Statlig program for forurensningsovervåking

Overvåking av langtransporterte forurensninger 2002
Sammendragsrapport

Rapporten baserer seg på resultater fra de tre statlige overvåkingsprogrammene:

Overvåking av langtransportert forurenset luft og nedbør
Overvåkingsprogram for skogskader (OPS)
Program for terrestrisk naturovervåking (TOV)

TA-1969/2003

Forord

Denne rapporten presenterer sammendrag av resultatene for 2002 fra tre overvåkingsprogrammer: "Overvåking av langtransportert forurenset luft og nedbør", "Overvåkingsprogram for skogskader" (OPS) og "Program for terrestrisk naturovervåking" (TOV). Disse tre programmene organiserer omfattende måleprogrammer på luft, vann, jord, skog og annen vegetasjon og akvatisk og terrestrisk fauna. Resultatene rapporteres i forskjellige hovedrapporter og delrapporter og det kan derfor være vanskelig å få den totale oversikten over hovedresultatene fra overvåkingsprogrammene og hvordan de kompletterer og utfyller hverandre. Vi presenterer her en kortfattet og samlet oversikt over de viktigste resultatene fra de tre overvåkingsprogrammene. For en grundig dokumentasjon om gjennomføring og resultater henviser vi til rapportene som denne Sammendragsrapporten baserer seg på.

Hovedansvarlige for utarbeidelse av årsrapporten har vært:

"Overvåking av langtransportert forurenset luft og nedbør", OPS, TOV

Atmosfærisk tilførsel: Wenche Aas, Stein Manø, Torunn Berg og Sverre Solberg (NILU)

"Overvåking av langtransportert forurenset luft og nedbør"

Vannkjemi: Brit Lisa Skjelkvåle, Liv Bente Skancke, Tor Traaen og Tore Høgåsen (NIVA)

Bunndyr: Arne Fjellheim og Gunnar G. Raddum (LFI, UiB)

Krepsdyr: Ann Kristin Schartau, Gunnar Halvorsen, Bjørn Walseng og Randi Saksgård (NINA)

Fisk: Randi Saksgård og Trygve Hesthagen (NINA)

OPS **Samlet redigering:** Dan Aamlid (Skogforsk)

Landsrepresentative flater: Gro Hylen og John Y. Larsson (NIJOS)

Intensive og fylkesvise flater: Kjell Andreassen, Nicholas Clarke (Skogforsk)

TOV **Samlet redigering:** Erik Framstad (NINA)

Markvegetasjon: Rune Halvorsen Økland (NIJOS) (vegetasjon i Solhomfjell), Vegar Bakkestuen (NINA) (vegetasjon i bjørkeskog)

Epifyttisk vegetasjon: Inga Elise Bruteig (NINA)

Fauna: John Atle Kålås (NINA)

Redaktør for rapporten har vært Brit Lisa Skjelkvåle, NIVA.

Oslo, juni 2003

Innhold

Status for effekter av langtransporterte forurensninger i 2002 **4**

Acidification status in Norway 2002 **8**

1. Innledning **11**
1.1 Presentasjon av programmene 11
1.2 Overvåkingsprogrammene i internasjonalt perspektiv 12
1.3 Referanser til rapporter 14

2. Luft og nedbør **15**
2.1 Utslipp 15
2.2 Nedbørkjemi – våtavsetninger 15
2.3 Luftens innhold av forurensninger - tørravsetninger 20
2.4 Totalavsetning fra luft og nedbør 21
2.5 Bakkenær ozon 22
2.6 Sporelementer og organiske forbindelser ved Lista (CAMP) og Ny-Ålesund (AMAP) 24

3. Det akvatiske miljøet **26**
3.1 Effekter på vannkjemi 30
3.2 Effekter på akvatisk fauna 38
3.2.1 Effekter på bunndyr 39
3.2.2 Effekter på krepsdyr 45
3.2.3 Effekter på fisk 51

4. Det terrestriske miljøet **62**
4.1 Effekter på skog 66
4.2 Effekter på markvegetasjon 69
4.3 Effekter på epifyttisk vegetasjon 71
4.4 Effekter på fauna 74

Status for effekter av langtransporterte forurensninger i 2002

Reduserte utslipp av svovel i Europa har medført at konsentrasjonene av sulfat i nedbør i Norge har avtatt med 54-79 % fra 1980 til 2002. Dette har resultert i nedgang av sulfat i vann og vassdrag med 39-68% i samme periode. Følgen av dette er bedret vannkvalitet med økning i pH og ANC og nedgang i uorganisk (giftig) aluminium.

Videre ser vi en bedring i det akvatiske miljøet med begynnende restituering av bunndyr- og krepsdyrsamfunn og bedret rekruttering hos fisk, men det er også mange lokaliteter som viser negativ utvikling eller ingen endring.

Skogtilstanden har totalt sett bedret seg noe i de siste årene. Den negative trenden for skog i perioden 1989-1997 ser dermed ut til å være snudd, men årsaken til endringen er usikker. Bedrede vekstbetingelser som følge av klimavariasjoner kan spille en rolle. Luftforurensninger generelt antas å svekke trærne slik at de lettere blir påvirket av andre skadelige forhold.

Det er registrert endringer i vegetasjon som kan skyldes luftforurensninger, samtidig ser vi en framvekst av forurensningsfølsom lav og kraftig økning av algevekst på trær i sør. Det er ikke registrert tilbakegang i rovfugl- eller spurvefuglbestander i Sør-Norge.

Selv om vi kan glede oss over en positiv utvikling på forsuringssituasjonen, er det viktig å understreke at det er langt igjen før forsuringsproblemet i Norge er løst. Problemet er avtagende, men fremdeles mottar store deler av Sør-Norge mer forsurende komponenter i nedbør enn naturen greier å ta hånd om. Resultatet av dette er fortsatt forsuring og dertil store skader på biologiske samfunn.

Utslipp, luft og nedbør

Utslippene av svoveldioksid i Europa er redusert med omlag 60% fra 1980 til 2000 (EMEP, 2002). Utslippsreduksjonen fra 1990 frem til 2000 har vært på 48%. Utslippene av nitrogenoksider var ganske stabilt på åttitallet, men fra 1990 til 2000 har utslippet vært redusert med 25%. Utslippene av ammoniakk økte etter 1950-årene i sammenheng med veksten i landbruksproduksjonen og et mer intensivt husdyrhold i Europa, men for perioden 1990 til 2000 har imidlertid utslippene av ammoniakk avtatt med ca 17%.

Endringene av svovel- og nitrogenkomponenter i luft og nedbør er i samsvar med de rapporterte endringer i utslipp i Europa. Årsmiddelkonsentrasjonene av sulfat i nedbør har avtatt signifikant siden 1980 på alle målesteder. Fra 1980 til 2002 var reduksjonen i sulfatkonsentrasjonen mellom 54 og 79%. Reduksjonene for svoveldioksid for tilsvarende periode var mellom 74% og 99%, og for sulfat i luft mellom 64% og 71%. Årsmiddel-konsentrasjonen av summen ammonium+ammoniakk og

nitrat+salpetersyre i luft viser ingen markert tendens siden målingene startet i 1986. For nitrogendioksid har det imidlertid vært en relativt tydelig nedgang etter 1990.
Den høyeste timemiddelverdien av bakkenært ozon i 2002 var 151 µg/m^3 målt på Sandve på Karmøy 22. august. Tålegrensen for akkumulert ozoneksponering av landbruksvekster (3000 ppb-timer, 3 måneders AOT40) ble overskredet på tre stasjoner, mens grenseverdien på for skog (10.000 ppb, 6 måneders AOT40) ble ikke overskredet på noen av stasjonene.

Vannkjemi
Nedgangen i sulfatdeposisjonen har medført nedgang i sulfatinnhold i elver og innsjøer på 39-68% fra 1980-2002. 2002 viser de laveste sulfatnivåene i vann som er registrert så langt innen overvåkingen. Som en følge av dette, har forsuringssituasjonen i vann og vassdrag vist en klar forbedring gjennom hele 90-tallet. I 2002 finner vi de høyeste verdiene av ANC og de laveste verdiene av uorganisk aluminium ("giftig aluminium") som er registret i overvåkingen. Forbedringene i forsuringssituasjonen er mest markert i de sterkest forsurede områdene på Sørlandet og noe mindre markert på Vestlandet og Østlandet. Selv Midt-Norge og Nord-Norge som har svært lav forurensningsbelastning, viser tendenser til redusert forsuring. Øst-Finnmark, som er påvirket av industri-utslipp på Kola, viser en mindre entydig utvikling. Nitrat varierer generelt en del fra år til år og det er ingen tydelige nedadgående trender. Likevel ser vi at for flere av regionene er de laveste konsentrasjonene av nitrat registrert de siste årene (siden 1997). Økningen i organisk karbon (TOC), som ble registrert gjennom en del år på 90-tallet, har nå flatet ut eller avtatt slik at det ikke lenger er klart at det er en økende trend.

Akvatisk fauna
Invertebrater
De regionale bunndyrundersøkelsene i vassdrag viser at skadene på faunaen har avtatt i to av vassdragene, en trend som som startet omkring 1990. Situasjonen er uendret i de øvrige vassdragene. Totalt sett er situasjonen i 2002 den beste som er registrert etter at overvåkingsprogrammet startet i første halvdel av 1980-tallet. De ulike elvene viser imidlertid store forskjeller med hensyn til skadeomfang. Generelt har vassdragene på Sørlandet og Sør-Vestlandet størst skader. Lenger nord på Vestlandet er skadene mindre.

Innsjøundersøkelsene av bunndyr og småkreps indikerer at forsuringssituasjonen er alvorlig i sørlige deler av Østlandet, på Sørlandet og Vestlandet (markert - sterkt forsuringsskadet). I nordlige deler av Østlandet og Fjellområdene i Sør-Norge er de fleste lokalitene ubetydelig til moderat skadet, men det finnes også lokaliteter som er markert skadet i disse regionene. I Midt-Norge og Nord-Norge inkludert Øst-Finnmark, er invertebratsamfunnene i de fleste tilfellene ubetydelig skadet, men det finnes også en del innsjøer som vurderes til moderat forsuringsskadet. Totalt sett er endringene over de syv årene overvåkingen har pågått små men for enkeltlokaliteter i Sør-Norge er det indikasjoner på utvikling i positiv retning. For 2002 ble det imidlertid for bunndyr påvist flere negative enn positive endringer sammenlignet med 2001.

For ti innsjøer er krepsdyrfaunaen rekonstruert for perioden før forsuringen startet og fram til i dag. Dette er gjort ved å studere skallrester og hvileegg av vannlopper funnet på ulike sjikt i sedimentet. Forekomsten av forsuringssensitive vannlopper og vurdering av tidspunkt for når disse eventuelt

forsvant fra innsjøen samvarierer med graden av forsuringsskader på den eksisterende faunaen. Disse artene forsvant tidligere fra innsjøer som i dag vurderes som sterkt forsuringsskadet sammenlignet med mindre forsuringsskadete innsjøer. Resultatene viser også at enkelte forsuringssensitive arter antagelig alltid har manglet, eller kun vært til stede med tynne bestander i de mest sure innsjøene, også i perioden før forsuringen startet.

Fisk

Forsuringen har forårsaket store skader på fiskebestander her i landet, med henholdsvis rundt 9.600 tapte og 5.400 skadede bestander. Aure er den arten som er påført størst skade, med rundt 8.200 tapte og 3.900 skadede bestander. Videre er nærmere 1.000 abborbestander tapt pga. forsuring, mens antallet samlet for røye, mort, ørekyte og gjedde ligger på ca 500 tapte bestander. Agderfylkene har de største skadene med rundt 62% av alle tapte aurebestander, men også Rogaland har betydelige tap med rundt 1.300 aurebestander. Undersøkelsene av fisk i innsjøer viser en positiv utvikling i flere regioner, men enkelte fiskebestander har også hatt en negativ utvikling, spesielt på Sør- og Vestlandet. I tillegg er det en del tapte fiskebestander i de utvalgte lokalitetene i de to siste landsdelene. Forsuringssituasjonen er derfor fortsatt alvorlig i de mest utsatte områdene. I Midt-Norge og nordover er situasjonen stort sett uendret, eller det har vært en økning i fisketettheten i enkelte lokaliteter. Den positive utviklingen i tettheten av aureunger i gytebekker i Vikedal (Rogaland) fortsetter, mens situasjonen Gaularvassdraget i Sogn og Fjordane er mer ustabil.

Skog

De siste 3-4 årene har trærnes kronetilstand vært relativt stabil. Kronetilstanden er betinget av en rekke faktorer og ulike stresspåvirkninger, slik som aldring, sjukdommer (for eksempel ulike sopper), vekstbetingelser og klimastress (tørke og frost). Når trær skranter eller blir sjuke skyldes dette ofte et samspill av slike naturlige påvirkninger. Redusert kronetetthet og misfarging av trær på Sør-Østlandet i 2001 var forårsaket av furuas knopp- og greintørkesopp, og angrep på bjørk av bjørkerustsoppen og lauvspisende insekter i 2002 skyldtes hovedsakelig en kombinasjon av klimatisk stress for trærne og et klimatisk gunstig miljø for soppen. I 2002 ble det i fjellet på Østlandet registret sterke angrep av bjørkerustsoppen som forårsaket misfarging av bladene. Denne soppen sprer seg lett ved høy luftfuktighet og varme om våren. Slike forhold var det flere steder i fjor. I tillegg var det sensommer tørke i lavlandet som ka ha forårsaket tidlig gulning. Det er ikke tidligere i overvåkingsperioden registrert så stort omfang av misfarging på bjørk. Tilførsler av luftforurensninger kan komme i tillegg eller i samspill med disse forholdene. Bidraget fra forurensningene er vanskelig å fastslå fordi denne påvirkningen har vært svært liten i forhold til de andre påvirkningsfaktorer. I fremtiden vil eventuelle utslag av et endret klima trolig spille en større rolle. Resultater fra skogøkologiske undersøkelser på intensivflater viser at skogøkosystemet er stabilt, og som vanlig er det betydelige variasjoner fra år til år i enkelte målinger, trolig innenfor den variasjon som er normalt i slike barskogsystemer.

Terrestrisk flora og fauna

En samlet analyse av endringer i markvegetasjonen i barskog og bjørkeskog i ulike overvåkingsområder i Norge (i regi av TOV og NIJOS) kan tyde på at endringer i karplantenes sammensetning i en del områder i Sør-Norge kan skyldes effekter av lang tids forurensningsbelastning. Endringer i mosefloraen synes relatert til klimaendringer. I andre

overvåkingsområder nord for ca 60°N er det også dels påvist endringer i markvegetasjonen; disse skyldes neppe langtransporterte forurensninger, men heller naturlige forstyrrelser eller endringer i arealbruk.

Registreringer av epifyttisk vegetasjon på stammer av bjørk (på furu i Solhomfjell) viser en klar sammenheng mellom lavenes forekomst og skadestatus og registrerte forurensnings-belastninger i nedbøren, med lavest dekning og høyest skadeomfang i sørlige områder. Det er registrert noe forbedring i disse parameterne ved gjenkartlegging etter 5 og 10 år. Det er registrert en kraftig økning av algevekst på trestammer i Lund i Rogaland.

Overvåkingen av rovfugl (kongeørn og jaktfalk) i TOV-områdene viser god produksjon også i de forurensede områdene i Sør-Norge. For spurvefugl er det ingen tegn til vesentlig forskjellig bestandsvariasjoner i sørlige, forurensningsbelastede områder enn i nord, men svarthvit fluesnapper har tidligere år vist noe lavere klekkesuksess i de sørligste områdene.

Acidification status in Norway 2002

About the monitoring programmes
This report covers the main result for 2002 from three national monitoring programmes "Monitoring of long-range transported air-pollution", "Monitoring programme for forest damage" (OPS) and "Programme for terrestrial ecosystem monitoring" (TOV). These three programmes organise extensive monitoring on air, water, soil, forest and other terrestrial vegetation, and aquatic and terrestrial fauna.

Air
Emissions of SO_2 in Europe have decreased by about 60% since 1980, 48% since 1990. The emissions of nitrogen oxides and ammonia increased up to 1990 but have decreased since then by about 25 and 17% respectively (EMEP, 2002). The observed reductions in concentration levels are in agreement with these reported downwards trends in pollutant emissions in Europe. The wet deposition of sulphate was in 2002 one of the lowest measured since the monitoring started in 1973. Since 1980 the content of sulphate in precipitation at the various sites decreased by 54-79%. Similar reductions in airborne concentrations were between 74- 99% and 64-71% for sulphur dioxide and sulphate, respectively. There are not that significant trends in nitrogen concentrations in precipitation, except at a few sites where the nitrate concentrations have decreased somewhat. In air there is a clear decrease in the nitrogen dioxide concentration the last 10 years.

