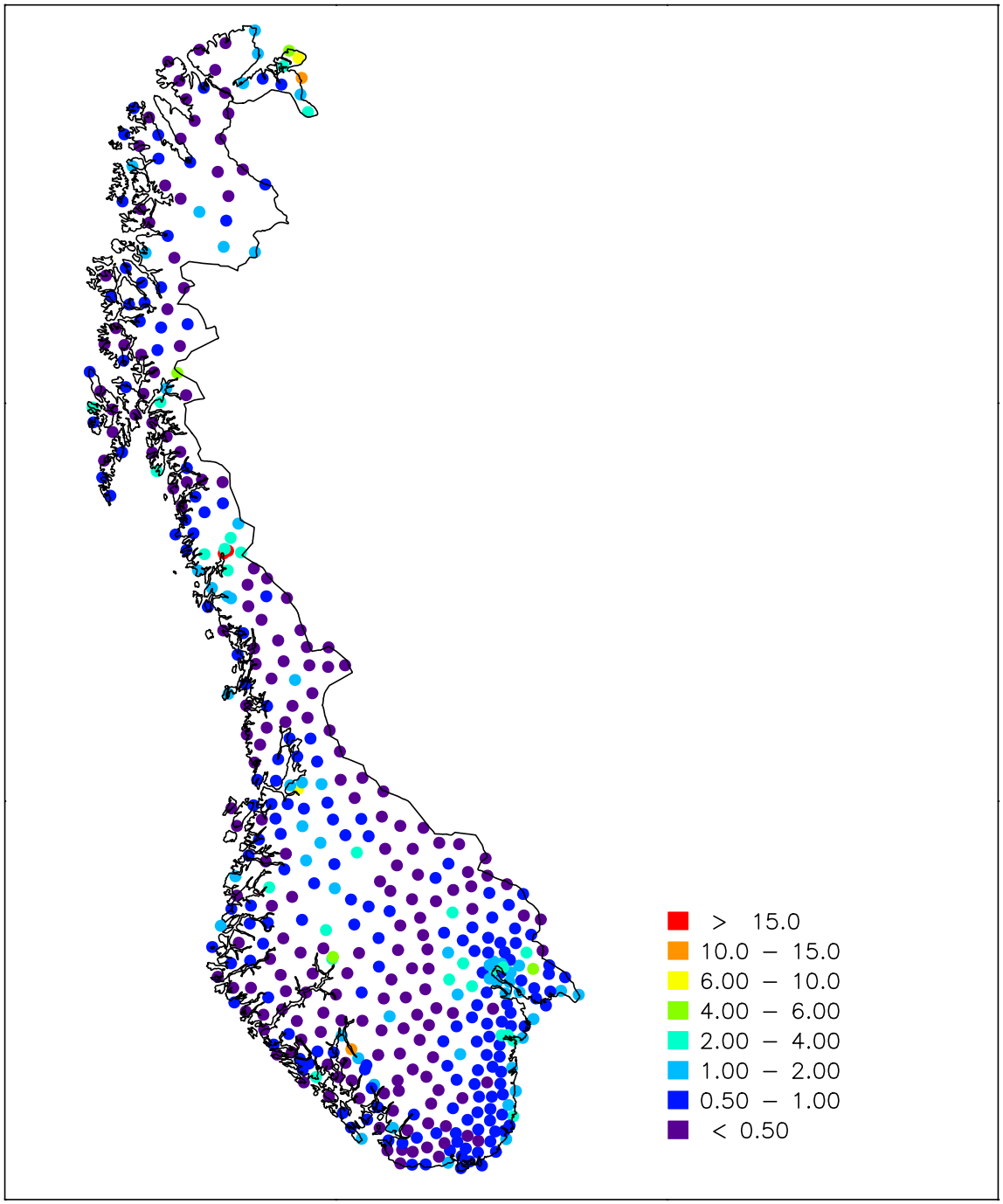
	Median	Middelverdi	Minimum	Maximum
Li	0,098	0,128	<0,00005	1,4
Be	0,021	0,026	<0000,2	0,31
B	2,5	3,2	0,48	32
Mg	1393	1433	558	3057
Al	255	379	58	12121
Ca	2739	2906	1239	8061
Sc	0,058	0,088	<0,003	1,4
Ti	27	36	9,6	395
V	1,4	1,8	0,25	22
Cr	0,58	1,1	0,099	66
Mn	323	408	22	2601
Fe	273	427	50	9972
Co	0,19	0,39	0,040	35
Ni	1,2	5,8	<0,05	1016
Cu	4,4	7,7	1,8	672
Zn	31	38	8,0	694
Ga	0,089	0,15	0,015	9,0
As	0,12	0,18	0,002	4,6
Rb	11	13	1,3	97
Sr	13	15	1,5	102
Y	0,14	0,21	0,02	4,0
Zr	0,70	1,0	0,20	8,9
Nb	0,052	0,087	<0,002	1,7
Mo	0,18	0,23	<0,04	1,2
Rh	0,0009	0,0013	<0,000001	0,016
Ag	0,020	0,026	<0,002	0,30
Cd	0,089	0,14	0,017	2,5
Sb	0,070	0,10	0,015	0,94
Cs	0,14	0,23	0,012	2,3
Ba	22	25	4,2	119
La	0,26	0,38	0,045	5,8
Ce	0,48	0,74	0,081	11,9
Pr	0,054	0,083	0,0088	1,4
Nd	0,20	0,31	0,035	5,1
Sm	0,038	0,056	<0,0002	1,0
Eu	0,021	0,025	0,0043	0,21
Gd	0,041	0,061	0,0071	0,97
Tb	0,0045	0,0071	<0,00002	0,15
Dy	0,026	0,038	0,0022	0,75
Ho	0,0043	0,0068	<0,00001	0,14
Er	0,015	0,023	0,0004	0,42
Tm	0,0009	0,0019	<0,00001	0,050
Yb	0,011	0,018	<0,00006	0,35
Lu	0,0010	0,0018	<0,00001	0,045
Ta	0,008	0,012	<0,00006	0,20
W	0,16	0,25	<0,0002	7,1
Pt	0,001	0,001	<0,00001	0,009
Hg	0,055	0,060	0,0190	0,39
Tl	0,044	0,089	0,0023	1,3
Pb	2,2	3,2	0,49	34
Bi	0,011	0,022	<0,0002	0,86
Th	0,053	0,084	0,0041	1,371
U	0,020	0,027	<0,0002	0,29

Tabell 4. Medianverdier for grunnstoffer i mose fra de landsomfattende nedfallskartleggingene i Norge i perioden 1977-2000.
Antall prøver: 2005: 464; 2000: 464. 1995: 464. 1990: 494. 1985: 519. 1977: 514.