Water
The decrease in sulphate in deposition has caused a decrease in sulphate in lakes and rivers of 39-68% from 1980-2002. 2002 in general shows the lowest sulphate content in lakes and rivers measured during the monitoring programme (since 1980). As a consequence, the acidification situation in lakes and rivers has shown a clear improvement in the 1990ies with increases in pH and ANC (acid neutralising capacity) and decrease in inorganic (toxic) aluminium. There is no systematic long-term change in nitrate, although the last five to six years, 1997 to 2002, in many sites show lower values than previously observed. The slight increase in TOC during the 90's has now leveled off.

Aquatic fauna
Invertebrates
The invertebrate monitoring demonstrated decreased damages to the benthic invertebrate communities for two of the monitored watersheds, a trend which has been prominent since 1990. The improved conditions are reflected by increased biodiversity and distribution of acid-sensitive invertebrates in several of the areas which earlier were damaged. Regional differences have become smaller during the last years. This indicates that the most impacted watersheds, especially those in southernmost Norway, have improved.

The monitoring of benthic invertebrates as well as planktonic and littoral microcrustaceans in lakes (1996-2002) confirm the general trend that watersheds in southernmost Norway are more damaged than those situated further north and in the central mountain areas of Southern Norway. The species

richness and composition does not indicate clear improvements with regard to acidification during the seven years of study. Minor positive changes in the invertebrate communities of some lakes in the Southern Norway are however observed.

Studies of cladocerans from lake sediments have been carried out for some of the lakes. The occurrence and eventually time of disappearance of sensitive taxa based on the paleolimnological studies show high correlation with the degree of acidification damages based on the present fauna. Some of the acid sensitive species may never have occurred in the most acidic lakes, not even prior to acidification.

Fish

The status on fish populations in Norwegian lakes was based on questionnaires in the early 1990s. The number of lost and damaged populations of the six most common species of fish in Norwegian lakes greater than 3.0 ha in acidic areas were estimated to be about 9.600 and 5.400, respectively. Brown trout has suffered the most severe damage with a total of about 8200 lost stocks. Lakes in southernmost Norway, i.e. the counties Aust-Agder and Vest-Agder have suffered the highest damage with nearly 6.000 lost stocks. Test-fishing with gill nets in lakes in southern and south-western Norway, indicate improvement in the fish populations. However, some fish populations have also decreased in density. The density of young brown trout in tributary streams to lakes was assessed by means of electrofishing. The density of young brown trout in tributaries to lakes in Vikedal and Bjerkreim watersheds in southwestern Norway have increased significantly in recent years. However, for streams in Gaular watershed in western Norway no corresponding positive response for young brown trout has so far been registered.

Forest

Crown condition has been relatively stable for the last three to four years. Crown condition is determined by a number of factors and stresses, such as age, diseases (e.g. various fungi), growth conditions and climatic stress (drought and frost**)**. When trees show signs of poor health, this is often due to an interaction of some of these natural causes. For example, reduced crown density and discolouration of trees caused by *Gremmeniella abietina* in south-eastern Norway in 2001 and attacks on birch by *Melampsoridium betulinum* and leaf-eating insects in 2002, were due largely to a combination of climatic stress on the trees and a favourable climatic environment for the fungi. In the mountain areas of eastern Norway, a major attack by *Melampsoridium betulinum* in 2002 caused discolouration of the leaves. This fungus spreads easily under conditions of high air humidity and temperature in the spring. These conditions could be found in many places last year. In addition, a dry period in the lowlands in late summer may have caused early yellowing. Discolouration of birch of such dimensions has not previously been registered during monitoring. Effects of air pollutants may come in addition to or interaction with these factors. The effect of pollutants on forest condition is hard to estimate, because their effect has been small compared with those of other factors. In the future, effects of climate change may play a larger role. Results from ecological investigations on the intensive monitoring plots suggest that the forest environment is stable, and that there are, as usual, large fluctuations from year to year in some measurements, probably within the normal variation for coniferous forests.

Terrestrial flora and fauna

A comprehensive analysis of changes in ground vegetation in coniferous and birch forests in various monitoring areas in Norway (run by respectively TOV and NIJOS) indicates that changes in the species composition of vascular plants in some sites in southern Norway may be linked to effects of accumulated pollution loads. Changes in the bryophyte flora appear to be related to inter-annual climate variation. In other monitoring areas north of about 60°N, changes in ground vegetation are also partly recorded. These changes are unlikely to be related to effects of long-range pollution but may rather be caused by natural disturbances or changes in land use.

Inventories of epiphytic lichens on trunks of birch in the monitoring areas (pine in Solhomfjell) show a clear relationship between lichen coverage and damage and deposition patterns of pollutants, with the lowest coverage and highest damage frequency in the southernmost areas. Repeated inventories after 5 and 10 years indicate generally improved coverage and damage status in the southern areas. There is a marked increase in the growth of algae on tree trunks in the southernmost area Lund.

Monitoring of golden eagles and gyrfalcons in the monitoring areas indicates good production also in the most polluted areas of South Norway. There is no indication that population variations in passerine birds are significantly different in southern compared to northern areas. However, hatching success of pied flycatchers in the southernmost areas has been somewhat lower for some of the early years of the monitoring.

1. Innledning

I Norge er det i dag tre statlige overvåkingsprogrammer som overvåker effekter av langtransporterte forurensninger på økosystemer. Disse tre programmene organiserer omfattende måleprogrammer på luft, vann, jord og skog samt akvatisk og terrestrisk fauna. Dette er store og arbeidskrevende programmer hvor mange norske forskningsmiljøer er involvert. Resultatene rapporteres i forskjellige hovedrapporter og delrapporter, og det kan derfor være vanskelig å få den totale oversikten over hovedresultatene fra overvåkings-programmene og hvordan de kompletterer og utfyller hverandre.

Vi ønsker her å gi en kortfattet og samlet oversikt over de viktigste resultatene fra de tre overvåkingsprogrammene. For en grundig dokumentasjon om gjennomføring og resultater henviser vi til rapportene som denne sammendragsrapporten baserer seg på.

Felles for alle overvåkingsprogrammene er en målsetning om at resultatene skal brukes for å vurdere behovet for tiltak og virkninger av tiltak. Overvåkingen skal dessuten gi en oversikt over forurensningssituasjonen og nødvendig kunnskap om generelle forurensningsproblemer, og er i mange tilfeller et ledd i internasjonale avtaler som Norge har underskrevet. Overvåkingen gjennomføres for å kunne:

- treffe beslutninger om tiltak m.h.p. utslippsberegninger nasjonalt
- dokumentere effekter av internasjonale avtaler
- dokumentere behov for ytterligere tiltak internasjonalt og styrking av avtalene
- vurdere behov for og eventuelt omfang av reparerende tiltak
- gi grunnlag for informasjon generelt til politikere, myndigheter og publikum

For arbeidsområdet langtransporterte luftforurensninger, som de tre programmene i denne rapporten omhandler, er hovedmålet:

"Arbeide for at naturens tålegrense for forsuring og bakkenært ozon ikke overskrides".

1.1 Presentasjon av programmene

Overvåking av langtransportert forurenset luft og nedbør
Programmet for "Overvåking av langtransportert forurenset luft og nedbør" startet i 1980 i regi av Statens forurensningstilsyn (SFT) etter avslutningen av forskningsprosjektet "Sur nedbørs virkning på skog og fisk" (SNSF-prosjektet). Formålet til "Overvåking av langtransportert forurenset luft og nedbør" er blant annet å klarlegge endringer i luft, vannkjemi og jord relatert til langtransporterte luftforurensninger over tid og hvilken virkning dette har på akvatisk fauna (bunndyr, krepsdyr og fisk). SFT har hovedansvaret for koordineringen av overvåkingsprogrammet og administrerer overvåkingen av atmosfæriske tilførsler og den vannkjemiske overvåkingen. Direktoratet for naturforvaltning (DN) administrerer den biologiske delen. Det faglige ansvaret for de forskjellige delene av programmet er fordelt mellom Norsk institutt for luftforskning (NILU) (atmosfæriske tilførsler), Norsk institutt for vannforskning (NIVA) (vannkjemi), Norsk institutt for naturforskning (NINA) (fisk- og krepsdyrundersøkelser) og Zoologisk institutt, Universitetet i Bergen (UiB)

(bunndyrundersøkelser). Jordkjemi i små nedbørfelt er tatt uta av programmet slik at Norsk institutt for skogforskning (Skogforsk) ikke lenger deltar. Det faglige samarbeidet koordineres gjennom en arbeidsgruppe oppnevnt av SFT der SFTs representant har formannsvervet.

Overvåkingsprogram for skogskader (OPS)
Landbruksdepartementet og SFT er oppdragsgivere og finansierer "Overvåkingsprogram for skogskader" (OPS) som ble opprettet i 1985. Formålet til OPS er blant annet å klarlegge skadeomfanget på norsk skog, vise utviklingstendenser over tid, og belyse i hvilken grad langtransporterte luftforurensninger fører til skogskader i Norge. Programmet blir utført av NILU (tilførsel av luftforurensing), Norsk institutt for jord- og skogkartlegging (NIJOS) (representative undersøkelser av skogtilstand), skogoppsynet (skogtilstand i produksjonsskog) og Skogforsk (skogøkologiske undersøkelser på "intensivflater") som også koordinerer programmet. OPS har en egen styringsgruppe.

Program for terrestrisk naturovervåking (TOV)
Program for terrestrisk naturovervåking (TOV) ble startet av Direktoratet for naturforvaltning (DN) i 1990 for å belyse effektene av langtransporterte forurensninger på representative terrestriske økosystemer i norsk natur. Programmet omfatter studier av effekter av forsuring, nitrogengjødsling, metaller og organiske miljøgifter. Det foregår dels som integrerte studier av jord, vegetasjon og fauna i sju overvåkingsområder og dels i form av landsomfattende og regionale kartlegginger av status for noen biologiske forurensningsindikatorer. DN står for finansiering og styring av TOV, og har støttet seg til et fagråd i utviklingen og gjennom-føringen av programmet. Det faglige ansvaret for de forskjellige delene av programmet er lagt til NINA (markvegetasjon, epifyttisk vegetasjon, fauna, miljøgifter i næringskjeder, radioøkologiske undersøkelser) og NIJOS (vegetasjon i barskog). Fra og med 2001 er TOV under omlegging med en sterkere konsentrasjon om effekter på biologisk mangfold, snarere enn tilførsler og nivå av forurensningsstoffer.

1.2 Overvåkingsprogrammene i internasjonalt perspektiv

Resultater fra de norske overvåkingsprogrammene er et viktig redskap for norske forvaltningsmyndigheter til å holde en oversikt over naturtilstanden i Norge og hvordan den påvirkes/endres av langtransporterte forurensninger. Resultatene brukes imidlertid også til å oppfylle Norges forpliktelser i de internasjonale avtalene under "Konvensjonen om langtransporterte grenseoverskridende luftforurensninger" (CLRTAP) som ble etablert i 1979. CLRTAP er en rammeavtale som har til formål å verne mennesker og miljø mot luftforurensning. Konkrete forpliktelser om utslippsreduksjoner er nedfelt i protokoller. I dag finnes det syv protokoller under konvensjonen som regulerer utslipp. Årstallene i parentes viser når protokollen ble undertegnet;

1. **Nitrogenprotokollen (1988)** forplikter landene til å redusere sine NO_x-utslipp til 1987-nivå.
2. **VOC-protokollen (1991)** forplikter landene til å redusere utslippene av flyktige organiske komponenter (VOC) med 30% relatert til 1988 (eller et valgfritt år mellom 1984 og 1990).
3. **Svovelprotokollen (1985)** forplikter landene til å redusere utslippene av svovel med 30%

4. **Den 2. Svovelprotokollen (1994)** forplikter landene til å redusere sine utslipp av svovel slik at overskridelsen av tålegrensen for tilførsler av svovel reduseres med minst 60% relativt til 1980-nivå. Denne protokollen erstatter den 1. Svovelprotokollen.
5. **Tungmetallprotokollen (1998)** forplikter landene til å gjennomføre tiltak for å redusere utslippene av tungmetaller (Pb, Hg, Cd) til 1990 eller en gitt referanse mellom 1985 og 1990.
6. **POP-protokollen (1998)** forplikter landene til å gjennomføre tiltak for å redusere utslippene av et utvalg (ca. 20) persistente organiske forbindelser (POP) i forhold til 1990 eller en gitt referanse mellom 1985 og 1990.
7. **Multi-effekt/multi-forurensningprotokollen (Multi-protokollen) (1999)** tar for seg forsuring, eutrofiering og bakkenær ozon som forårsakes av utslipp av svovel, nitrogenoksider, ammonium og flyktige organiske komponenter (VOC).

Gjennom protokollene forplikter landene seg til å overvåke utslipp, tilførsler og effekter av langtransporterte forurensninger. Alle aktivitetene er organisert i samarbeidsprogrammer hvor programsentre er ansvarlig for samordning og rapportering av data fra alle deltagende land. Et program omhandler registrering av utslipp, overvåking av luft- og nedbørkjemi samt modellering av hvordan luftforurensninger beveger seg (Det europeiske måle- og evalueringsprogrammet for langtransporterte forurensninger - EMEP). I tillegg finnes syv forskjellige programmer (International cooperative programmes - ICPs) som omhandler effekter; vann (ICP Waters), skog (ICP Forests), økosystem struktur (ICP Intergrated Monitoring), vegetasjon (ICP Vegetation), materialer (ICP Materials), tålegrenser (ICP Mapping) og menneskelig helse (Joint TF on Human health (sammen med WHO)).

Norge bidrar aktivt innen de fleste av disse programmene (eneste unntaket er landbruksvekster), både med data og med faglig ekspertise. Resultater fra de norske overvåkingsprogrammene "Overvåking av langtransportert forurenset luft og nedbør", OPS og TOV bidrar til å oppfylle de norske forpliktelsene om å overvåke effektene av de forskjellige protokollene. Data fra programmene blir rapportert direkte til ICP-ene hvor de blir bearbeidet og rapportert sammen med data fra andre europeiske og nord-amerikanske land.

1.3 Referanser til rapporter

Referer til denne rapporten som:
SFT, 2003. Overvåking av langtransporterte forurensninger 2002 - Sammendragsrapport. SFT-rapport 878/2003, TA-1969/2003.

Luft og nedbør:
EMEP (2002) Emission data reported to UNECE/EMEP. Eds: V. Vestereng og H. Klein. Oslo (EMEP/MSC-W Note 1/2002).

SFT, 2003. Overvåking av langtransportert forurenset luft og nedbør. Atmosfærisk tilførsel 2002. W.Aas, S. Solberg, T. Berg, S. Manø og K.E. Yttri. SFT rapport 877/2003 NILU OR 23/2003.

Vannkjemi og vannbiologi:
SFT, 2001. Overvåking av langtransportert forurenset luft og nedbør. Årsrapport - Effekter 2000. Statlig program for forurensningsovervåking. Rapport 834/01, Statens forurensningstilsyn, Oslo, Norway.

SFT, 2003. Overvåking av langtransportert forurenset luft og nedbør. Årsrapport - Effekter 2002. SFT-rapport under utarbeidelse. Vil bli tilgjengelig fra november 2003.

Terrestrisk flora og fauna:
Hylen, G. og Larsson, J. Y. 2003. Landsrepresentativ overvåking av skogens vitalitet i Norge 1989-2002. NIJOS rapport 1/2003:1-65

Solberg, S. 2002. Skogoppsynets overvåkingsflater. Vitalitetsregistreringer 2002. Rapport fra skogforskningen 5/02:1-18.

Andreassen et al. 2003. Intensive skogovervåkingsflater. Resultater fra 2002. Aktuelt fra skogforskningen X/03:1-x. Under utarbeidelse.

DN, 1997. Natur i endring. Program for terrestrisk naturovervåking 1990-1995. Direktoratet for naturforvaltning, Trondheim. 160 ss.

Framstad, E. (red.) Terrestrisk naturovervåking. Markvegetasjon, epifytter, smågnagere og fugl i TOV-områdene, 2002. NINA Oppdragsmelding (under arbeid)

Økland, T., Bakkestuen, V., Økland, R.H. og Eilertsen, O. 2001. Vegetasjonsendringer i Nasjonalt nettverk av flater for intensivovervåking i skog. NIJOS-rapport 08/01: 1-46.

2. Luft og nedbør

Den atmosfæriske tilførselen av forurensende forbindelser overvåkes ved måling av kjemiske forbindelser i luft og nedbør. Forurensningene tilføres med nedbør, og ved tørravsetning av gasser og partikler. Målet for overvåking av luftens og nedbørens kjemiske sammensetning på norske bakgrunnsstasjoner er å registrere nivåer og eventuelle endringer i tilførselen av langtransporterte forurensninger. Bakgrunnsstasjonene er derfor plassert slik at de er minst mulig påvirket av nærliggende utslippskilder. NILU startet regelmessig prøvetaking av døgnlig nedbør i 1971, med de fleste stasjonene på Sørlandet. Senere er stasjonsnettet og måleprogrammet utvidet for å gi bedret informasjon om tilførsler i hele landet.

Måling av kjemiske hovedkomponenter i nedbør ble i 2002 utført døgnlig ved 9 stasjoner og på ukebasis ved 15 stasjoner (**Figur 1**). Konsentrasjonene av tungmetaller i nedbør er bestemt på 7 stasjoner med ukentlig prøvetaking. De uorganiske hovedkomponentene i luft er bestemt på totalt 10 stasjoner med ulik prøvetakingsfrekvens. Kontinuerlige målinger av ozonkonsentrasjoner i luft er utført på 14 stasjoner inklusive tre stasjoner drevet av SFTs kontrollseksjon i Nedre Telemark. Tungmetaller i luft måles på to stasjoner, det samme gjelder for organiske luftkomponenter.

2.1 Utslipp

Utslipp av forurensninger til atmosfæren skjer fra en lang rekke naturlige og antropogene kilder. Forbrenning av fossilt brensel er den viktigste kilde til svoveldioksid og nitrogenoksider i Europa. I tidsrommet 1950-1970 var det en markert økning i utslippene av både svoveldioksid og nitrogenoksider. I følge data som er samlet i forbindelse med EMEP-programmet er utslippene av svoveldioksid redusert med omlag 60% fra 1980 til 2000 (EMEP, 2002). Utslippsreduksjonen fra 1990 frem til 2000 har vært på 48%. Reduksjonen har vært størst i de vestlige land, men også i øst er reduksjonene på over 30% fra 1980. Utslippene av nitrogenoksider var ganske stabilt på åttitallet, men fra 1990 til 2000 har utslippet vært redusert med 25%. Utslippene av ammoniakk har økt etter 1950-årene i sammenheng med veksten i landbruksproduksjonen og et mer intensivt husdyrhold i Europa. I perioden 1990 til 2000 avtok imidlertid utslippene av ammoniakk med ca 17% (EMEP, 2002).

Høsten 1999 ble den foreløpig siste internasjonale avtalen for reduksjon av utslipp av luftforurensninger undertegnet. Dette er en multikomponent protokoll og målsetningen er å redusere svovelutslippene med 63% innen år 2010 sammenlignet med 1990. Utslippene av nitrogenoksider og ammoniakk skal reduseres med henholdsvis 41% og 17% .

2.2 Nedbørkjemi – våtavsetninger

De høyeste årsmiddelkonsentrasjoner av sulfat ble i 2002 registrert på Lista og Søgne i Vest Agder og på Svanvik i Finmark, mens de høyeste årsmidlene av sterk syre (H^+), nitrat og ammonium var på Lista. For ammonium er som tidligere enkelte målestasjoner lokalt påvirket av landbruksaktivitet.

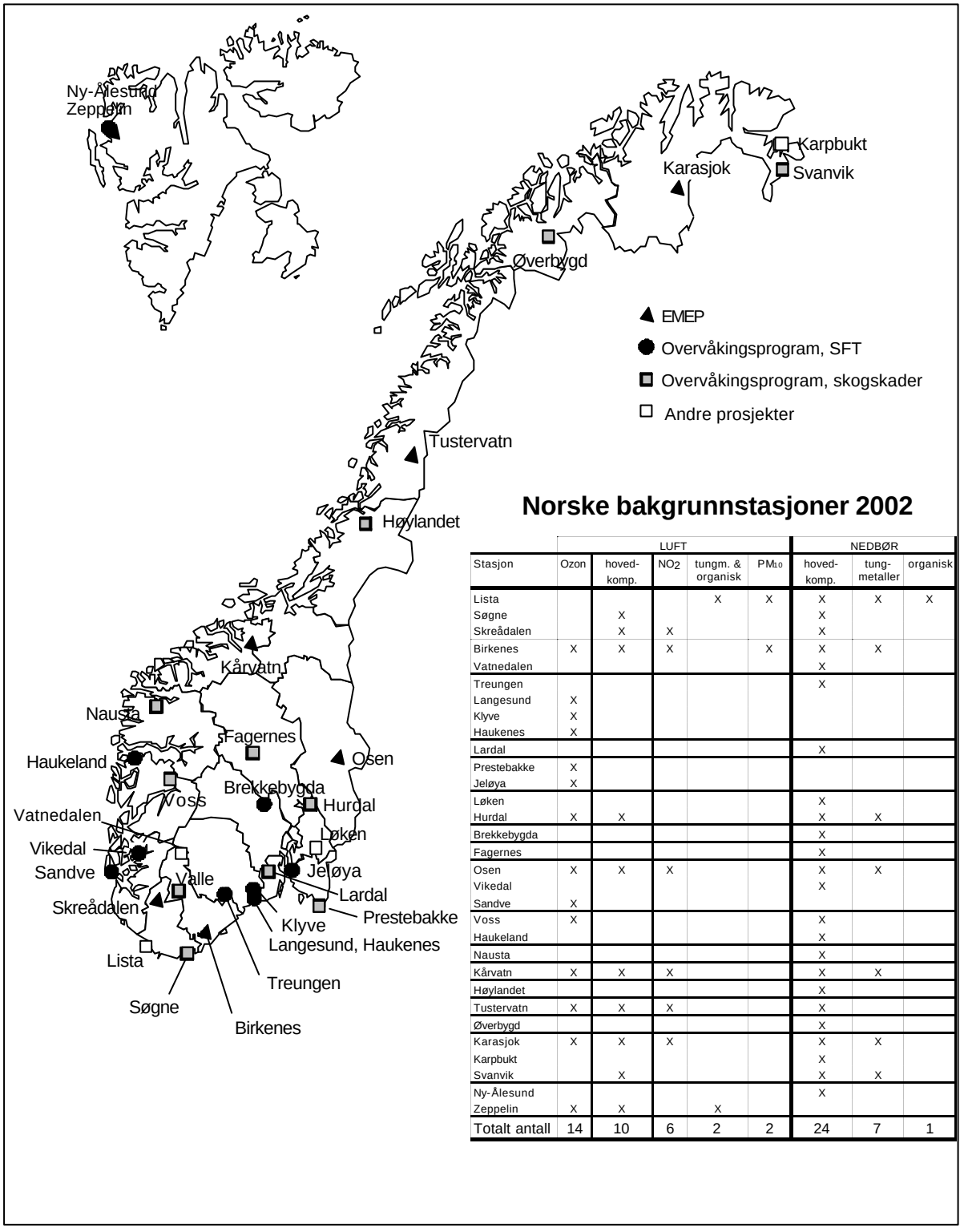
Våtavsetningen av sulfat, nitrat, ammonium og sterk syre var størst langs kysten fra Aust-Agder til Hordaland. Regionale fordelinger av middelkonsentrasjoner og våtavsetninger er vist på kart i **Figur 2**.

Ved de fleste målesteder var konsentrasjonene av sterk syre, sulfat, nitrat og ammonium i 2002 ganske likt sammenlignet med 2001. Noen stasjoner viser svak nedgang, mens på enkelte stasjoner øker konsentrasjonene noe. Årsmiddelkonsentrasjonene av sulfat og sterk syre økte stort sett fram til slutten av 1970-årene, og har deretter avtatt. Konsentrasjonene har avtatt mest i Sør-Norge, men de relative reduksjonene øker noe mot nord.

Figur 3 viser veide gjennomsnittsverdier for 7 representative målesteder på Sørlandet og Østlandet, og man ser klart reduksjonen av nedbørens sulfatinnhold, mens innholdet av nitrat og ammonium har gjennomgående vært på samme nivå.

I perioden 1980-2002 var reduksjonen i sulfatkonsentrasjoner mellom 54 og 79%. Årsmiddelkonsentrasjonene av nitrat har en signifikant reduksjon siden 1980 ved tre av målestasjonene, Birkenes, Brekkebygda og Løken. For ammonium har det vært en signifikant reduksjon ved fire målestasjoner, mens det har vært en økning ved Tustervatn. Endringer i konsentrasjonene av ammonium antas å være påvirket av endring i bidraget fra lokale kilder. Innholdet av basekationet kalsium er redusert ved de fleste stasjoner. Sjøsaltinnholdet i nedbøren viser signifikant økning i perioden på kyststasjonen Lista. Innholdet av sjøsalter i nedbøren påvirkes sterkt av de meteorologiske forhold og varierer av den grunn mye fra år til år. Høyt sjøsaltinnhold i nedbøren skyldes som regel sterk pålandsvind.

Disse observasjonene samsvarer godt med de rapporterte endringer i utslipp, se kapittel 2.1.

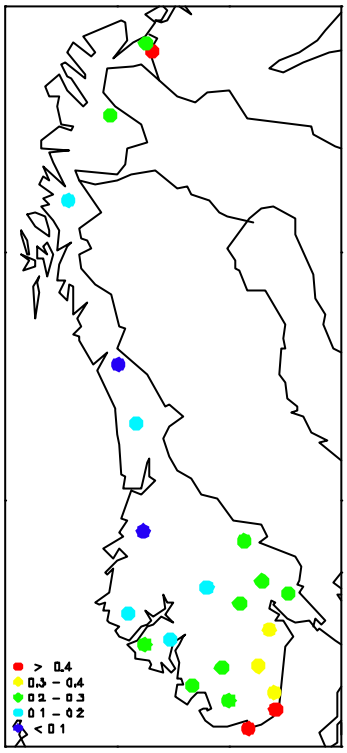


Norske bakgrunnstasjoner 2002

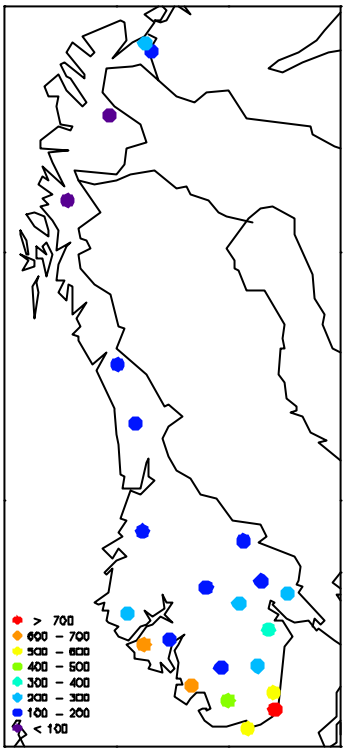
	LUFT					NEDBØR		
Stasjon	Ozon	hoved-komp.	NO_2	tungm. & organisk	PM_{10}	hoved-komp.	tung-metaller	organisk
Lista				X	X	X	X	X
Søgne		X				X		
Skreådalen		X	X			X		
Birkenes	X	X	X		X	X	X	
Vatnedalen						X		
Treungen						X		
Langesund	X							
Klyve	X							
Haukenes	X							
Lardal						X		
Prestebakke	X							
Jeløya	X							
Løken						X		
Hurdal	X	X				X	X	
Brekkebygda						X		
Fagernes						X		
Osen	X	X	X			X	X	
Vikedal						X		
Sandve	X							
Voss	X					X		
Haukeland						X		
Nausta						X		
Kårvatn	X	X	X			X	X	
Høylandet						X		
Tustervatn	X	X	X			X		
Øverbygd						X		
Karasjok	X	X	X			X	X	
Karpbukt						X		
Svanvik		X				X	X	
Ny-Ålesund						X		
Zeppelin	X	X		X				
Totalt antall	14	10	6	2	2	24	7	1

Figur 1. *Lokaliteter som inngår i overvåkingsprogrammet for atmosfærisk tilførsel og bakkenær ozon i 2002.*
Figure 1. *Localities in the monitoring program for atmospheric deposition and ground level ozone in 2002.*

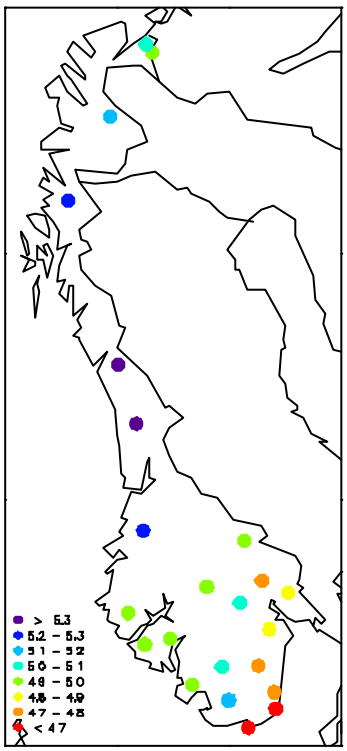
Sulfat – konsentrasjoner i nedbør 2002 mg S/l



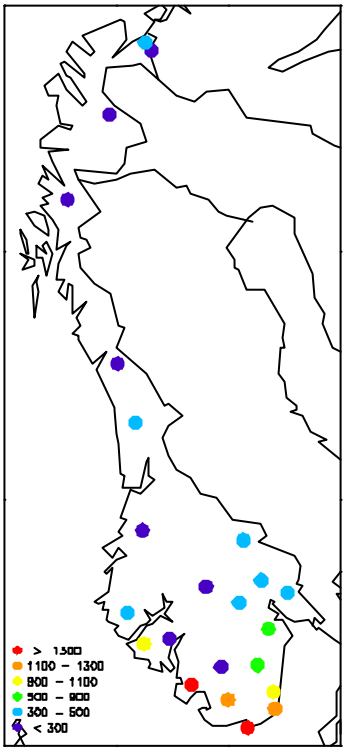
Sulfat – våtavsetning i nedbør 2002 mg S/m^2



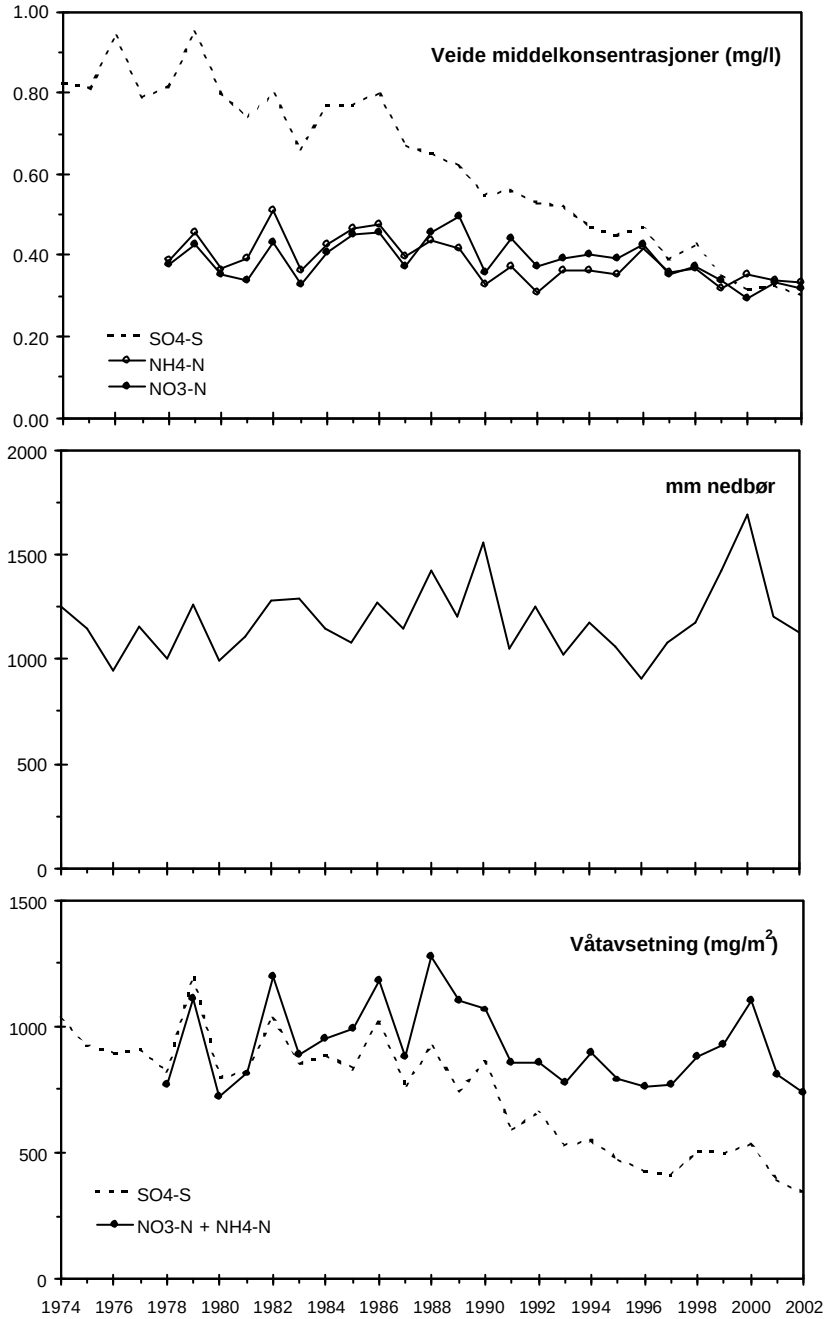
pH middelverdier 2002



Sum nitrat og ammonium i nedbør 2002 mg N/m^2

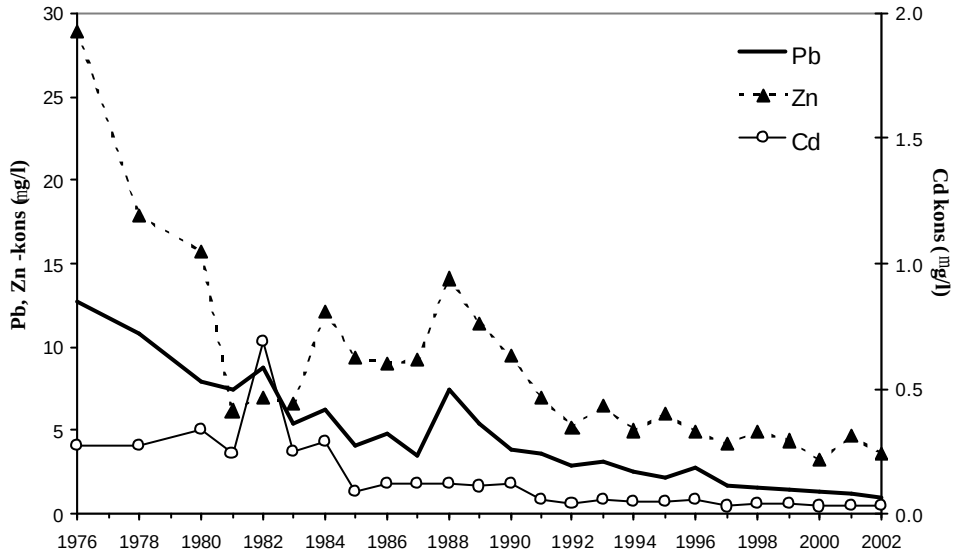


Figur 2. *Middelkonsentrasjoner i nedbør av sulfat og pH, våtavsetning av sulfat og nitrat + ammonium på norske bakgrunnsstasjoner i 2002.*
Figure 2*. Annual mean concentrations of sulphate and strong acid (from pH), and wet deposition of sulphate and nitrogen compounds in Norway, 2002.*