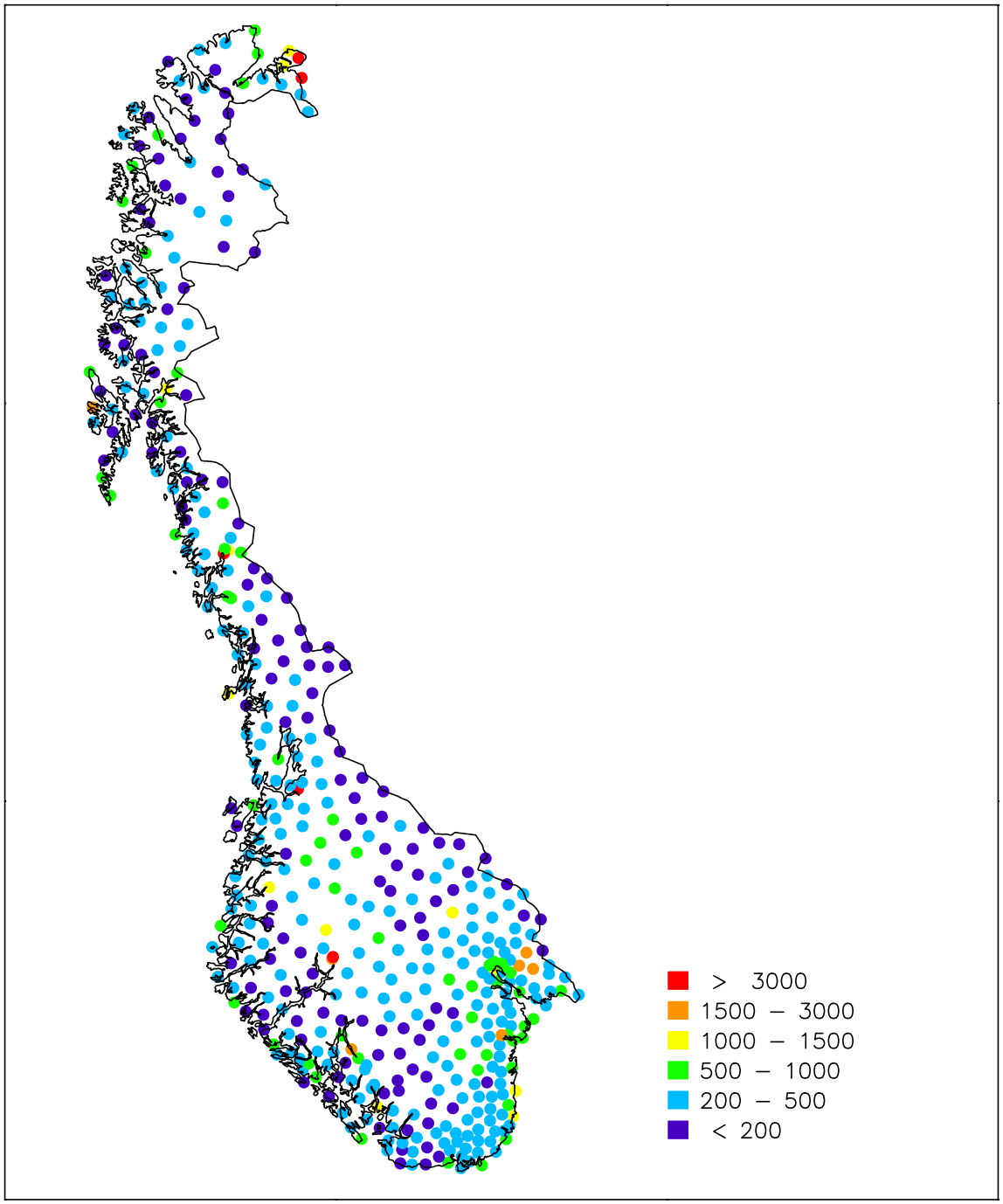
Element	2005	2000	1995	1990	1985	1977
Li	0,098	0,10	0,18	0,22		
Be	0,021	0,008	0,019	<0,02		
B	2,5					
Mg	1393	1540	1400	1200		
Al	255	350	290	430	800	760
Ca	2739	3120	3200	2800		
Sc	0,058					
Ti	27	31	43			
V	1,4	1,35	2,3	2,4	3,1	2,5
Cr	0,58	0,69	1,0	0,90	1,6	1,7
Mn	323	330	250	300		250
Fe	273	360	470	470	660	540
Co	0,19	0,17	0,24	0,25	0,32	0,22
Ni	1,2	1,1	1,6	1,6	2,0	1,6
Cu	4,4	4,2	5,2	5,2	4,9	5,7
Zn	31	32	38	36	35	33
Ga	0,089	0,11		0,20		
As	0,12	0,135	0,21	0,27	0,38	0,32
Rb	11	9,9	11	10		9,5
Sr	13	11,5	13	13		
Y	0,14	0,15	0,23	0,22		
Zr	0,70	0,20	0,25			
Nb	0,052	0,043	0,078			
Mo	0,18	0,108	0,16	0,15		0,1
Rh	0,0009					
Ag	0,020	0,021	0,03			0,07
Cd	0,089	0,087	0,13	0,13	0,17	0,2
Sn		0,12	0,17			
Sb	0,070	0,056	0,092	0,09	0,16	0,17
Cs	0,14	0,129	0,18	0,18		0,12
Ba	22	19,2	24	24		
La	0,26	0,28	0,41	0,44		0,46
Ce	0,48	0,54	0,81			
Pr	0,054	0,061	0,098			
Nd	0,20	0,22	0,38			
Sm	0,038	0,042	0,072			0,068
Eu	0,021	0,010	0,018			
Gd	0,041	0,038	0,069			
Tb	0,0045	0,005	0,0095			
Dy	0,026	0,031	0,054			
Ho	0,0043	0,005	0,010			
Er	0,015	0,015	0,028			
Tm	0,0009	0,002	0,0036			
Yb	0,011	0,013	0,023			
Lu	0,0010					
Hf		0,006	0,004			
Ta	0,008	<0,0005				
W	0,16	0,040	0,060			
Pt	0,001					
Hg	0,055	0,054	0,068	0,06		
Tl	0,044	0,034	0,06	0,08		
Pb	2,2	2,70	5,8	9,3	11	15
Bi	0,011	0,011	0,019	0,03		
Th	0,053	0,054		0,08		0,084
U	0,020	0,017	0,038	0,04		



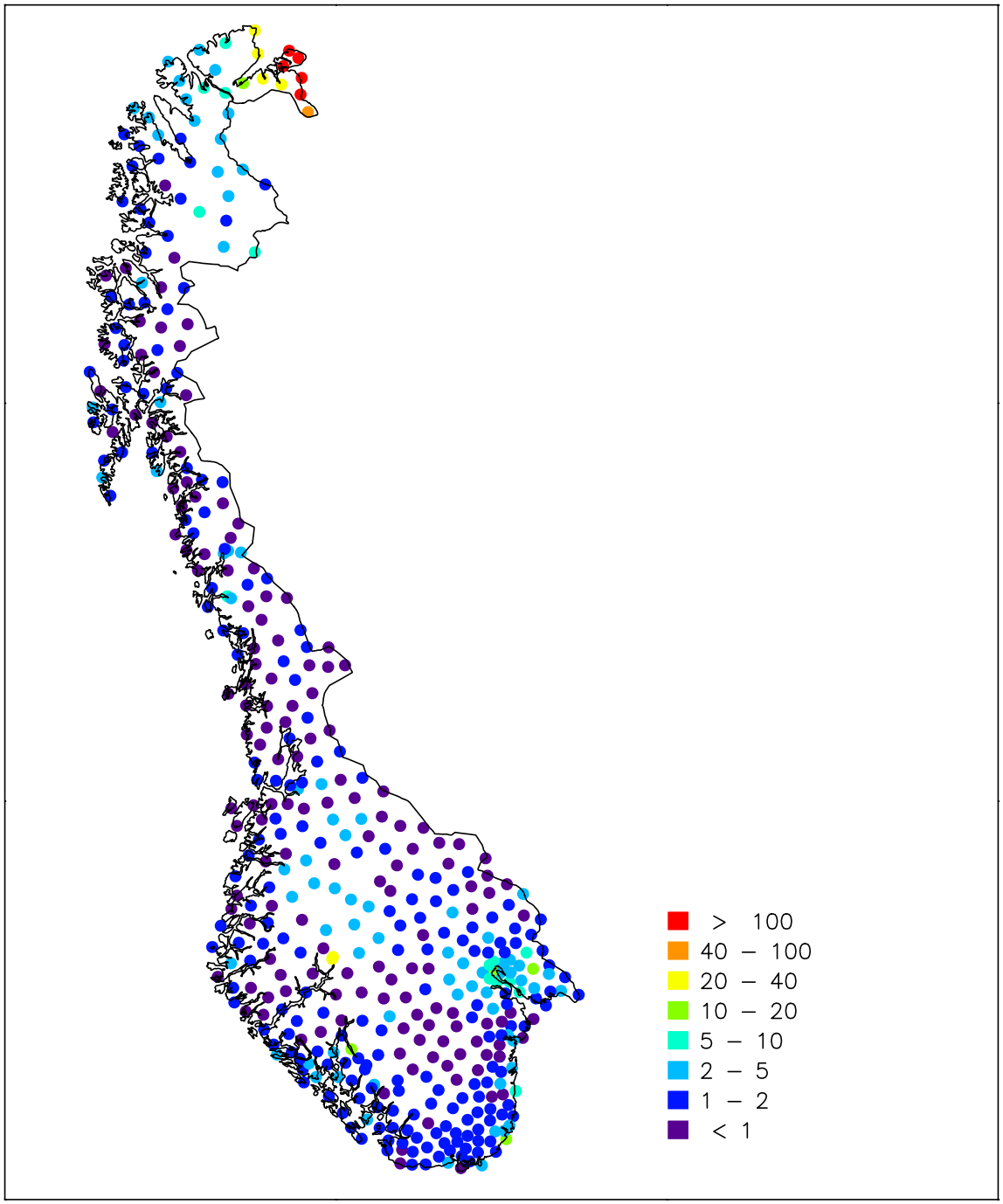
Figur 1. Atmosfærisk nedfall av vanadium i Norge illustrert ved konsentrasjon i mose (ppm V).