Figur 3. *Veide årsmiddelkonsentrasjoner av sulfat (sjøsaltkorrigert), nitrat og ammonium, gjennomsnittlige årlige nedbørmengder og våtavsetninger av sulfat og nitrogenkomponenter fra 1973 til 2002 for 7 representative stasjoner på Sørlandet og Østlandet: Birkenes, Lista, Skreådalen, Vatnedalen, Treungen, Gulsvik/Brekkebygda og Løken.*
Figure 3. *Annual mean concentrations of sulphate (corrected for sea salts), nitrate and ammonium, averaged annual precipitation amounts and wet deposition of sulphur and nitrogen from 1973 to 2002 based on 7 representative sites in Southern Norway.*

De høyeste årsmiddelkonsentrasjoner av bly i nedbør ble målt på Svanvik med 2,64 µg/l. Svanvik i Sør-Varanger hadde også høyest nivå av de andre tungmetallene grunnet store industriutslipp på Kolahalvøya. Våtavsetningen av bly og sink 2002 var størst på Lista, mens kadmium hadde størst avsetning på Birkenes. Våtavsetningene av nikkel, arsen, kopper og kobolt var størst i Øst-Finnmark. Blyinnholdet i nedbør har avtatt med 60-80% siden 1978, men fra 1990 har nivået vært relativt konstant, utenom på Svanvik der det derimot har vært en viss økning i blykonsentrasjonen de siste par årene. Innholdet av sink har avtatt med ca. 70% siden 1976. Kadmiuminnholdet har avtatt med 50-80% siden slutten av 1970-årene, og endringen har vært størst på Birkenes (**Figur 4**).



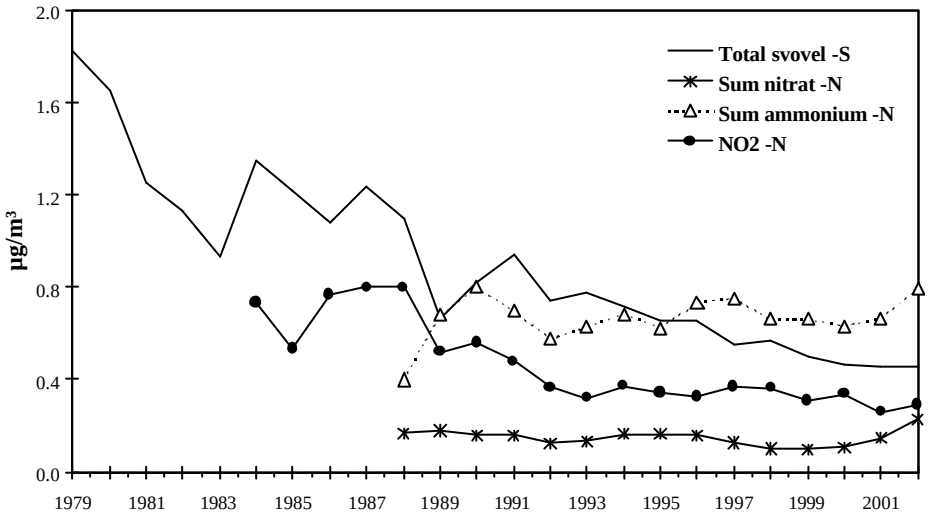
Figur 4. *Middelkonsentrasjonene av bly, kadmium og sink i nedbør på Birkenes, Aust-Agder for årene 1976-2002.*
Figure 4. *Annual mean concentrations of Pb, Cd and Zn in precipitation at the site Birkenes, 1976-2002.*

2.3 Luftens innhold av forurensninger - tørravsetninger

Årsmiddelkonsentrasjonene av svoveldioksid og sulfat i luft var høyest langs kysten i Sør-Norge og i Finnmark. Den markert høyeste årsmiddelverdien av svoveldioksid i 2002 og den høyeste maksimumsverdien (40.27 µg $S \cdot m^{-3}$ midlet over to døgn) ble registrert på Svanvik i Sør-Varanger. Høyeste døgnmiddel ble målt i Karasjok med 10,64 µg $S \cdot m^{-3}$. Dette skyldes utslippskilder på Kolahalvøya i Russland. Til sammenligning ble den høyeste maksimumsverdien av svoveldioksid i Sør-Norge målt til 1,33 µg $S \cdot m^{-3}$ (døgnmiddel) på Birkenes. Den høyeste maksimumsverdien av partikulært sulfat (2,38 µg $S \cdot m^{-3}$) ble målt på Skreådalen, mens det høyeste årsmiddelet (0,29 µg $S \cdot m^{-3}$) var i 2002 i Søgne (på Søgne var høyeste ukemiddel på 1,68 µg $S \cdot m^{-3}$). Søgne antas å påvirkes både av tilførsel fra Kristiansand-området og lokale kilder i tillegg til langtransportert forurensning.

Det desidert høyeste døgnmiddelverdien av NO_2 ble målt på Osen (7,96 µg $N \cdot m^{-3}$). Årsmiddel- og prosentilkonsentrasjonene viser at stasjonene i Sør- og Øst-Norge har de høyeste nitrogendioksidnivåene. Månedsverdiene for NO_2 var høyest i vintermånedene. Høyeste årsmiddelverdier for "sum nitrat" hadde Søgne (0,33 µg $N \cdot m^{-3}$), mens høyeste årsmiddelverdier for "sum ammonium" hadde Skreådalen og Tustervatn med hhv. 1,30 og 1.01 µg $N \cdot m^{-3}$. Dette skyldes bl.a. påvirkning fra lokal landbruksaktivitet.

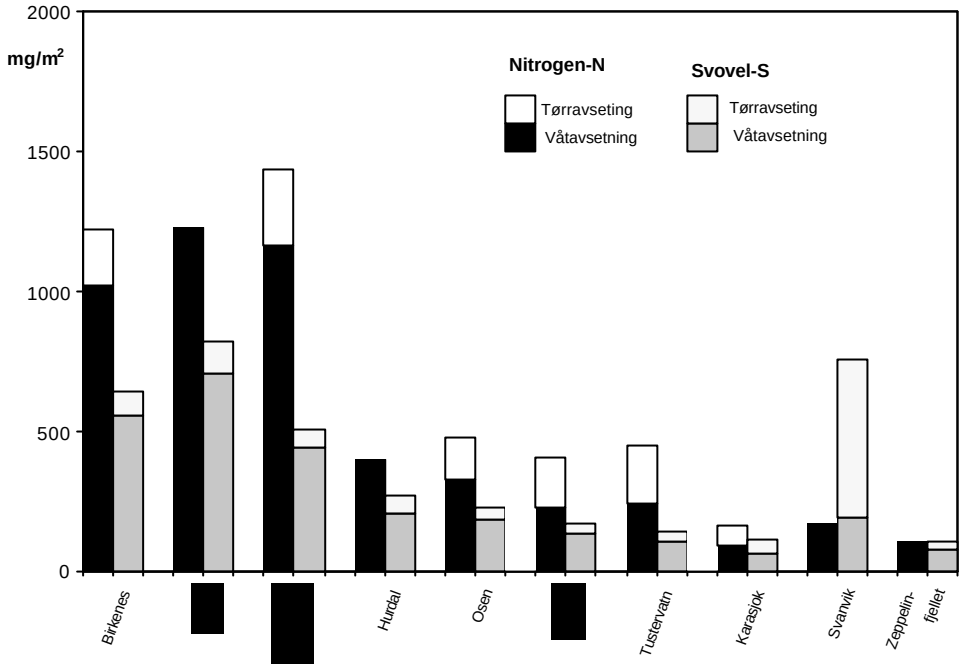
Reduksjonene er for svoveldioksid med 1980 som referanseår beregnet til å være mellom 74% og 99%, og for sulfat mellom 64% og 71%. Årsmiddelkonsentrasjonen av summen ammonium+ammoniakk og nitrat+salptersyre i luft viser ingen markert tendens siden målingene startet i 1986. Imidlertid har det vært en relativt tydelig nedgang for nitrogendioksid etter 1990 (**Figur 5**).



Figur 5. *Midlere årlige konsentrasjoner i luft av total svovel ($SO_2+SO_4^-$), oksidert nitrogen (HNO_3+NO_3), redusert nitrogen (NH_3+NH_4) og NO_2 på fem norske bakgrunnstasjoner.*
Figure 5. *Average annual mean concentrations of airborne sulphur, oxidized and reduced nitrogen compounds at five Norwegian background sites, 2001.*

2.4 Totalavsetning fra luft og nedbør

Figur 6 viser at våtavsetningen bidrar mest til den totale avsetningen i alle landsdeler, unntatt i Finnmark. Tørravsetningsbidragene av nitrogenforbindelser på Tustervatn, Skreådalen og Kårvatn skyldes delvis lokale ammoniakkutslipp. Tørravsetningsbidraget er kun beregnet for stasjonene med fullt måleprogram. Tørravsetningen av svovel- og nitrogenkomponenter er beregnet til å være markert større om sommeren enn om vinteren i alle landsdelene. Bidraget av tørravsatt svovel til den totale avsetning var 17–38% om sommeren og 5–16% om vinteren i alle landsdeler unntatt Finnmark. I Finnmark er tørravsetningsbidraget meget høyt særlig på Svanvik på grunn av høye luftkonsentrasjoner og lite nedbør (hhv. 77% tørravsetning om sommeren og 66% om vinteren). Tørravsetningen for nitrogenkomponenter bidrar for det meste relativt mer til totalavsetningen enn hva som er tilfelle for svovelforbindelser, især om sommeren.



Figur 6. *Estimert totalavsetning (sum av våt- og tørravsetning) av svovel- og nitrogenforbindelser på norske bakrunnstasjoner i 2002.*
Figure 6. *Estimated total deposition (dry and wet deposition) of sulphur and nitrogen compounds at Norwegian background monitoring sites in 2002.*

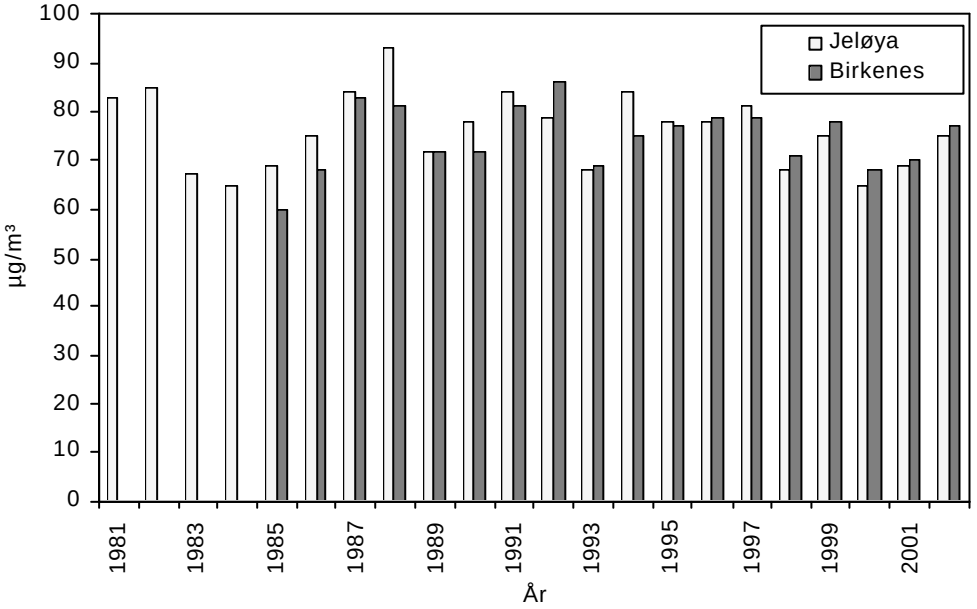
2.5 Bakkenær ozon

Den høyeste timemiddelverdien av bakkenært ozon i 2002 var 151 µg/m^3 målt på Sandve 22. august (**Tabell 1**). Grenseverdiene for helse med 8-timers middel på 80 µg/m^3 (SFTs grenseverdi) ble overskredet hyppig på alle stasjonene, mens det var få overskridelser av grenseverdiene på 120 µg/m^3 (WHOs grenseverdi). Det var atskillig flere overskridelser på grenseverdien på 110 µg/m^3 (EUs grenseverdi) i 2002 enn i 2001.

Grenseverdien for vegetasjon på 50 µg/m^3 som 7-timers middel (kl. 09-16) i vekstsesongen april til september ble overskredet i hele landet i 2002. **Figur 7** viser 7-timers middelverdien for Jeløya og Birkenes i perioden 1981-2002. Figuren viser en del variasjon fra år til år og at det ikke er noen markert endring i denne parameteren over perioden. Middelverdien var størst på Prestebakke med 86 µg/m^3. SFTs tålegrense på 60 µg/m^3 (8-timers middel) og EUs grenseverdien på 65 µg/m^3 (24-timers middel) ble også overskredet på samtlige stasjoner. Tålegrensen for akkumulert ozoneksponering av landbruksvekster (3 måneders AOT40) på 3000 ppb-timer ble overskredet på Prestebakke, Sandve og Kårvatn. Grenseverdien på 10.000 ppb-timer for skog (6 måneders AOT40) ble ikke overskredet på noen av stasjonene.

Tabell 1. *Overskridelser av grenseverdier for helse. Antall timer (h) og døgn (d) med timemiddelverdier av ozon større enn 100 og 150 mg/m^3, 2002.*
Table 1. *Exceedance of guidelines for protection of human health. Number of hours (h) and days (d) with hourly mean values of ozone exceeding 100 and 150 µg m^{-3}, 2002.*

	Antall måleverdier		100 µg/m^3		150 µg/m^3		Høyeste timemiddelverdi	
Målested	Timer	Døgn	h	d	h	d	µg/m^3	Dato
Prestebakke	8436	352	399	66			132	2002-08-21
Jeløya	8469	353	115	32			128	2002-08-22
Hurdal	8441	353	294	50			131	2002-06-03
Osen	8303	350	266	39			129	2002-04-04
Langesund	8081	339	96	27			124	2002-08-21
Klyve	8308	349	154	36			135	2002-08-22
Haukenes	4453	187	199	43			138	2002-08-21
Birkenes	8374	353	177	33			134	2002-04-11
Sandve	8442	353	435	63	1	1	151	2002-08-22
Voss	8451	353	506	61			135	2002-04-03
Kårvatn	8416	353	513	60			132	2002-07-10
Tustervatn	8141	341	478	51			138	2002-06-08
Karasjok	8325	350	169	22			134	2002-04-20
Zeppelinfjellet	8246	347	28	4			115	2002-05-26
Sum datoer		365		120		1		



Figur 7. *Middelkonsentrasjon av ozon for 7 timer (kl. 09-16) i vekstsesongen (april-september) ved stasjonene Jeløya og Birkenes i perioden 1981-2002.*
Figure 7. *Average daytime 7h concentrations of ozone (09-16) for the growing season at Jeløya and Birkenes, 1981-2002*

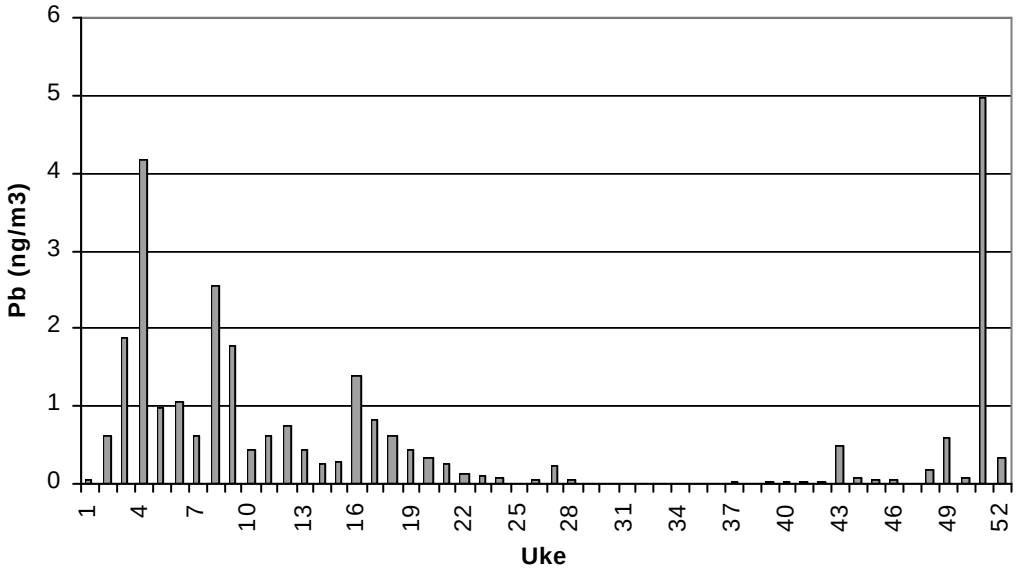
2.6 Sporelementer og organiske forbindelser ved Lista (CAMP) og Ny-Ålesund (AMAP)

AMAP, Arctic Monitoring and Assessment Programme, startet i 1994. I AMAP deltar: Norge, Sverige, Danmark, Island, Finland, Canada, USA og Russland. Programmet omfatter både kartlegging, overvåking og utredning av miljøgiftbelastningen i nordområdet.