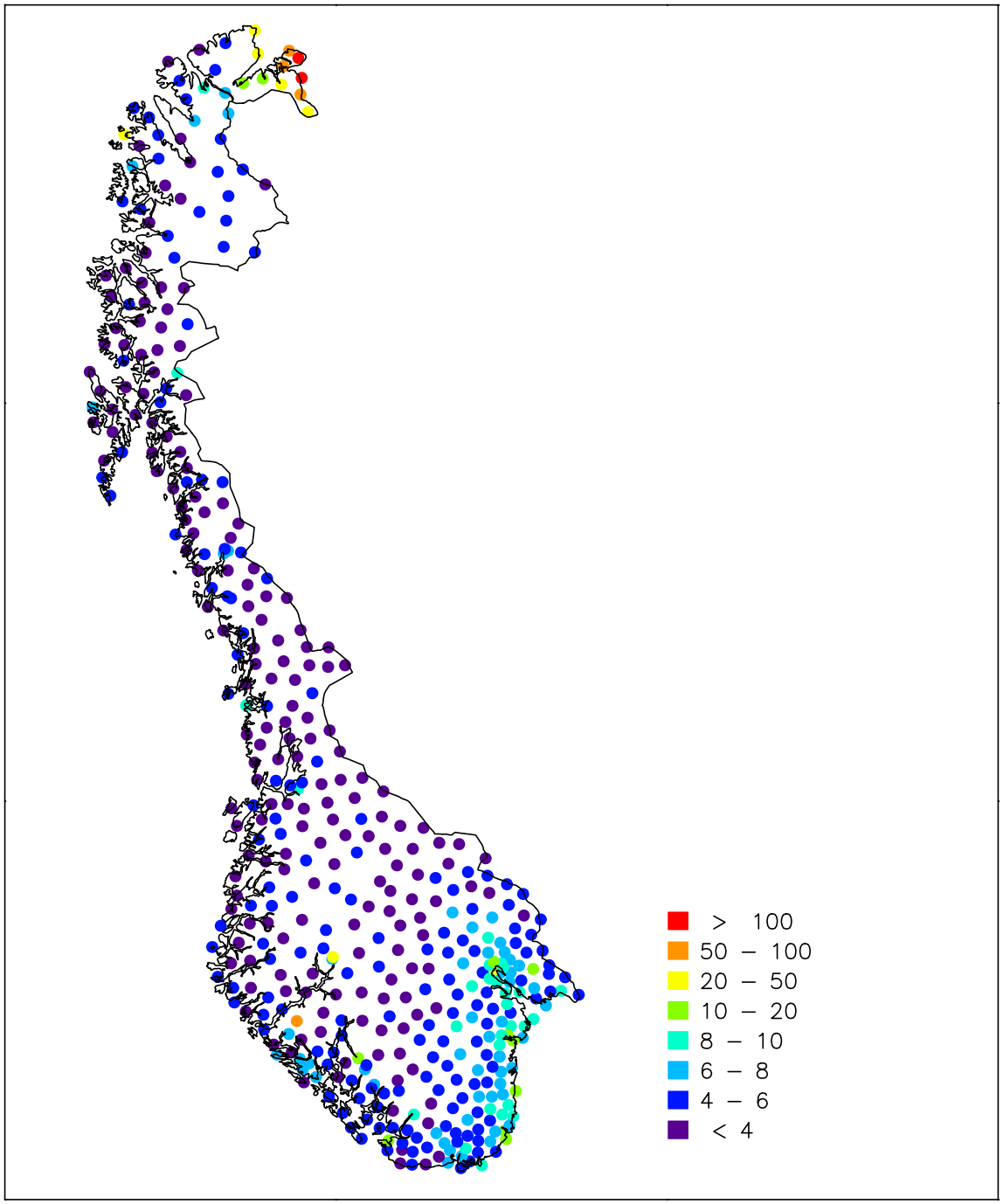
Figur 2. Atmosfærisk nedfall av krom i Norge illustrert ved konsentrasjon i mose (ppm Cr).



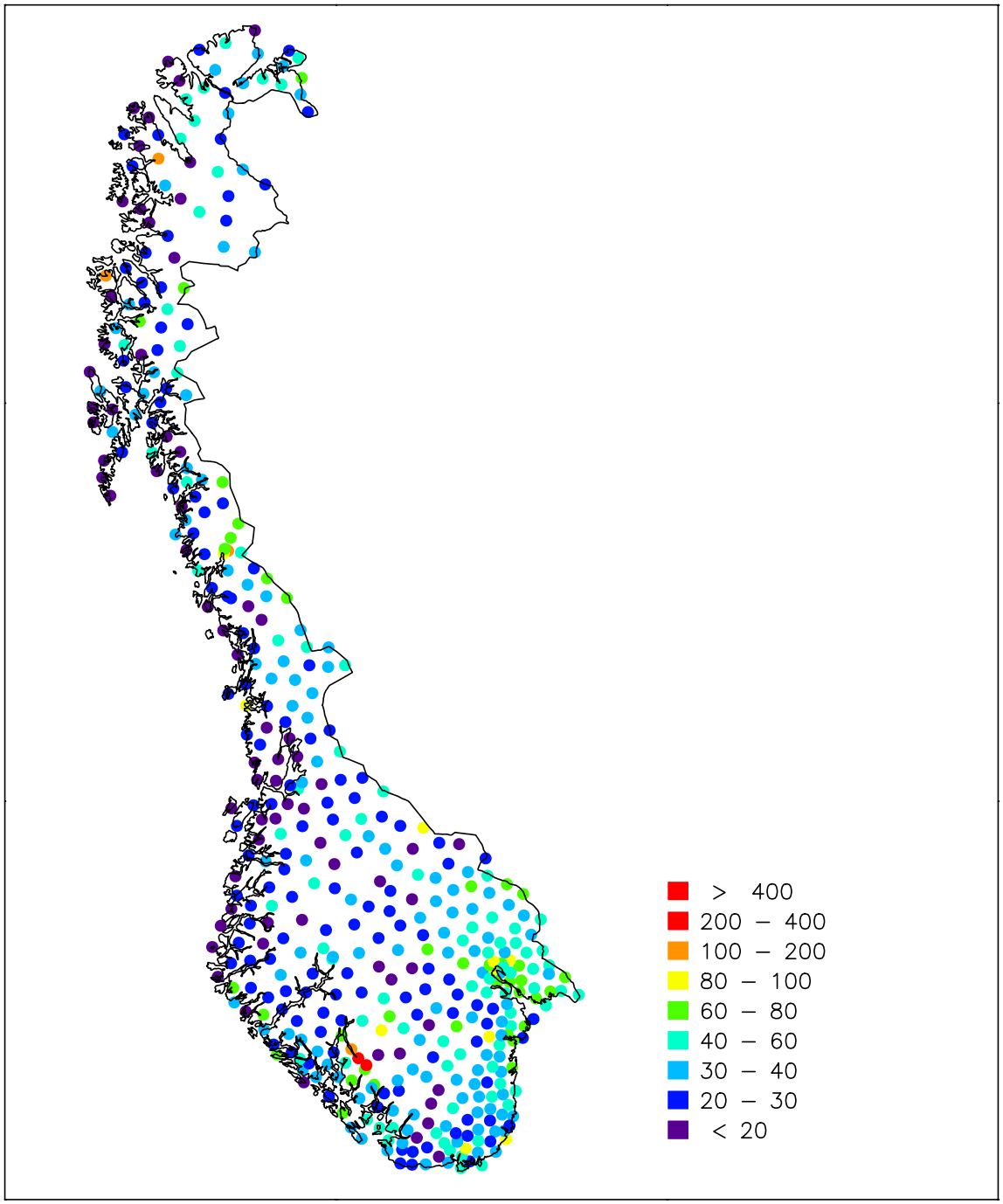
Figur 3. Atmosfærisk nedfall av jern i Norge illustrert ved konsentrasjon i mose (ppm Fe).