CAMP, Comprehensive Atmospheric Monitoring Programme er en av aktivitetene innen Oslo og Paris Kommisjonens (OSPAR) studier av transport av landbasert forurensning til havområdene i tilknytning til OSPAR-landene. Det er 17 forurensningskomponenter i måleprogrammet under CAMP og målingene utføres ved 28 stasjoner i 10 OSPAR-land.

Konsentrasjoner av tungmetaller i luft er målt på Lista siden 1991. En egen rapport på trender vil bli publisert senere i år, 2003.

Måned- og årsmiddelkonsentrasjoner av Pb, Cd, Cu, Zn, Cr, Ni, Co, Mn, V, As og Hg i luft på Zeppelinfjellet er ca 5-50% av det som måles ved Lista, med unntak for Hg som viser omtrent samme konsentrasjoner på de to stasjonene. Forskjellen mellom Hg og de andre tungmetallene skyldes at Hg eksisterer i atmosfæren hovedsakelig i elementær form, mens andre tungmetaller er knyttet til partikler. Kvikksølvet får dermed en bedre spredning enn andre tungmetaller. De fleste elementene har høyest konsentrasjon om vinteren og lavest konsentrasjon om sommeren (**Figur 8**). Dette skyldes trolig at betingelsene for langtransport med luft fra kontinentet er gunstigst om vinteren. Konsentrasjonene av tungmetaller på Zeppelinfjellet viser ikke noen trend i luftkonsentrasjonen for den perioden det er utført målinger.



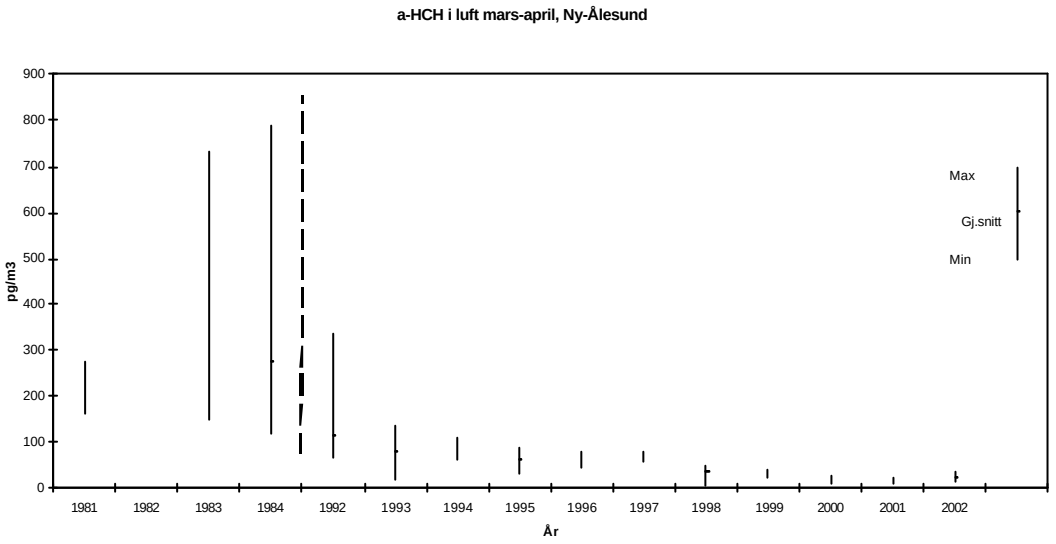
Figur 8. *Ukentlig luftkonsentrasjon av Pb på Zeppelinfjellet, Ny-Ålesund i 2002.*
Figure 8. *Weekley measurements of Pb at Zeppelin, Ny-Ålesund in 2002.*

NILU utfører målinger α- og γ-heksaklorsykloheksan (HCH) og heksaklorbenzen (HCB) i prøver fra luft og nedbør, innsamlet ukentlig ved Lista. I perioden april-juni observeres hvert år en økning av

nivået til γ-HCH. Dette skyldes bruk av pesticidet Lindan som består av minst 99 % γ-HCH. Konsentrasjonen av α-HCH og HCB viser ingen sesongvariasjon. Den gjennomsnittlige luftkonsentrasjonen for summen av α- og γ-HCH i år 2002 var 29,1 pg/m^3. Dette er den laveste verdi observert siden målingene ble startet i 1992.

På Zeppelinfjellet ved Ny-Ålesund utføres målinger av heksaklorsykloheksaner (HCH), heksaklorbenzen (HCB), klordaner, DDT med metabolitter, polyklorerte bifenyler (PCB) og polyaromatiske hydrokarboner (PAH) i luft, innsamlet ukentlig i den nye målestasjonen.

Konsentrasjonen av sum HCH på Lista er generelt ca 1.2 ganger høyere enn på Zeppelinfjellet. Det observeres en nedgang i konsentrasjonen av α-HCH i luft på Zeppelin/Ny-Ålesund siden begynnelsen av 80-årene (**Figur 9**), som gjenspeiler redusert bruk av teknisk blanding av dette sprøytemiddelet.



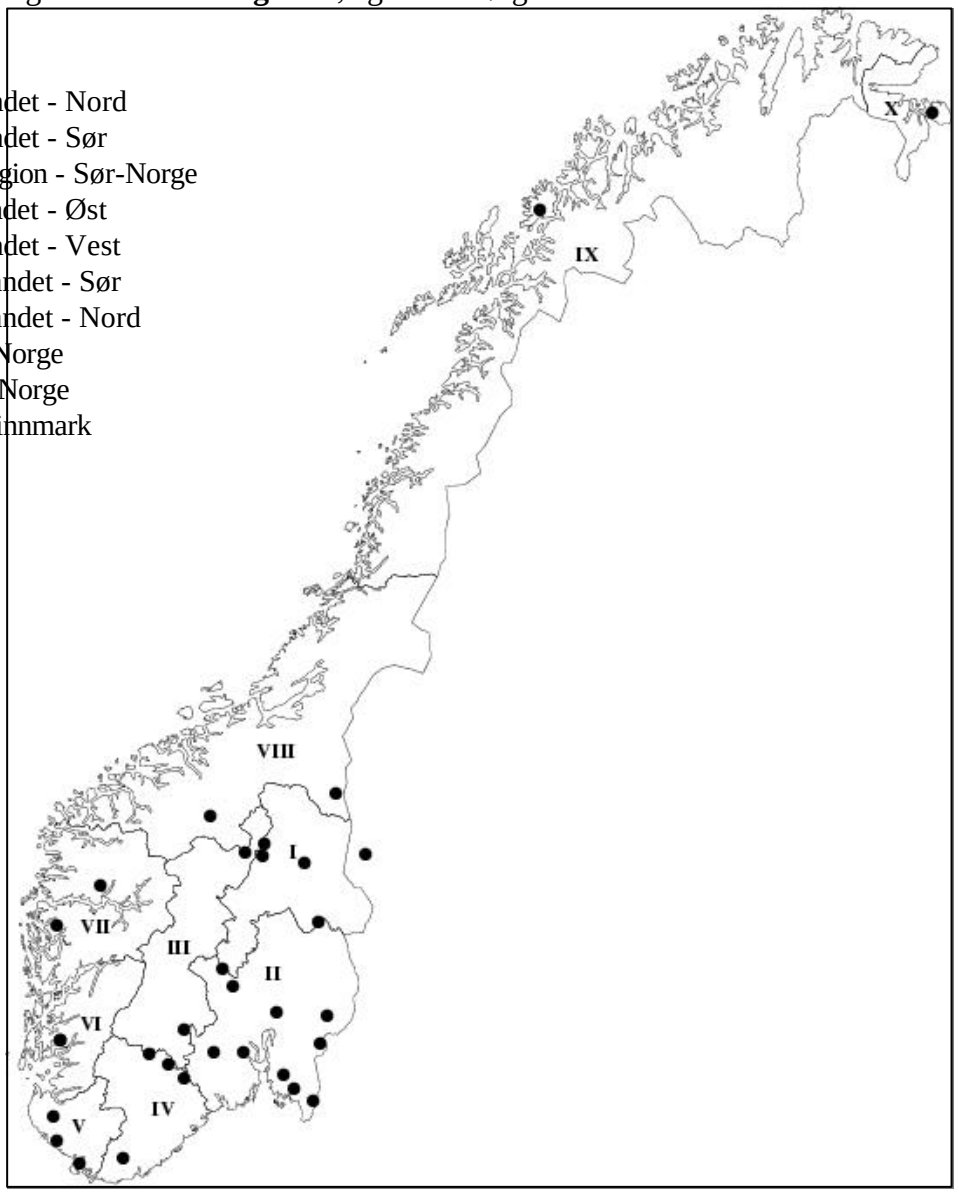
Figur 9. *α-HCH i luft i perioden mars-april på Zeppelinfjellet, Ny-Ålesund.*
Figure 9. *α-HCH in air in the period March-April at Zeppelin, Ny-Ålesund, Spitsbergen.*

3. Det akvatiske miljøet

Overvåking av det akvatiske miljøet dekkes i sin helhet gjennom programmet ”Overvåking av langtransportert forurenset luft og nedbør".

I overvåkingsprogrammet for effekter i vann er Norge delt inn i 10 regioner. Inndelingen er basert på en relativt lik forsuringsbelastning innen hver region, samt biogeografiske og meteorologiske forhold. Hovedhensikten med inndelingen er å kunne vise utviklingen av forsuringssituasjonen i ulike deler av Norge. De 10 regionene er vist i **Figur 10**, og er som følger:

I. Østlandet - Nord
II. Østlandet - Sør
III. Fjellregion - Sør-Norge
IV. Sørlandet - Øst
V. Sørlandet - Vest
VI. Vestlandet - Sør
VII. Vestlandet - Nord
VIII. Midt-Norge
IX. Nord-Norge
X. Øst-Finnmark



Figur 10. *Oppdeling av Norge i 10 regioner basert på forureningsbelastning (S- og N-deposisjon), meteorologi, og biogeografi. Punktene viser biologiske overvåkingslokaliteter i 2002.*
Figure 10. *Regional division of Norway based on extent of acidification, meteorology, and biogeography. Dots show biological monitoring sites in 2002.*

Vannkjemisk overvåking

De kjemiske forholdene i vann og vassdrag overvåkes ved måling av kjemiske hovedkomponenter i vann. Programmet omfatter undersøkelser i innsjøer og feltforskningsområder, samt i elver som er kalket (**Figur 11**). Målet for overvåkingen er å registrere konsentrasjonsnivåer og eventuelle kjemiske endringer som et direkte resultat av endringer i tilførselen av langtransporterte forurensninger.

De årlige regionale innsjøundersøkelsene gir informasjon om den generelle regionale vannkjemiske utviklingen i innsjøer i hele Norge. Ca. 100 innsjøer fordelt over hele landet er prøvetatt årlig siden 1986. I 1995 ble antallet økt til ca. 200 for å styrke innsjøovervåkingen.

Elveundersøkelsene er i hovedsak konsentrert om lakseførende elver. I 1980 ble det valgt ut 20 elver som egnede overvåkingsobjekter. Alle de 8 elevene som fremdeles overvåkes er kalket. Disse elvene blir overvåket på samme måte som tidligere for å se på endringene i sulfat og nitrat (som ikke blir påvirket av kalking), og virkningene av kalkingen.

Hensikten med overvåkingen i feltforskningsområdene er å registrere endringer i kjemisk sammensetning i avrenningsvannet i små nedbørfelt med forskjellig atmosfærisk tilførsel, geologi og vegetasjon og beregne materialbalanse for de enkelte kjemiske komponenter. I syv små nedbørfelt blir det tatt ukentlige vannprøver og nedbørprøver (NILU) samt daglig målt vannføring.

Biologisk overvåking

Det biologiske overvåkingsprogrammet omfatter:

- Bunndyr i innsjøer og elver
- Planktoniske og litorale krepsdyr i innsjøer
- Fiskebestander i innsjøer og elver

Den biologiske overvåkingen gir informasjon om korttidseffekter og akkumulerte effekter av forsuring på vannlevende organismer, og er dessuten nødvendig for å kunne evaluere effekten av forsuringsreduserende tiltak over tid. Utvalget av overvåkingslokaliteter for biologiske undersøkelser er mindre egnet for å studere regionale forskjeller i forsuringsskader og -utvikling.

Innsjøprogrammet omfatter omkring 100 innsjøer, hvorav 10 lokaliteter undersøkes hvert år mht. både bunndyr, krepsdyr og eventuelt fisk der dette finnes (Gruppe 1-sjøer), 10 lokaliteter undersøkes hvert år mht. bunndyr og krepsdyr (Gruppe 2-sjøer), mens de øvrige 80 sjøene undersøkes hvert 4. år; ca. 20 innsjøer per år (Gruppe 3-sjøer). Aktiviteten ble redusert fra 2002 og dette året ble totalt 30 innsjøer undersøkt (**Figur 10**). Hovedvekt ble lagt på region I (Østlandet - Nord) og II (Østlandet - Sør) i tillegg til årlige innsjøer fordelt på de øvrige åtte regionene. Innsjøovervåkingen har pågått siden 1996 og for en del av innsjøene foreligger det data på bunndyr

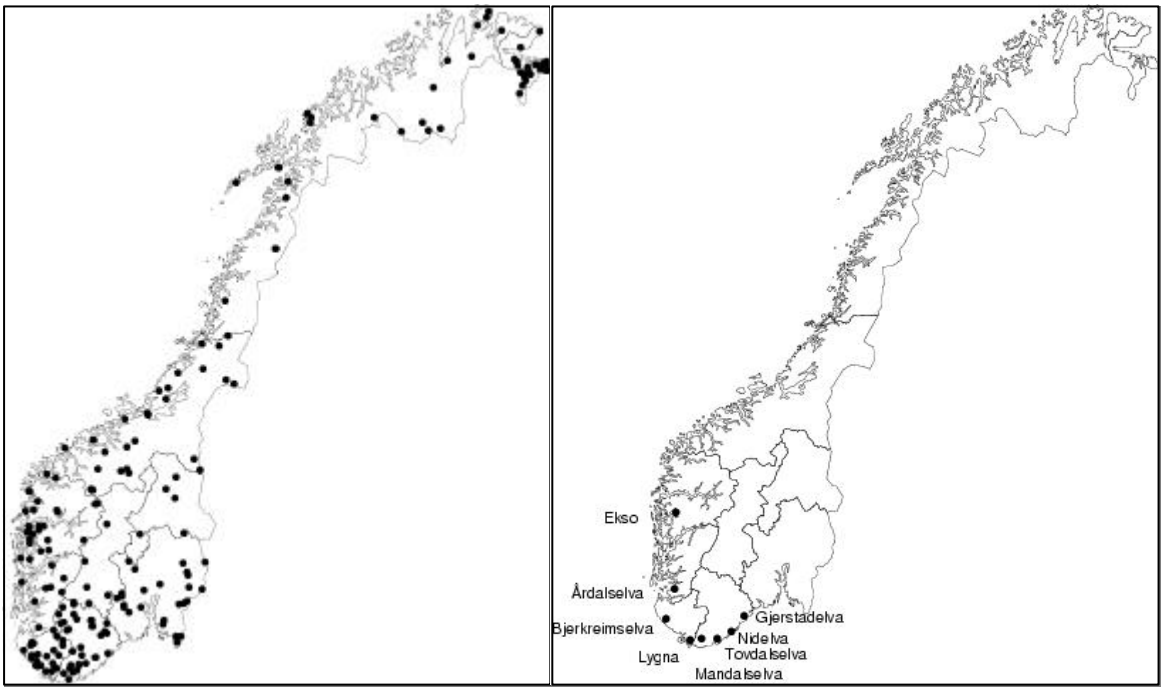
og krepsdyr fra alle syv årene. Det gjennomføres også bunndyrundersøkelser i fem vassdrag fordelt på regionene V – VII hvorav tre av vassdragene også undersøkes mhp. fiskebestander.