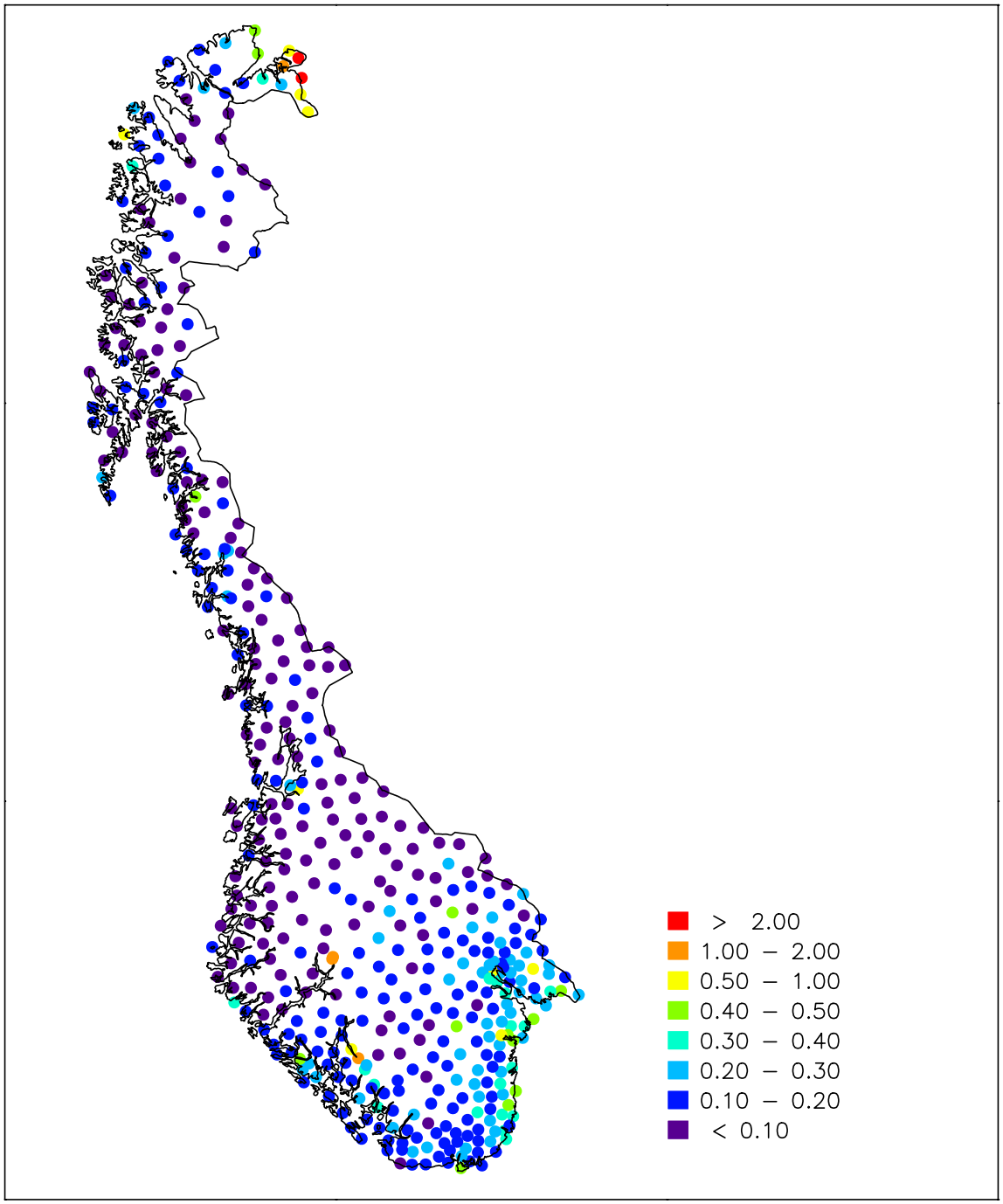
Figur 4. Atmosfærisk nedfall av nikkel i Norge illustrert ved konsentrasjon i mose (ppm Ni).



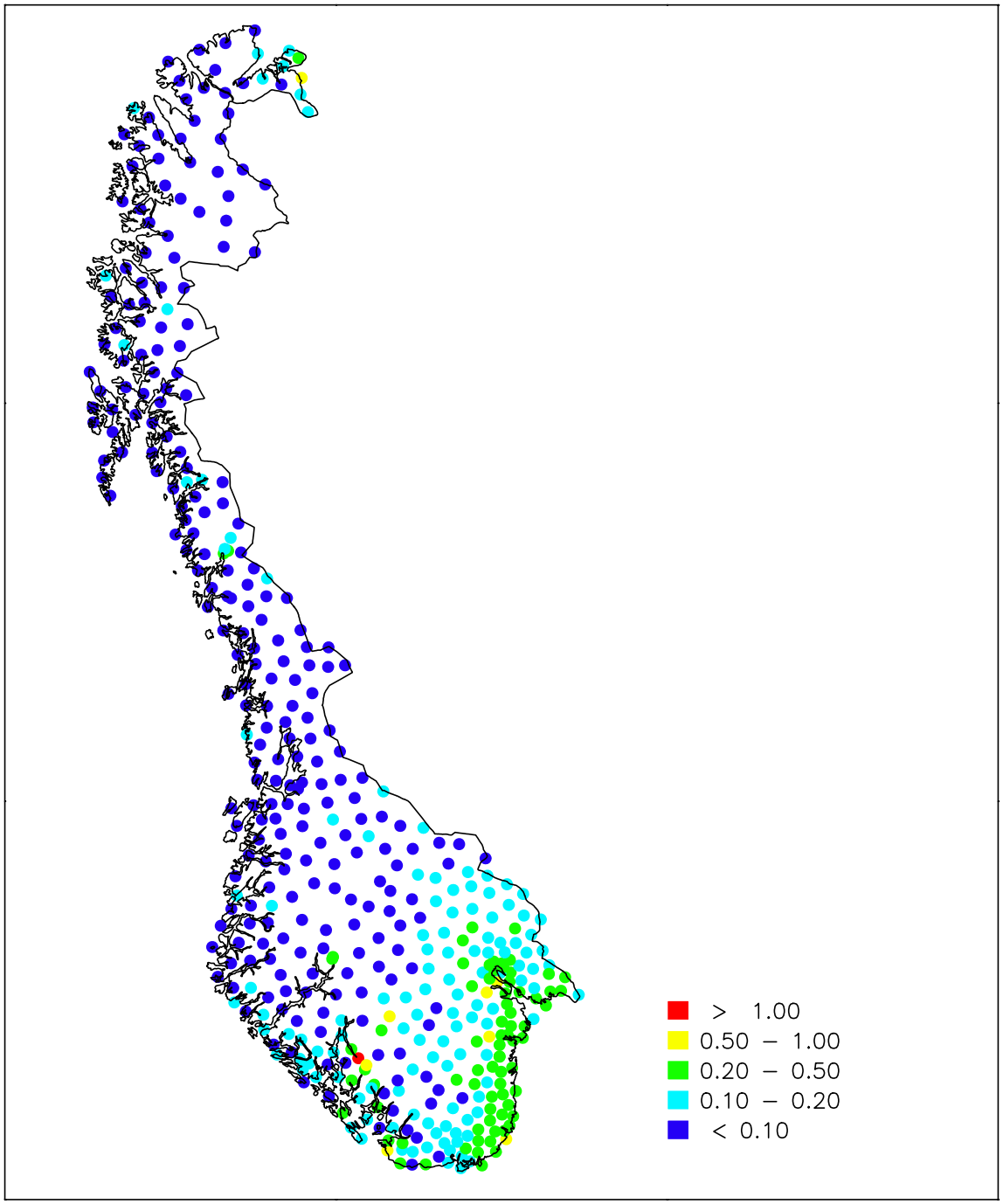
Figur 5. Atmosfærisk nedfall av kopper i Norge illustrert ved konsentrasjon i mose (ppm Cu).



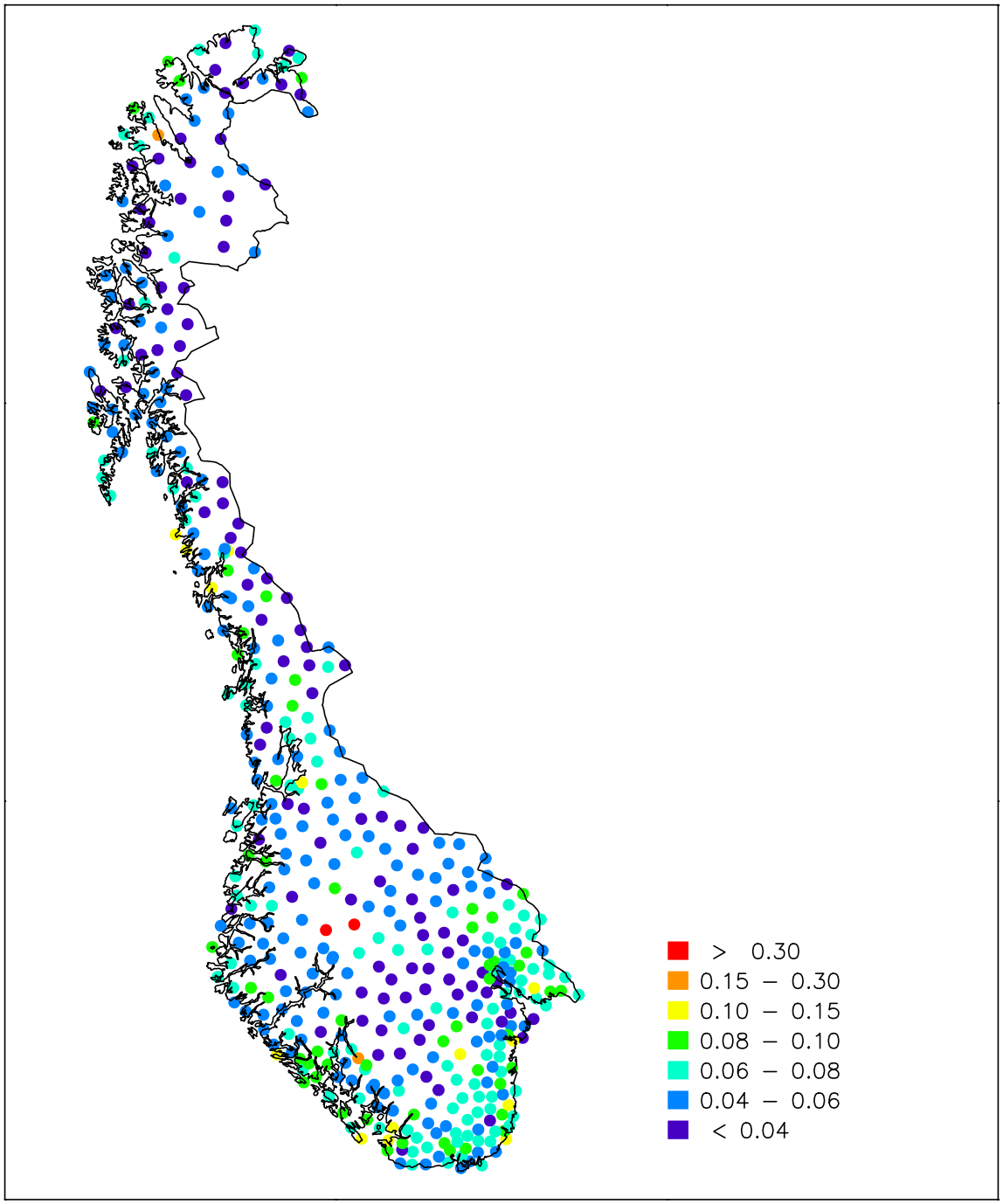
Figur 6. Atmosfærisk nedfall av sink i Norge illustrert ved konsentrasjon i mose (ppm Zn).



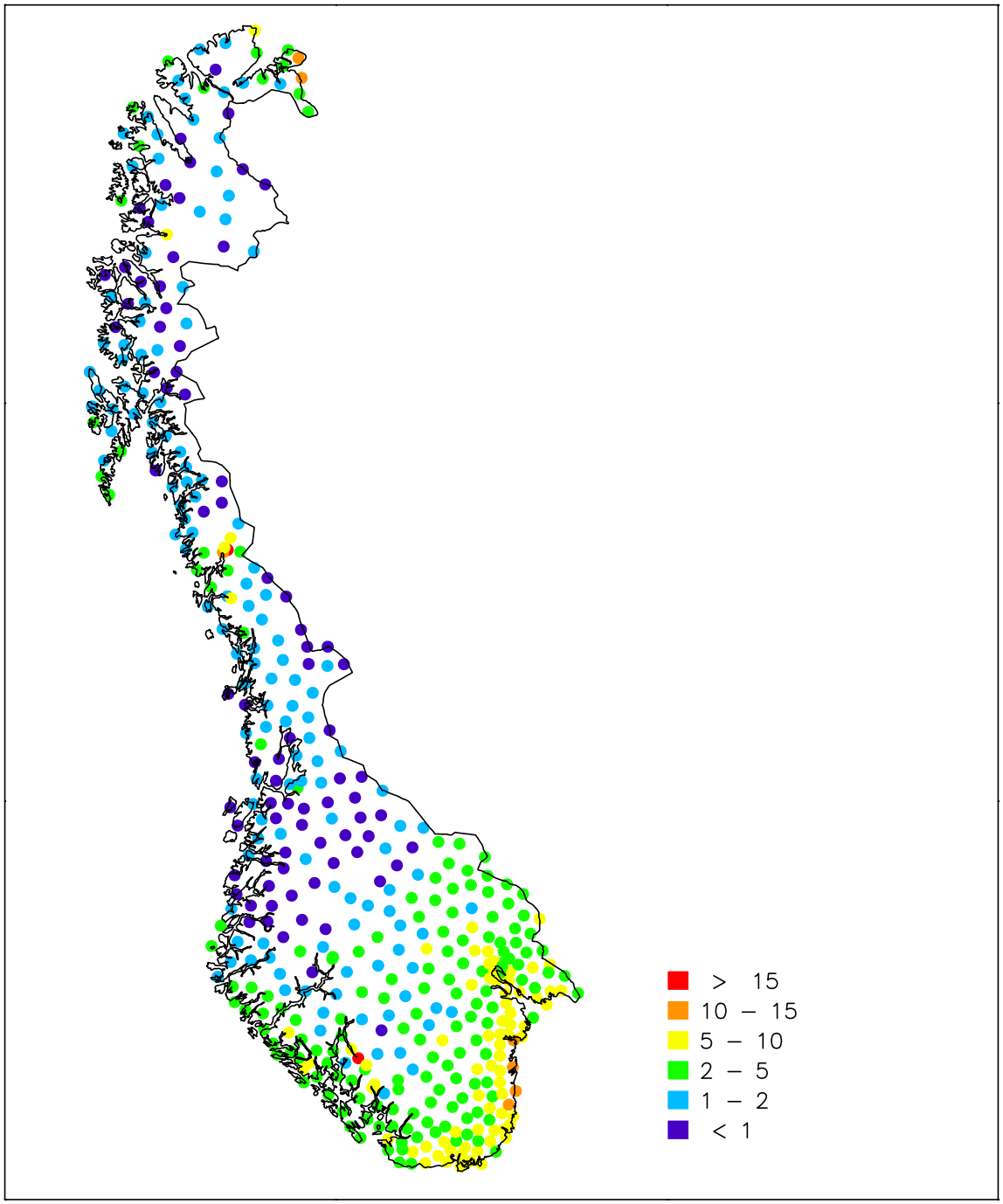
Figur 7. Atmosfærisk nedfall av arsen i Norge illustrert ved konsentrasjon i mose (ppm As).