For bunndyr og krepsdyr er det gjort en vurdering av tilstand mht. forsuring/forsuringsskader. Forsuringstilstanden er inndelt i følgende klasser: ubetydelig/lite (klasse 1), moderat (klasse 2), markert (klasse 3), sterkt (klasse 4), meget sterkt (klasse 5) forsuret/forsuringsskadet. For å kunne gjøre en vurdering av forsuringstilstanden er kunnskap om naturgitte kjemiske og biologiske forhold (naturtilstand) nødvendig. Slike kunnskaper er i mange tilfeller mangelfulle og vår klassifisering vil derfor kun i begrenset grad kunne skille mellom naturlig sure og forsurede lokaliteter. For å kunne gjøre en vurdering av forsuringsskader (biologi) må man i tillegg kjenne til og ta høyde for eventuelt andre skadeårsaker (reguleringer, overfiske, andre forurensninger med mer). Andre skadeårsaker enn forsuring er forsøkt begrenset gjennom utvalget av overvåkingslokaliteter. Det arbeides kontinuerlig med å forbedre grunnlaget for vurdering av forsuringstilstanden i Norge.

For bunndyr bestemmes forsuringsstatus ut fra den registrerte bunndyrsammensetningen. Basert på forekomst/fravær av forsuringsfølsomme arter beregnes en forsuringsindeks (verdi: 0-1) for hver lokalitet. Når det gjelder krepsdyrene er det en total vurdering av samfunnene, basert på artsinventar, artsrikdom og mengdefordelinger (dominansforhold) som ligger til grunn for å klassifisere lokalitetene. Den totale invertebratfaunaen (bunndyr og krepsdyr samlet) gir i mange tilfeller et bedre grunnlag for å vurdere forsuringsskadene enn en vurdering basert på bunndyrene eller krepsdyrene alene. **Figur 16** presenterer en slik samlet vurdering. Mulige responsforskjeller mellom krepsdyrene og bunndyrene vil imidlertid kunne bli kamuflert.

Eventuelle forsuringsskader vil være avhengig av en kombinasjon av ulike kjemiske, fysiske og biologiske forhold. Den kjemiske overvåkingen kan derfor kun gi indikasjoner om biologiske skader. En tidsforskyvning mellom kjemisk restituering og biologisk restituering i tidligere forsurede lokaliteter må dessuten forventes.

Innsjøer ***Kalka elver***



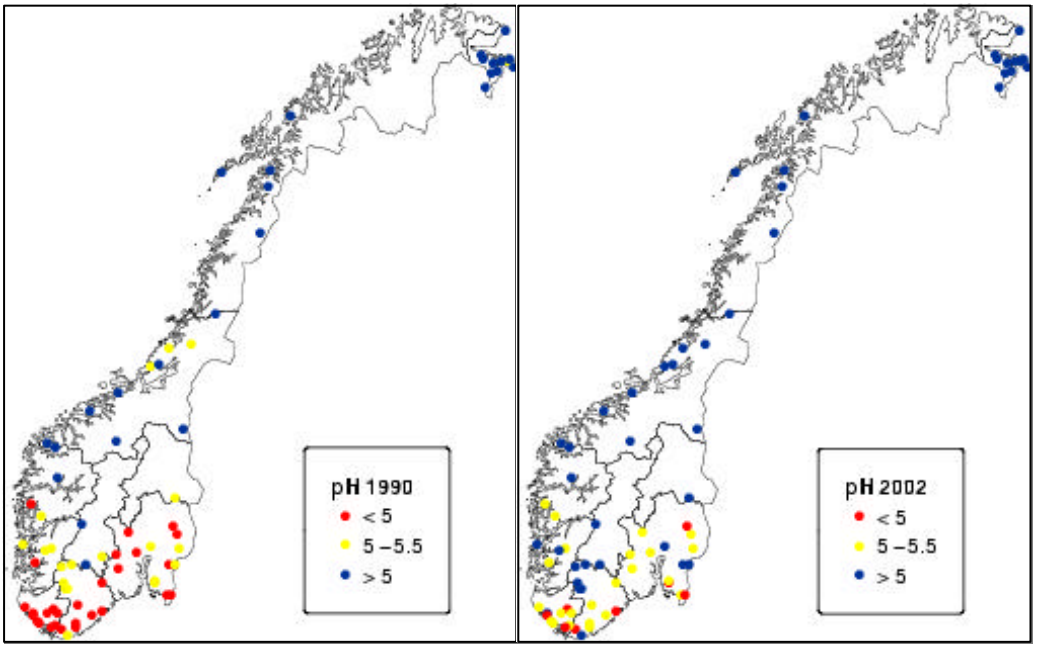
Feltforskningsstasjoner

Figur 11. *Lokaliteter som inngår i det vannkjemiske overvåkingsprogrammet i 2002.*
Figure 11. *Locations in the surface water monitoring programme 2002.*

3.1 Effekter på vannkjemi

Reduserte tilførsler av svovel gjennom luft og nedbør har hatt en markert innvirkning på konsentrasjonene av ikke-marin sulfat i vann og vassdrag (**Tabell 2**). Nedgangen i sulfat varierer fra 26 % for innsjøer i region X (Øst-Finnmark) til 56 % for innsjøer i region II (Østlandet-Sør) for perioden 1986-2002, mens enkeltlokaliteter i Sør-Norge viser reduksjoner på opp mot 70 % for perioden 1980-2002. Det har ikke vært noen systematiske endringer i deposisjon av nitrat og ammonium i Norge siden målingene av disse komponentene startet i 1974. Noen få stasjoner viser imidlertid signifikant nedgang (Birkenes, Brekkebygda og Løken). Det er en tendens til nedgang i avrenningen i nitrat fra 1980-200 i flere av regionene. De høyeste konsentrasjonene av nitrat i avrenningen måles i de områdene av Norge der nitrogen deposisjonen er høyest (region V Sørlandet-Vest).

Den markerte nedgangen i sulfat har hatt en tydelig innvirkning på vannkjemien i alle lokalitetene innen overvåkingsprogrammet. pH (**Figur 12**) ANC og alkalitet viser en klar økning gjennom 90-tallet . Trender for perioden fra 1986 til 2002 for de ulike regionene er framstilt i **Figur 14** - **Figur 15**. Hvert punkt på kurvene representerer gjennomsnitt av et antall innsjøer (**Tabell 2**). Det er de samme lokalitetene som har inngått i programmet hvert år siden 1986.



Figur 12. *pH i overvåkingsinnsjøene i 1990 og 2002. Figuren illustrerer tydelig forbedringen i forsuringssituasjonen.*
Figure 12. *pH in the monitoring lakes in 1990 and 2002. The figures clearley illustrate the imrovement in surface water acidification since 1990.*

Tabell 2. ***E****ndring i ikke-marin sulfat pr.år i µekv L^{-1} for perioden 1980 til 2002 for elver og feltforskningsstasjoner, og for perioden 1986 til 2002 for innsjøene. Tallene er basert på lineær regresjon.*
Table 2. *Changes in non-marine sulphate per year in µeq L^{-1} for the periode 1980 to 2002 for rivers and calibrated catchments and for the periode 1986 to 2002 for lakes. The numbers are based on linear regression.*

Innsjøer

Region		Antall innsjøer	1986 SO4* µekv L^{-1}	2002 SO4* µekv L^{-1}	% endring fra 1986-2002
I.	Østlandet - Nord	1	57	31	45
II.	Østlandet - Sør	15	98	43	56
III.	Fjellregion - Sør-Norge	4	35	15	55
IV.	Sørlandet - Øst	12	64	29	54
V.	Sørlandet - Vest	10	63	30	52
VI.	Vestlandet - Sør	3	34	15	55
VII.	Vestlandet - Nord	4	19	10	46
VIII.	Midt-Norge	10	18	11	39
IX.	Nord-Norge	5	19	11	45
X.	Øst-Finnmark	11	73	54	26

Elver (alle er kalket)

	Region	1980 SO4* µekv L^{-1}	2002 SO4* µekv L^{-1}	% endring fra 1980-2002
Gjerstadelva	IV	113	53	53
Nideleva	IV	83	42	49
Tovdalselva	IV	87	39	56
Mandalselva	IV	64	25	60
Lygna	IV	73	33	55
Årdalselva	VI	32	16	50
Bjerkreimselva	V	51	29	44
Ekso	VII	32	16	50

Feltforskningsstasjoner

Langtjern	II	75	28	63
Storgama	II	80	25	68
Birkenes	IV	139	56	59
Kårvatn	VIII	12	7	47

Gjennomgangen av den kjemiske utviklingen i hver region er basert på resultater fra både innsjøer med lang tidsserie (1986-2002) og kort tidsserie (1995-2002), feltforskningsstasjoner og elver. I beskrivelsene er kjemien fra innsjøer med lang serie valgt for å illustrere utviklingen.

Østlandet – Nord (region I)

Regionen Østlandet-Nord strekker seg fra skogkledde områder i sør til trebare og alpine områder i nord. Forurensningsbelastningen er lav, likevel ser vi en stabil nedgang i sulfat fra år til år, samtidig med en klar bedring i vannkvalitet mhp forsuring. Gjennomsnittsverdien for pH var under 5.5 fram til 1994. Fra 1994 til 2001 har gjennomsnittlig pH vært over 5.5 med unntak av høsten 2000 som var sterkt preget av flom. ANC, som er et mål på vannets syrenøtraliserende effekt, har relativt høye

verdier i denne regionen. Fram til 1992 var gjennomsnitts ANC under 20 µekv L^{-1}. Siden 1998 har verdien vært over 30 µekv L^{-1}, og i 2002 finner vi den høyst registrerte gjennomsnittsverdien så langt (50 µekv L^{-1}). Gjennomsnittsverdien av labilt Al (den formen som er antatt giftig for fisk) var i perioden frem til 1990 opp til 37 µg L^{-1}, men har siden 1991 vært under 10 µg L^{-1}. Hverken nitrat eller TOC viser systematiske endringer i måleperioden.

Østlandet - Sør (region II)

Region Østlandet-Sør er skogdekket og har det høyeste nivået av organisk karbon (TOC) av alle regionene. Flere av sjøene har TOC fra 15 til 20 mg C L^{-1}. I denne regionen finner vi også det høyeste sulfatnivået. Dette skyldes en kombinasjon av høy belastning og relativt lite nedbør og lange oppholdstider i sjøene. Innsjøene i denne regionen har vist en kraftig forbedring i forsuringssituasjonen gjennom overvåkingsperioden. Sulfat er redusert med gjennomsittlig 56% fra 1986 til 2002 i de 15 sjøene som representerer denne regionen. Gjennomsnittsverdien for pH var under 5.0 fram til 1993 og fra 1994 til 2001 har pH vært høyere enn 5.0 med unntak av høsten 2000 (pH 4.87) som var preget av flom. ANC er relativt høy i denne regionen. Fra 1986 til 1991 var ANC ca. 0 µekv L^{-1}, i perioden 1992-1997 15-20 µekv L^{-1}, mens i de tre siste årene har ANC vært over 25 µekv L^{-1}. Målingene i 2002 (40 µekv L^{-1}) er den høyeste så langt i overvåkingen. Innsjøene som representerer denne regionen, hadde ikke alkalitet fram til 1990. Siden da har bikarbonatsystemet sakte bygget seg opp, og alkaliteten var i 1999 på 10 µekv L^{-1}. Høsten 2000 ble det igjen registrert veldig lav alkalitet, mest sannsynlig som en følge av flommen. Gjennomsnittsverdien av labilt Al var i perioden fram til 1994 på > 100 µg L^{-1}, men har siden avtatt markert, og i 2001 finner vi den laveste registreringen av labilt Al så langt i overvåkingen på 49 µg L^{-1}. Det er trendens til nedgang i nitrat, gjennomsnittet for de seks siste årene (< 58 µg N L^{-1}) er lavere enn alle de foregående årene. TOC har vist en jevn økning gjennom hele 90-tallet fra 4.1 mg C L^{-1} i 1991 til 9.7 mg C L^{-1} i 2001 mens 2002 igjen viser en liten nedgang.

Fjellregion - Sør-Norge (region III)

Alle lokalitetene i fjellregionen i Sør-Norge ligger over tregrensa og regionen er dominert av fjellområder med skrinn jord og lite vegetasjon. Dette reflekteres blant annet i lave nivåer av TOC i innsjøene (< 1 mg C L^{-1}). Forurensningsbelastningen er relativ lav og sulfatnivået i innsjøene er i dag på nivå med det en finner i de minst belastede regionene i Norge. Likevel finner vi også her en markert nedgang i sulfat med det laveste registrerte gjennomsnittsnivået i 2002 for de tre sjøene som representerer denne regionen. Innsjøene i denne regionen har generelt lavt innhold av basekationer (Ca < 0.5 mg L^{-1}). ANC har vist en jevn økning i hele perioden fra < 10 µekv L^{-1} fram til 1995 og > 20 µekv L^{-1} siden 2000. ANC vil sannsynligvis aldri bli særlig høy i dette området pga. det generelt ionefattige vannet. Labilt Al viser en kraftig nedgang; fra et gjennomsnittsnivå på > 35 µg L^{-1} i perioden 1986 - 1990 til konsentrasjoner < 15 µg L^{-1} etter 1997. Nitrat viser ingen klar trend, men tendens til nedgang. Siden 1996 har konsentrasjonene av nitrat avtatt hvert år og gjennomsnittlige nitratkonsentrasjoner for 2002 er de laveste som er registrert så langt.

Sørlandet – Øst (region IV)

Regionen Sørlandet-Øst strekker seg fra kysten, gjennom skogbeltet til heiområdene. Forurensningsbelastningen er høy og sulfat-nivået i innsjøene i denne regionen er høyt. Det er bare region II som har høyere sulfatnivå. Nedgangen i sulfat i innsjøene i denne regionen har vært 54% fra

1986-2002 for de 12 innsjøene som representerer denne regionen, og konenstrasjonen i 2002 er det laveste som er registrert. Regionen må karakteriseres som sterkt forsuret, men det er klare tegn til bedring. Gjennomsnittlig pH har vært < 5 fram til 1996 og > 5 fra 1997, med unntak av høsten 2000 (pH 4.97) som var preget av flom. ANC har vært sterkt negativ med konsentrasjoner < -20 µekv L^{-1} fram til 1994. Siden 1998 har gjennomsnittsnivået vært > 0 µekv L^{-1}. Tilsvarende gjelder for alkaliteten som fram til 1993 var 0 µekv L^{-1}. Fra 1994 til 2002 har alkaliteten økt gradvis til 4 µekv L^{-1}, med unntak av høsten 2000. Labilt Al har avtatt dramatisk fra nivåer > 100 µg L^{-1} fra 1986-1995 ned til 42 µg L^{-1} i 2001. Det er en svakt avtagende trend i nitrat, konsentrasjonene fra 1998 til 2002 er lavere enn for perioden 1986-1997. TOC viser en klar tendens til økning fra et gjennomsnittlig konsentrasjonsnivå < 2.7 mg C L^{-1} fra 1986-1995 til > 3 mg C L^{-1} siden 1996. 2001 viser den høyeste gjennomsnittskonsentrasjonen så langt for denne regionen (3.9 mg C L^{-1}), men i 2002 er gjennomsnittskonsentrasjonen igjen 3.1 mg C L^{-1}.

Sørlandet – Vest (region V)

Regionen Sørlandet-Vest er dominert av heiområder med lite jordsmonn og lite vegetasjon. Denne regionen har den høyeste forurensningsbelastningen. Det er også i denne regionen vi finner de mest forsurede innsjøene. De 10 innsjøene som representerer denne regionen, har i 2002 de laveste gjennomsnittlige verdiene for pH (5.04) og alkalitet (1µekv L^{-1}) og de høyeste gjennomsnittsverdiene av labilt Al (73 µg L^{-1}) av alle de ti regionene. Denne regionen har også den høyeste gjennomsnittlige nitrat-konsentrasjonen (254 µg N L^{-1}) som en konsekvens av høy N-deposisjon. Regionen må karakteriseres som betydelig forsuret, men situasjonen er også her i ferd med å bedres. På samme måte som i de andre regionene ser vi en kraftig nedgang i sulfat (52%) fra 1986 til 2002, en økning i pH og ANC og nedgang i labilt Al. Nitrat viser ingen tydelig trend, men også i denne regionen finner vi de laveste nitrat-nivåene i de siste årene fra 1997 til 2002. TOC viser en økende trend fra 1993 - 2001, men nedgang i 2002.