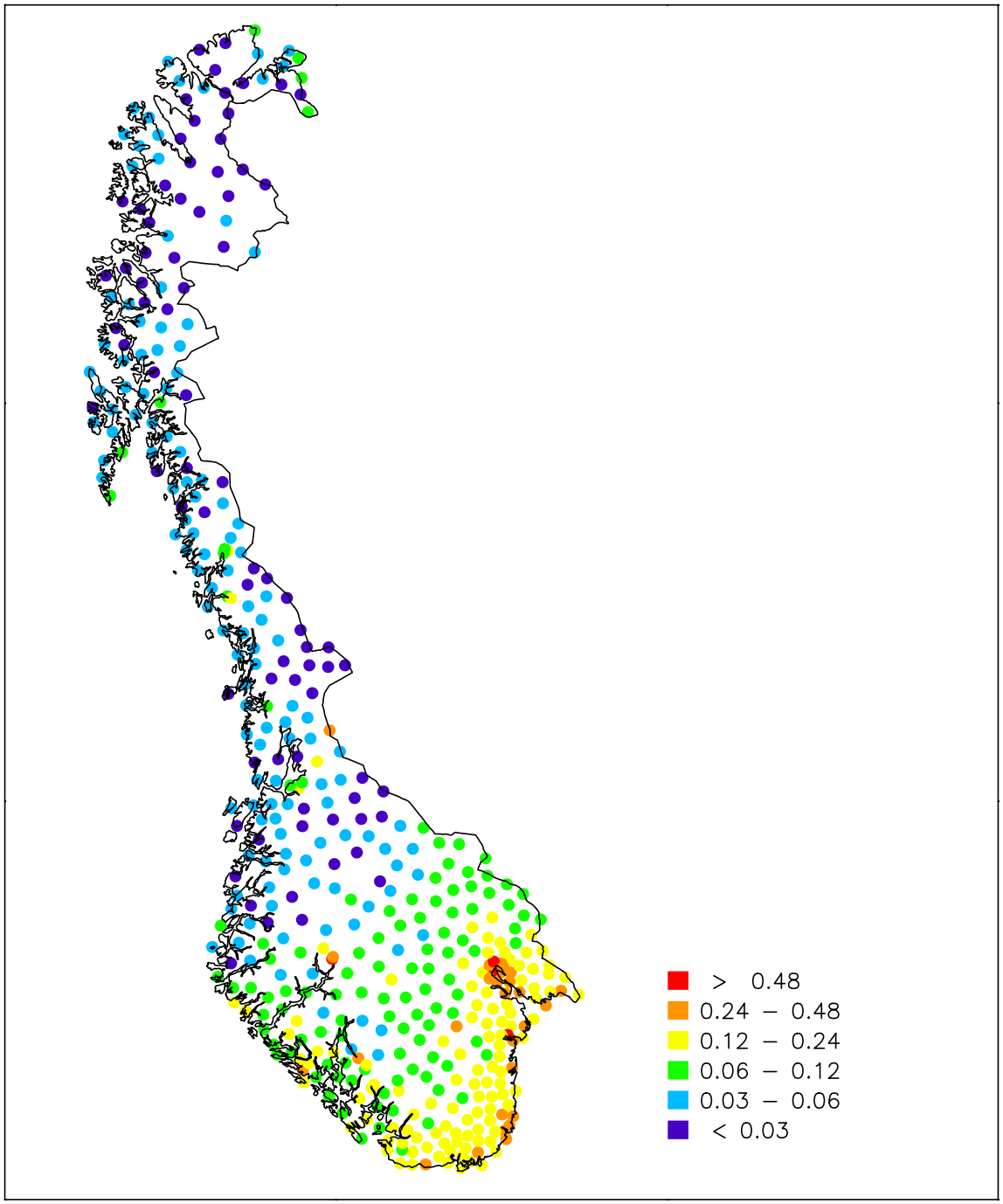
Figur 8. Atmosfærisk nedfall av kadmium i Norge illustrert ved konsentrasjon i mose (ppm Cd).



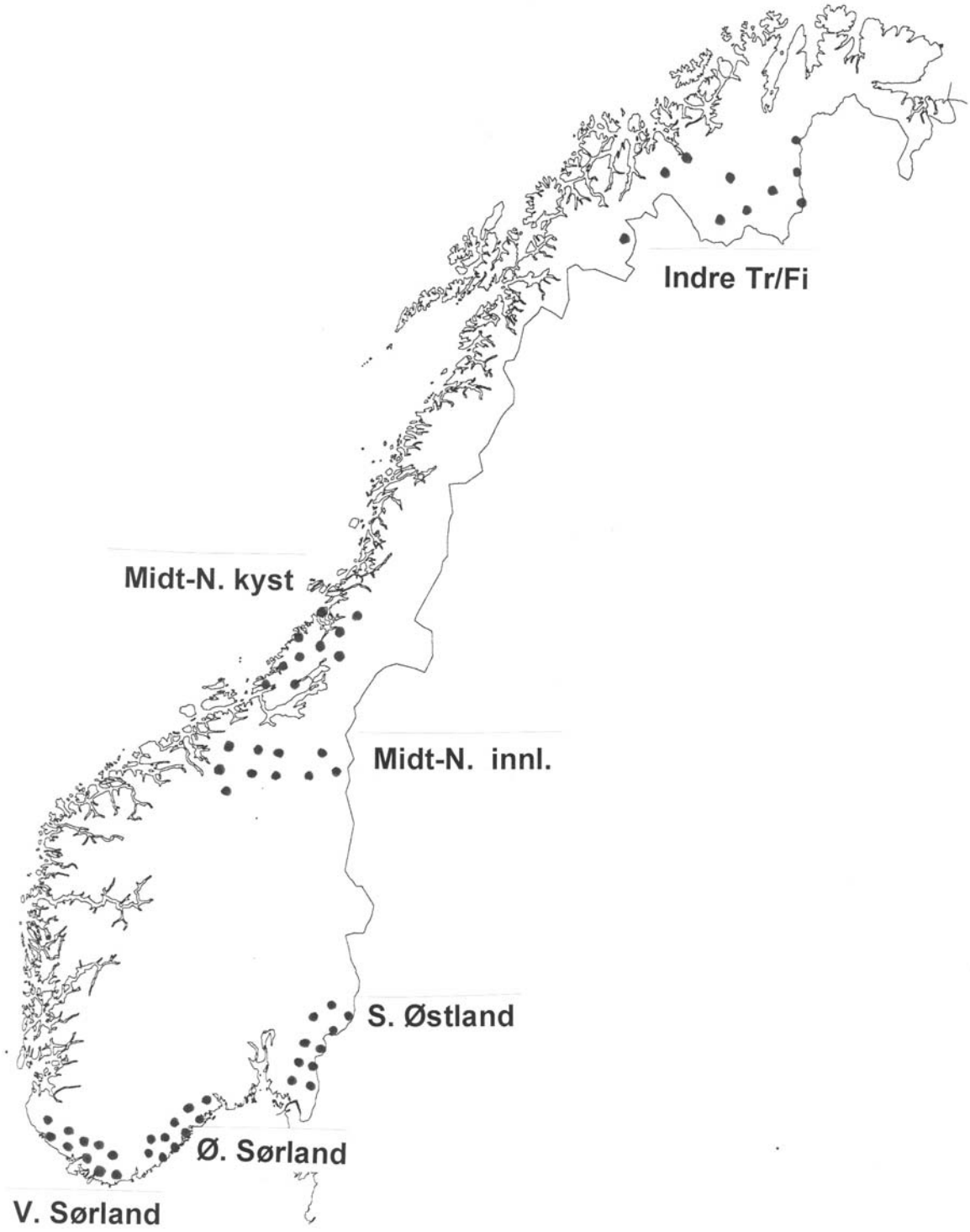
Figur 9. Atmosfærisk nedfall av kvikksølv i Norge illustrert ved konsentrasjon i mose (ppm Hg).



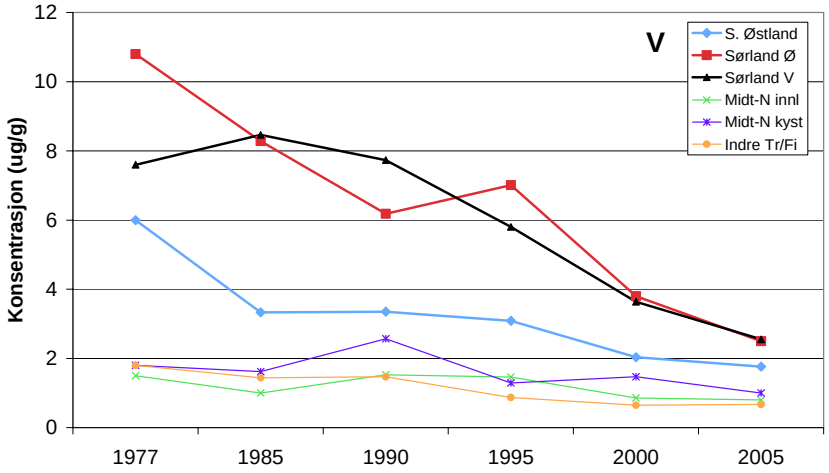
Figur 10. Atmosfærisk nedfall av bly i Norge illustrert ved konsentrasjon i mose (ppm Pb).



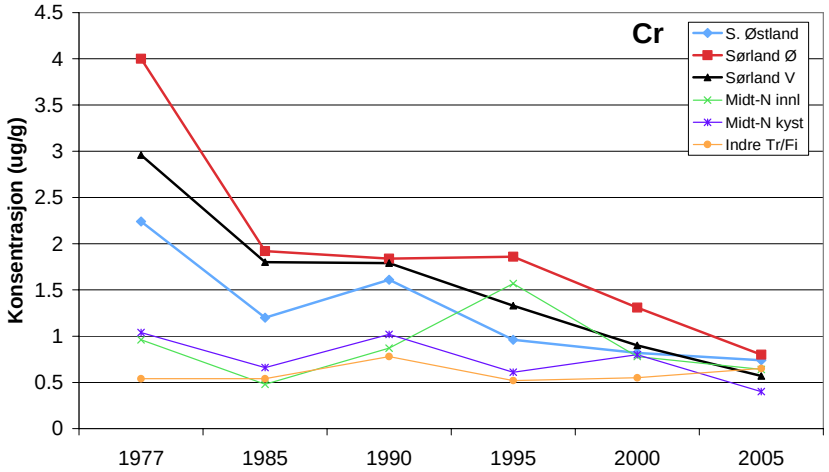
Figur 11. Atmosfærisk nedfall av antimon i Norge illustrert ved konsentrasjon i mose (ppm Sb).



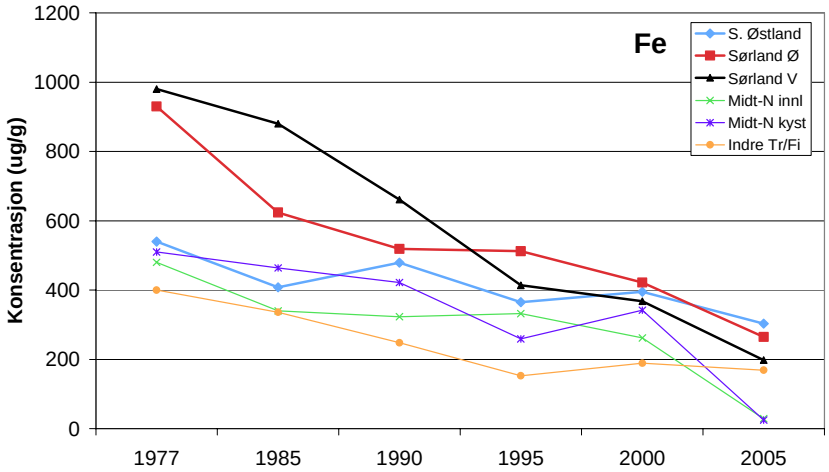
Figur 12. Prøvelokaliteter for trendanalysene.



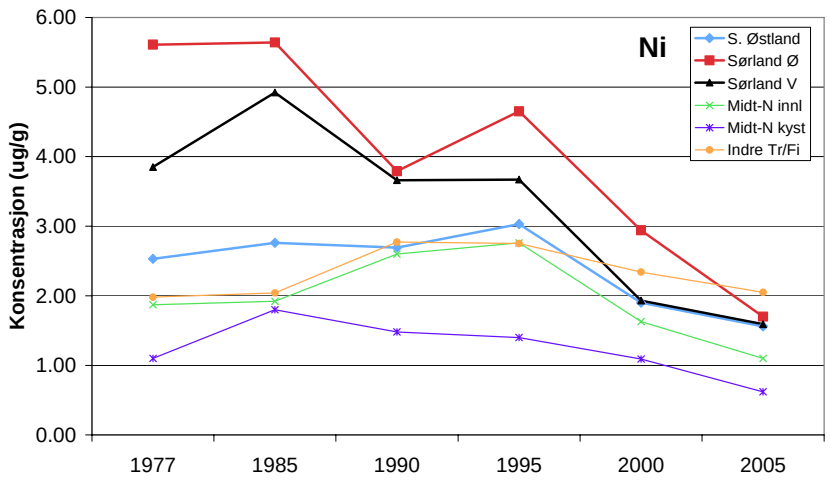
Figur 13. Utvikling i atmosfærisk nedfall av V, illustrert ved konsentrasjoner i mose, fra 1977 til 2005.



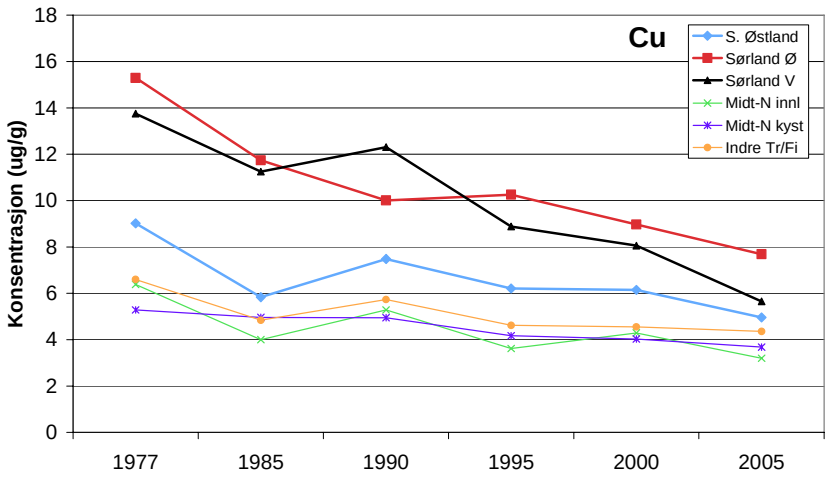
Figur 14. Utvikling i atmosfærisk nedfall av Cr illustrert ved konsentrasjoner i mose, fra 1977 til 2005.



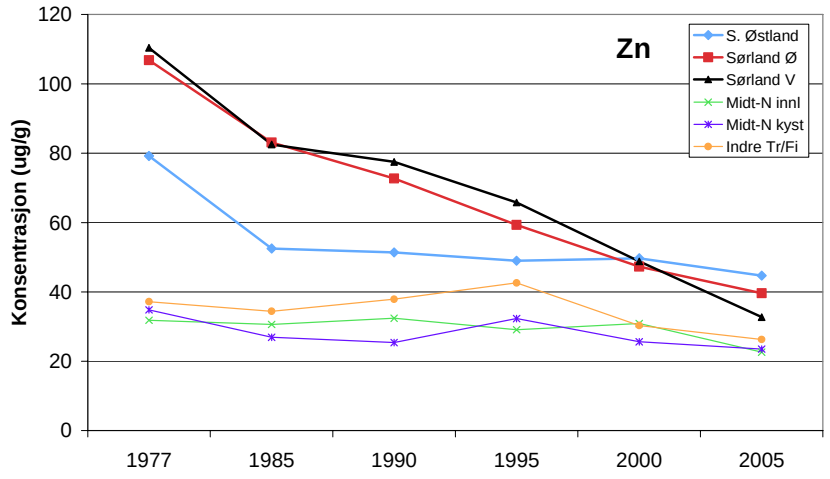
Figur 15. Utvikling i atmosfærisk nedfall av Fe, illustrert ved konsentrasjoner i mose, fra 1977 til 2005.



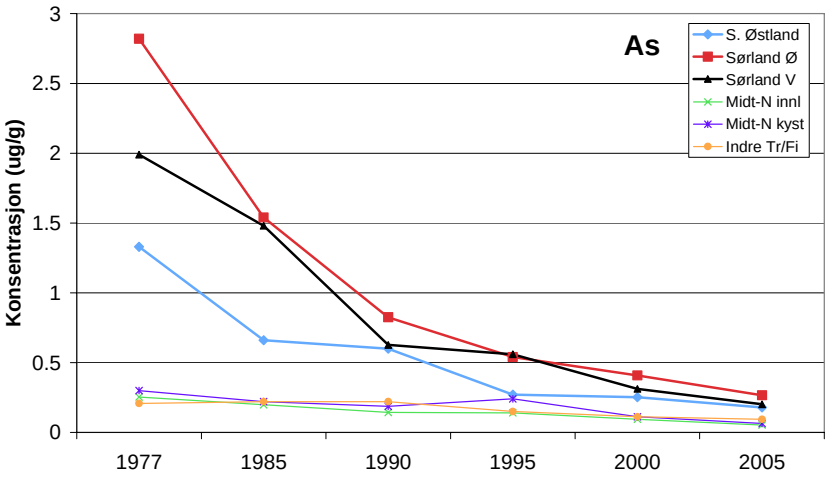
Figur 16. Utvikling i atmosfærisk nedfall av Ni, illustrert ved konsentrasjoner i mose, fra 1977 til 2005.