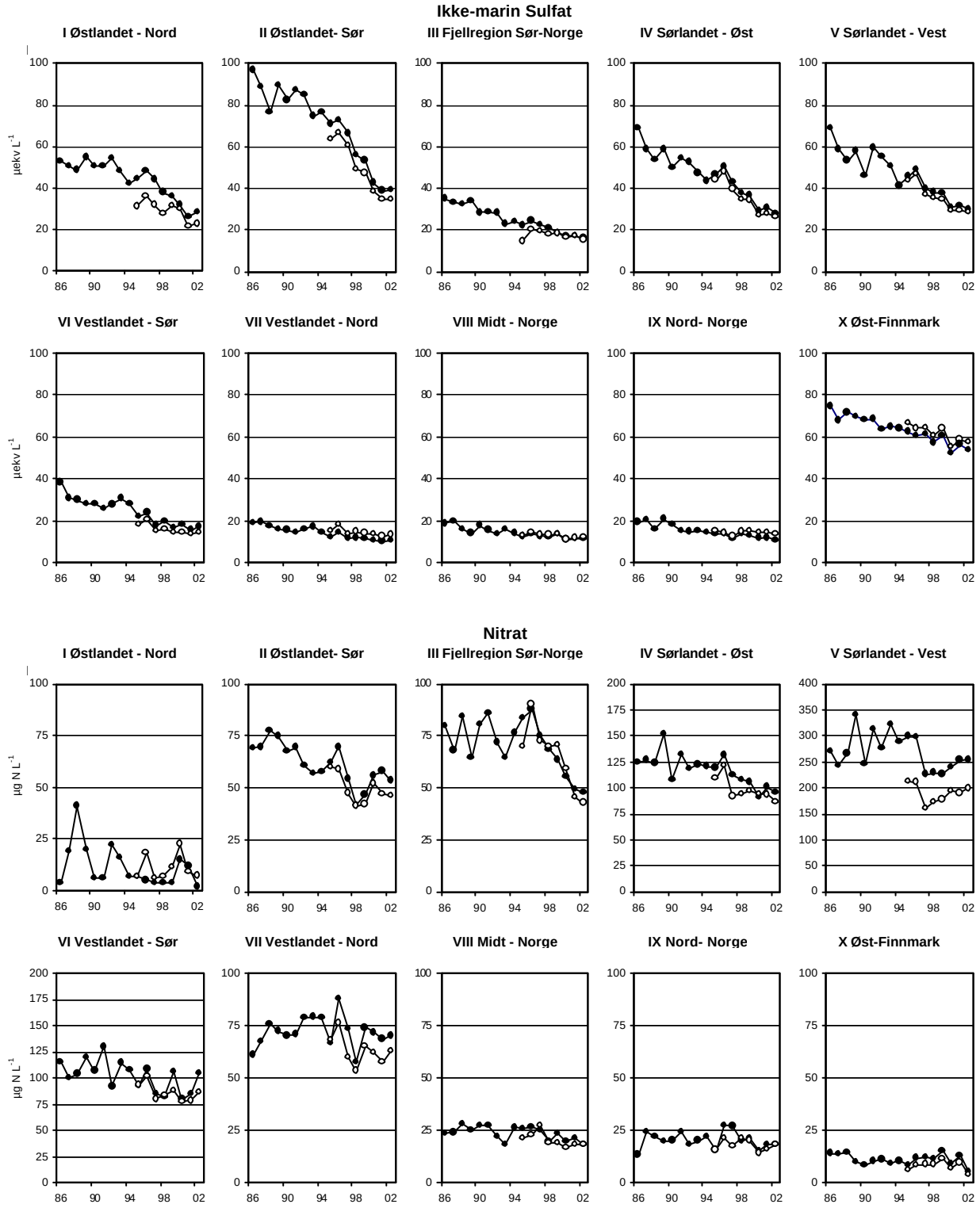
Vestlandet – Sør (region VI)

Regionen Vestlandet-Sør er preget av lite skog og mye åpne heiområder med til dels lite vegetasjon og skrint jordsmonn. Forurensningsbelastningen er moderat. Nedbørmengdene er store (1500-3000 mm) og dette medfører fortynning av overflatevannet slik at ionestyrken er lav, med lave konsentrasjoner av basekationer (gjennomsnittlig Ca 0.4 mg L^{-1}) og TOC (1 mg C L^{-1}). Sulfat-nivået i innsjøene i regionen er lavt og innsjøene er moderat forsuret. Nedgangen i sulfat i de tre innsjøene, som representerer denne regionen, er 55 % fra 1986 til 2002. Det har bare vært små endringer i sulfatkonsentrasjonen siden 1997. Den laveste gjennomsnittskonenstrasjonen så langt ble registrert i 2002 (16 µekv L^{-1}). Denne regionen viste for første gang i 1996 en gjennomsnittlig positiv ANC, men har variert en del fra år til år. I 2002 var gjennomsnittlig ANC 17 µekv L^{-1}. Siden 1996 har pH vært > 5.33, og i 2002 var gjennomsnittlig pH 5.55, som er den høyeste verdien registrert så langt. Sammenfallende med dette viser labilt Al en nedadgående trend. Gjennomsnittsverdien de siste tre årene har vært 11-12 µg L^{-1}. Nitratnivået er relativt høyt (gjennomsnittlig 105 µg N L^{-1} i 2002 på samme nivå som i 1986) av samme grunn som i regionen Vestlandet-Sør (høy N-deposisjon og lite kapasitet for retensjon). Det er ingen signifikante trender i nitrat, men nitrat-konsentrasjonene siden 1997 er lavere enn perioden 1986 til 1996. TOC viser ingen endringer i denne regionen.

Vestlandet – Nord (region VII)
Region Vestlandet-Nord har mange likhetstrekk med Vestlandet-Sør, men forurensnings-belastningen er lavere og nedbørmengdene større. Dette medfører at ionestyrken i innsjøene i denne regionen er den laveste av alle regionene (gjennomsnittlig Ca 0.3 mg L^{-1}). Nedgangen i sulfat har vært markert i overvåkingsperioden (43%, fra ca 20 µekv L^{-1} til ca 10µekv L^{-1}), og dette har resultert i markerte endringer i forsuringsparametre. I regionen Vestlandet Nord har ANC økt fra ca -10 til 7 µekv L^{-1}, mens pH har økt fra 5.1 til 5.4 og labilt Al avtatt fra ca 30 til 15 µg L^{-1} i løpet av de siste 10 årene. Den største økningen i ANC har skjedd fra 2001 til 2002.

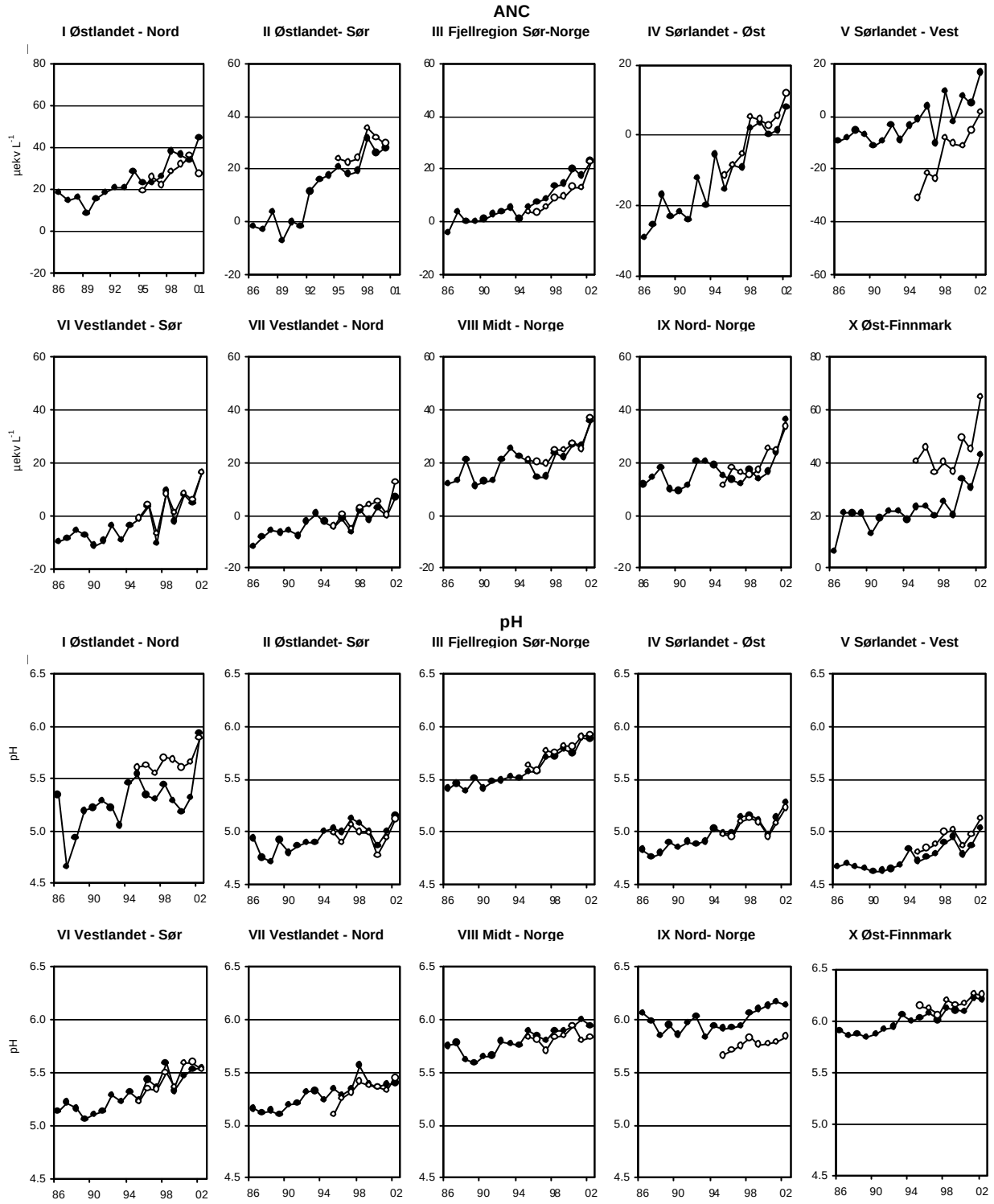
Midt-Norge (region VIII) og Nord-Norge (region IX)
Disse to regionene spenner over store områder med svært variert natur fra vegetasjonsfattig kystlandskap til høyfjell og skogkledte innlandsområder. Forurensningsbelastningen er lav i hele området. Sulfat-nivået i innsjøene i disse regionene er nå 10-12 µekv L^{-1} og er laveste av alle regionene. Dette begynner å nærme seg antatt naturlig bakgrunnsnivå for ikke-marin sulfat. De 14 innsjøene, som representerer disse regionene, må likevel karakteriseres som svakt sure. ANC er lav (15-30 µekv L^{-1}), og pH er ca 6. Selv i disse regionene med svært lav forurensningsbelastning, ser vi en nedgang i sulfat og økning i alkalitet, ANC og pH og nedgang i labilt Al. Begge regionene viser en kraftig økning i ANC og alkalitet fra 2001 til 2002.

Øst-Finnmark (region X)
Region Øst-Finnmark dekker områdene inn mot Kola-halvøya og er påvirket av smelteverksindustrien som gir utslipp av svovel, kobber og nikkel. Forurensningsbelastningen av svovel er relativt stor, mens N-deposisjonen er lav. Forurensningsbelastningen i dette området er mye mere variabel fra år til år enn i Sør-Norge, noe som reflekteres i de vannkjemiske trendene gjennom overvåkingen fra 1986 til 2002. Undersøkelser i 1986 viste at for innsjøene i Øst-Finnmark var konsentrasjonene av sulfat i innsjøene mer enn fordoblet siden 1966 og var på samme nivå som de mest utsatte innsjøene på Sørlandet. Selv større innsjøer hadde lite igjen av sin opprinnelige motstandskraft mot forsuring. Undersøkelser i 1987-1989 viste at store områder i Sør-Varanger ville få omfattende skader og tap av fiskebestander hvis belastningen med sur nedbør fra smelteverkene på Kola-halvøya økte ytterligere. Innsjøovervåkingen frem til 1991 tydet på at forsuringsutviklingen hadde stoppet opp og stabilisert seg på 1986-nivået. I 1992 var pH-verdiene gjennomgående høyere enn tidligere. Siden 1993 har gjennomsnittlig pH for disse sjøene vært > 6. De høyeste gjennomsnittsverdiene så langt er registrert i 2001 og 2002 (pH 6.22 og 6.20) og viser at pH fremdeles har en økende trend. Samtidig ser vi en økende trend i alkalitet og ANC. Sulfat har viste en jevn nedgang på 26 % fra 1986 til 2002. I 2000 var gjennomsnittsverdien den laveste som er registrert så langt (53 µekv L^{-1}), mens konsentrasjonene har vært på omtrent samme nivå i 2001 og 2002 (hhv 56 µekv L^{-1} og 54 µekv L^{-1}).



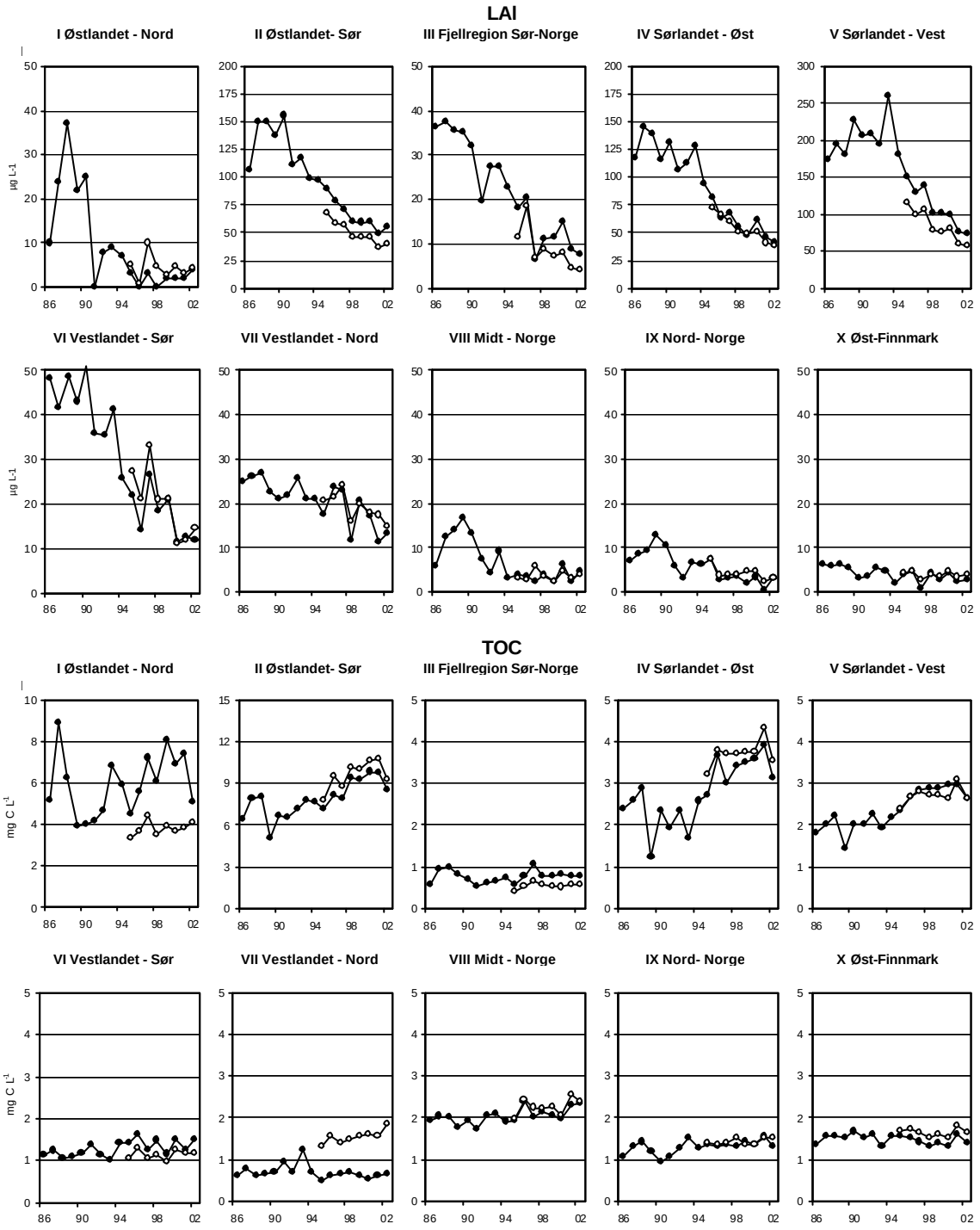
Figur 13*. Trender fra 1986-2002 for ikke-marin sulfat og nitrat i innsjøer for de 10 regionene. NB! Forskjellige y-akser på figurene.Åpne sirkler er "lang serie (1986-2002)", mens fylte sirkler er "kort serie"(1995-2002).*