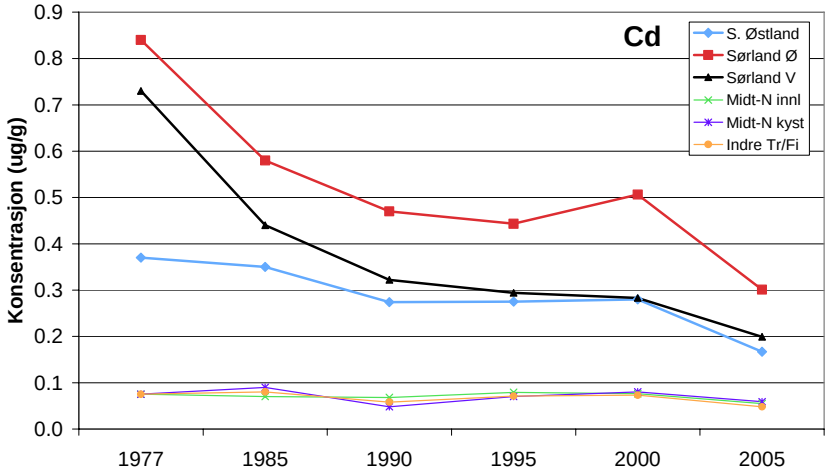
Figur 17. Utvikling i atmosfærisk nedfall av Cu, illustrert ved konsentrasjoner i mose, fra 1977 til 2005.



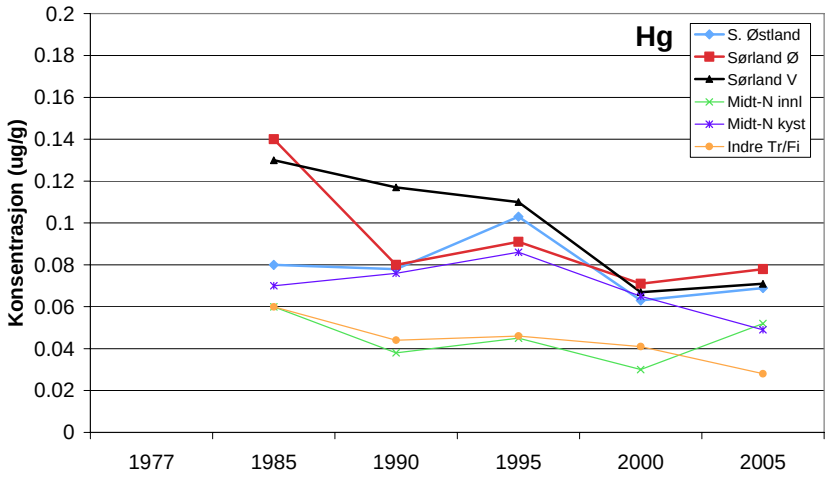
Figur 18. Utvikling i atmosfærisk nedfall av Zn, illustrert ved konsentrasjoner i mose, fra 1977 til 2005.



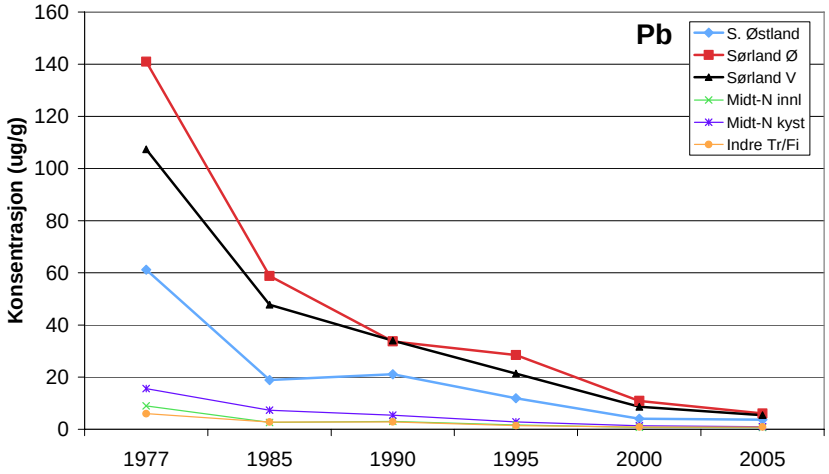
Figur 19. Utvikling i atmosfærisk nedfall av As, illustrert ved konsentrasjoner i mose, fra 1977 til 2005.



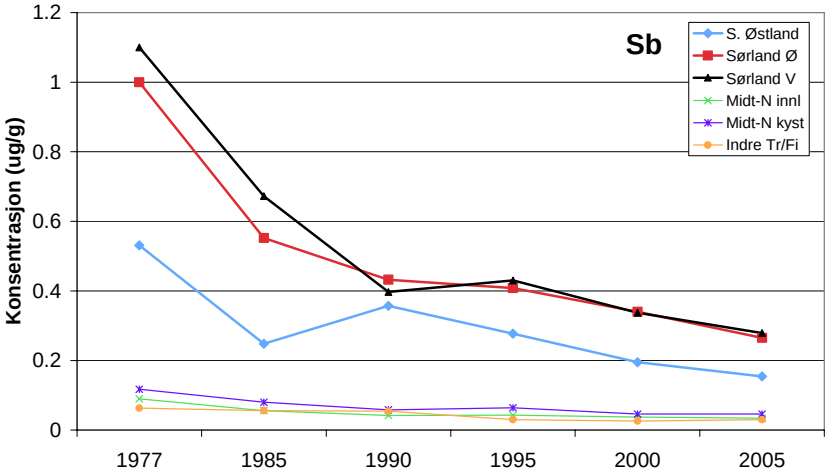
Figur 20. Utvikling i atmosfærisk nedfall av Cd, illustrert ved konsentrasjoner i mose, fra 1977 til 2005.



Figur 21. Utvikling i atmosfærisk nedfall av Hg, illustrert ved konsentrasjoner i mose, fra 1977 til 2005.



Figur 22. Utvikling i atmosfærisk nedfall av Pb, illustrert ved konsentrasjoner i mose, fra 1977 til 2005.



Figur 23. Utvikling i atmosfærisk nedfall av Sb, illustrert ved konsentrasjoner i mose, fra 1977 til 2005.

Statens forurensningstilsyn (SFT)
Postboks 8100 Dep, 0032 Oslo
Besøksadresse: Strømsveien 96

Telefon: 22 57 34 00
Telefaks: 22 67 67 06
E-post: postmottak@sft.no
Internett: www.sft.no

Utførende institusjon	Kontaktperson SFT	ISBN-nummer
Institutt for kjemi, NTNU Norsk institutt for luftforskning	Tor Johannessen	978-82-7655-303-1

	Avdeling i SFT	TA-nummer
		TA-2241/2007

Oppdragstakers prosjektansvarlig	År	Sidetall	SFTs kontraktnummer
Eiliv Steinnes	2007	36	

Utgiver	Prosjektet er finansiert av
Statens forurensningstilsyn	SFT

Forfatter(e)
Eiliv Steinnes, Torunn Berg, Hilde Uggerud og Marit Vadset

Tittel - norsk og engelsk

Atmosfærisk nedfall av tungmetaller i Norge
Landsomfattende undersøkelse i 2005

Atmospheric deposition of heavy metals in Norway
Nationwide survey 2005

Sammendrag – summary
Denne rapporten presenterer en sammenfatning av de viktigste resultatene fra den sjette landsomfattende kartleggingen av atmosfærisk nedfall av tungmetaller i Norge. Rapporten er basert på moseprøver innsamlet fra 464 lokaliteter sommeren 2005, og dekker hele Norges fastland. Resultatene er presentert i form av kart som viser den geografiske utbredelsen av ti prioriterte metaller i mose, og dermed gir et relativt bilde av atmosfærisk nedfall av disse metallene. Rapporten viser dessuten hvordan nedfallet har utviklet seg over tid i forskjellige landsdeler gjennom de siste 30 år.

The report presents a summary of the most important results from the sixth nationwide mapping of atmospheric deposition of heavy metals in Norway. The results are based on moss samples from 464 localities collected summer 2005, and cover the Norwegian mainland. The results are presented as maps showing the relative distribution of 10 priority metals in moss, giving a relative picture of atmospheric deposition of these metals. The report shows also time trends for the priority metals for different parts of Norway.

4 emneord	4 subject words
Atmosfærisk nedfall, metaller, geografisk fordeling, tidsutvikling	Atmospheric deposition, metals, geographical distribution, temporal trends.