Figure 13. *Trends for 1986-2002 in non-marin sulphate and nitrate in lakes in the 10 regions.* Note! *Diffrent scale on the y-axis. Open dots are lakes with data from 1986, while black dots have data from 1995.*



Figur 14. *Trender fra 1986-2002 ANC (syrenøytraliserende kapasitet) og pH i innsjøer for de 10 regionene. NB! Forskjellige y-akser på ANC-figuren. Åpne sirkler er "lang serie (1986-2002)", mens fylte sirkler er "kort serie"(1995-2002).*

Figure 14. *Trends for 1986-2002 in ANC (acid neutralizing capacity) and pH in lakes in the 10 regions. Note! Diffrent scale on the y-axis for the ANC-figure. Open dots are lakes with data from 1986, while black dots have data from 1995.*



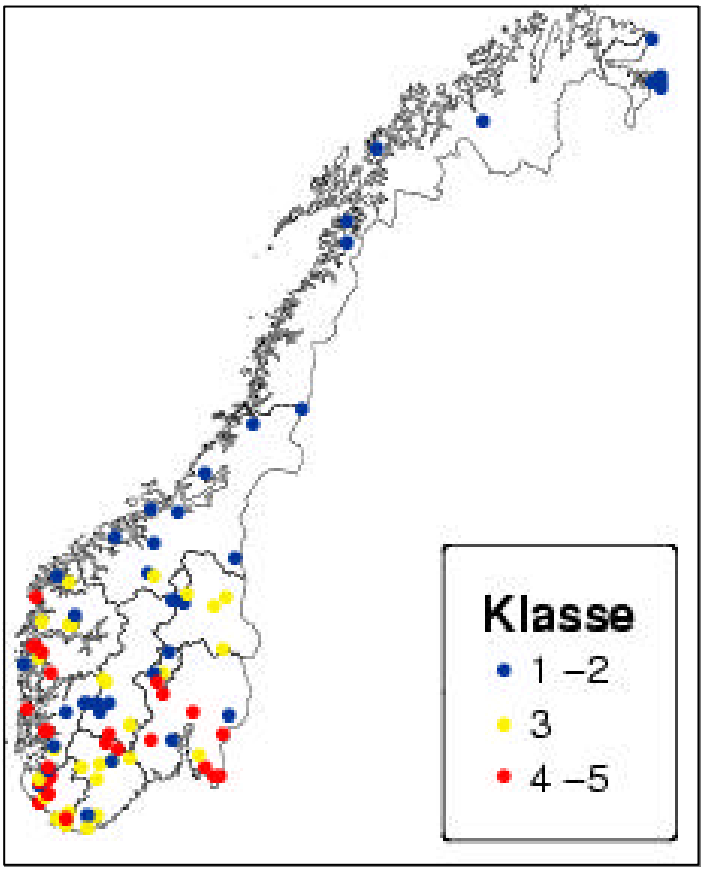
Figur 15. *Trender i LAl (labilt (uorganisk bundet) aluminium) og TOC (total organisk karbon) for perioden 1986-2002 for innsjøer i de 10 regionene. NB! Forskjellige y-akser på LAl-figuren. Åpne sirkler er "lang serie (1986-202)", mens fylte sirkler er "kort serie"(1995-2002)*

Figure 15. *Trends for 1986-2002 in labile Al and TOC in lakes in the 10 regions. Note! Diffrent scale on the y-axis for the LAl-figure. Open dots are lakes with data from 1986, while black dots have data from 1995.*

3.2 Effekter på akvatisk fauna

Under effekter på akvatisk fauna inngår undersøkelser av bunndyr, småkreps og fisk.

Innsjøundersøkelsene av bunndyr og småkreps indikerer at forsuringssituasjonen er alvorlig i sørlige deler av Østlandet, på Sørlandet og Vestlandet (moderat - meget sterkt forsuringsskadet) (**Figur 16**). I nordlige deler av Østlandet og Fjellområdene i Sør-Norge er de fleste lokalitene ubetydelig til moderat skadet, men det finnes også lokaliteter som er markert skadet i disse regionene. I Midt-Norge og Nord-Norge inkludert Øst-Finnmark, er invertebratsamfunnene i de flest tilfellene ubetydelig skadet, men det finnes også en del innsjøer som vurderes til moderat forsuringsskadet.



Figur 16. *Kart med angivelse av forsuringsskader basert på bunndyr og planktoniske og litorale krepsdyr (innsjøer) fra siste undersøkelsesår i perioden 1998-2002. Klasse 1-2: ingen/lite til moderat forsuringsskadet, klasse 3: markert forsuringsskadet, klasse 4-5: sterkt til meget sterkt forsuringsskadet.*
Figure 16. *Classification of acidification damanges based on macroinvertebrates as well as pelagic and littoral microcrustaceans (lakes) from the last year of study during the period 1998-2002. Class 1-2: non/slightly – moderately damaged, 3: markedly damaged; 4-5: severely – very severely damanged.*

3.2.1 Effekter på bunndyr

Regionale bunndyrundersøkelser i elver

De regionale bunndyrundersøkelsene i elver omfatter overvåking av seks vassdrag. Fra og med 2002 blir tre av vassdragene prøvetatt annet hvert år. I 2002 ble det samlet inn prøver fra fire vassdrag. Resultatene bekrefter en tendens mot mindre skader på bunndyrfaunaen i flere av vassdragene. Totalt sett var situasjonen i 2002 en av de beste som er registrert etter at de regionale overvåkingsprogrammet startet i første halvdel av 1980-tallet. De ulike vassdrag viser imidlertid forskjeller med hensyn til skadeomfang. Generelt har vassdragene lengst sør i landet størst skader.

Sørlandet - Vest (region V)

Lokalitetene ved Farsund var sterkt forsuringsskadd i perioden 1981 – 1993. I de senere år har skadene på bunndyrfaunaen avtatt, men området må fortsatt karakteriseres skadet. Undersøkelsene ved Farsund i 2002 viste en ytterligere forbedret situasjon med hensyn til skadeomfang og diversitet av forsuringssensitive bunndyrarter (**Figur 17**). Den meget følsomme døgnfluen *Baetis rhodani*, som i en lang periode ikke ble registrert i området ble høsten 2002 registrert i alle lokalitetene i innløpsbekken til Gjærvollstadvatnet. Den ble også for første gang registrert om våren. Flere moderat sensitive arter har etablert stabile populasjoner, og alle prøvene som ble tatt i 2002 inneholdt sterkt sensitive eller moderat sensitive arter. Regresjonsanalyser viser at det har vært en signifikant bedring ($p<0,001$) av forsuringsindeksen i Farsundområdet fra 1990.

I Ognavassdraget ble det opprettet et nytt stasjonsnett for overvåking i 1991, da en del av det opprinnelige stasjonsnettet ble kalket. Undersøkelsene i 2002 viste at situasjonen om våren var den beste som noen gang er registrert (**Figur 17**). Forsuringsindeksen om høsten var noe lavere enn året før. Vassdraget som helhet kan karakteriseres moderat forsuringsskadet. De ukalkete delene av Ogna er svært heterogene med hensyn til forsuring. Deler av vassdraget, spesielt den østlige delen av nedslagsfeltet, har en stabilt god vannkvalitet. Mange av tilløpene fra vest er sure.

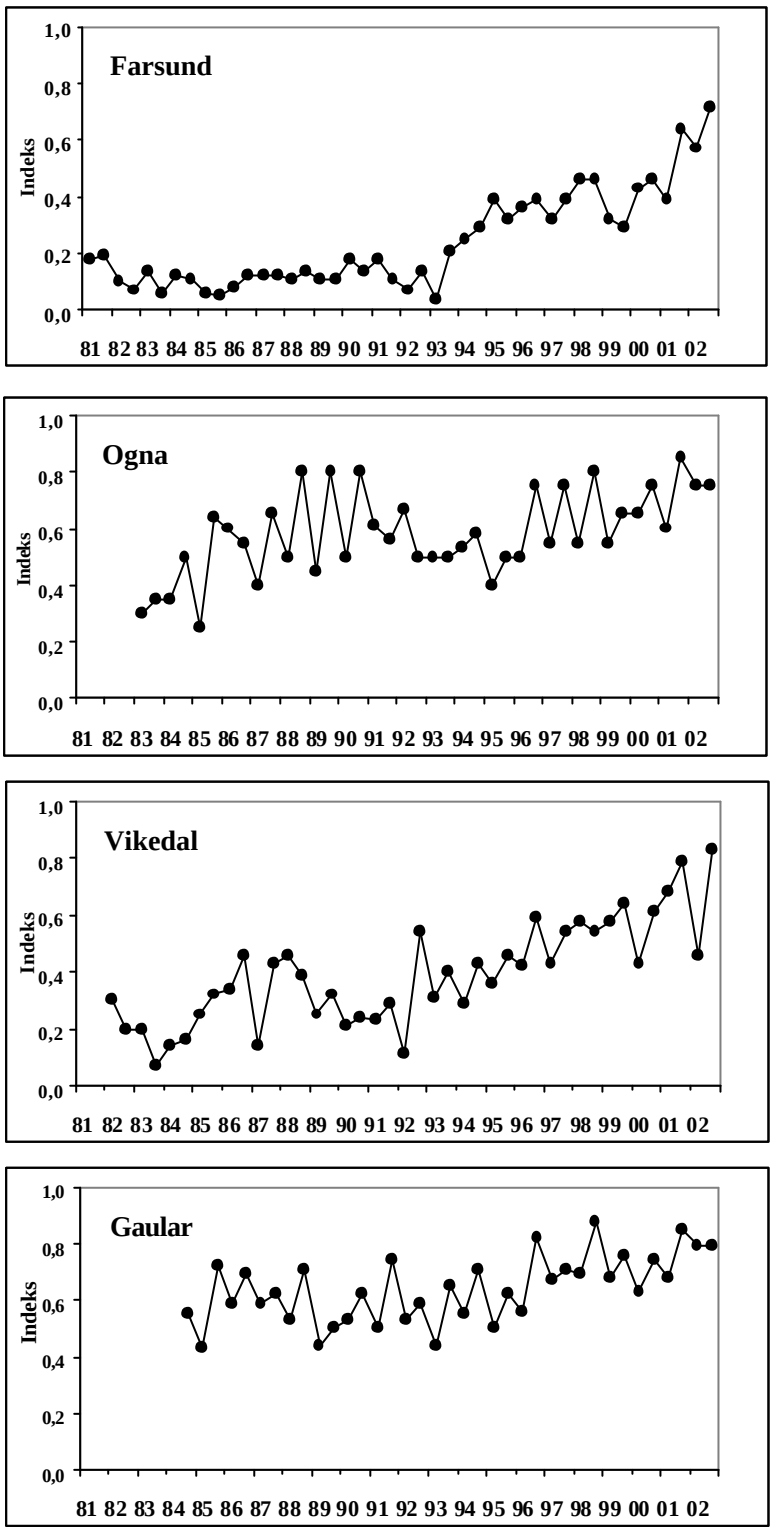
Vestlandet - Sør (region VI)

Bunndyrundersøkelsene i de ukalkede delene av Vikedalsvassdraget viste betydelige skader på bunndyrfaunaen om våren. Forsuringsindeksen om høsten var den beste som er registrert i vassdraget. Dette forsterker en positiv utvikling som er observert i de siste 10 år (**Figur 17**). I Vikedal finnes refuger med god vannkvalitet og med en rik bunndyrfauna. Disse lokalitetene inneholder forsuringssensitive bunndyr og har stor betydning som kilder for rekolonisering etter sure episoder. Regresjonsanalyser viser at det har vært en signifikant bedring ($p<0,001$) av forsuringsindeksen i Vikedalvassdraget fra 1990.

Vestlandet - Nord (region VII)

Gaularvassdraget har fortsatt forsuringsskader i deler av nedbørfeltet. I 2002 var skadene på bunndyrsamfunnene om våren de minste som er (**Figur 17**). Av delfeltene var Eldalen fortsatt sterkest skadet, men også noen sideelver i Haukedalen og i vassdragets nedre deler bærer periodevis preg av skade. Hovedelva nedstrøms Viksdalsvatnet hadde et rikt bunndyrsamfunn, med gode innslag av forsuringssensitive arter. Dette viser at vannkvaliteten i de lakseførende deler av vassdraget er god.

Naustavassdraget og Vossovassdraget ble ikke prøvetatt i 2002.



Figur 17. *Forsuringsindekser for overvåkingsvassdragene. For nærmere forklaring henvises til hovedrapporten.*
Figure 17. *Acidification score for invertebrates in the monitored rivers. The index is explained in the main report.*

Regionale bunndyrundersøkelser i innsjøer

Østlandet – Nord (region I)

I region I ble Atnsjøen, Måsabutjørna, Fjellvatn og Stortjørna undersøkt. I Atnsjøen ble det registrert 11 følsomme bunndyrarter. Nær halvparten av de påviste døgnfluene og steinfluene er sensitive for surt vatn. Resultatet i Atnsjøen er uendret sammenlignet med tidligere år og vi tror ikke at arter er fraværende grunnet forsuring. I Stortjørna var det en økning av følsom fauna sammenlignet med forrige undersøkelse, mens faunaen i de to andre innsjøene viste en negativ utvikling. Variasjonene i antall sensitive taksa mellom år kan skyldes tilfeldigheter og naturlige svingninger. Den mest markerte nedgangen var i Måsabutjørna hvor det bare ble registrert følsomme krepsdyr og ingen sensitive bunndyr. Fjellvatn innehold ingen følsomme former. Dette indikerer således betydelig skade. Totalt sett indikerer resultatene uendrede forhold, men med en mulig negativ tendens sammenlignet med foregående år.

Østlandet – Sør (region II)

I region II ble det undersøkt 11 innsjøer. Ø. Jerpetjern, Langvatn og Bredtjern blir undersøkt årlig, mens de øvrige lokalitetene undersøkes hvert fjerde år. Resultatene fra de førstnevnte tre innsjøene viser ingen nevneverdige endring i status sammenlignet med foregående år. Bunndyrfaunaen ble vurdert som tydelig forsuringsskadet i Ø. Jerpetjern og Langvatn, mens tilstanden i Bredtjern ble satt til sterkt skadet. I de øvrige innsjøene hadde fire en negativ utvikling i faunaen sammenlignet med forrige undersøkelse. Resten av innsjøene hadde et uendret skadeomfang. Ingen lokaliteter hadde således en positiv utvikling. Samlet sett indikerer undersøkelsene i de fleste lokalitetene en uendret situasjonen, men i noen av lokalitetene har det vært en negativ utvikling.

Fjellregion - Sør-Norge (region III)

I region III ble det samlet inn prøver fra Ronvatn og Heddersvatn. I Heddersvatn ble det funnet 2 moderat følsomme taksa, dvs. et mindre enn året før. I Ronvatn forekom det 8 sensitive taksa av bunndyr, det samme som i 2001. De følsomme taksaene besto både av meget sensitive døgnfluer og mange følsomme steinfluearter. Litoralsonen i Ronvatn har færrest følsomme taksa, mens innløpsbekken til innsjøen har flest følsomme taksa. Registreringene viser at svært ionefattig vann kan inneholde en rekke følsomme insektarter dersom vannet ikke er påvirket av forsuring. Sammenlignet med tidligere undersøkelser er det vanskelig å peke på noen endring i forsuringsstatusen.

Sørlandet - Øst (region IV)

I region IV ble Bjorvatn, Lille Hovvatn og Sognevatn undersøkt. I førstnevnte lokalitet er det tidligere bare påvist taksa som er tolerante for surt vatn. I 2002 ble det imidlertid registrert småmuslinger. Dette indikerer derfor en forbedring sammenlignet med årene før, men lokaliteten er fortsatt markert forsuringsskadet. Faunaen i Lille Hovvatn har vist en tilsvarende utvikling frem til 2002. I Sognevatn ble det funnet 6 følsomme taksa om høsten med *B. rhodani,* og *Hydropsyche sp* som de viktigste. Registreringene ble gjort i utløpet og indikerer lav forsuring i perioden. I litoralsonene ble dessuten døgnfluen *Caenis horaria* funnet, noe som indikerer en forbedring sammenlignet med året før. Samlet sett indikerer dette at faunaen i regionen utvikler seg i positiv retning, men fortsatt er det betydelig forsuringsskade i de mest forsurede områdene.

Sørlandet - Vest (region V)
I region V ble tre innsjøer undersøkt i 2002. I Saudlandsvatn ble det påvist 6 moderat følsomme taksa. Dette er en økning i antall sensitive taksa, men dette endrer ikke forsuringsstatus sammenlignet med tidligere undersøkelser. I Ljosvatn ble det funnet ett individ av døgnfluen *Siplonurus sp*. Dette kan være det første tegn til en bedring av vannkvaliteten i lokaliteten som i tidligere år har vært sterkt forsuret. I Lomstjørni ble det funnet 7 følsomme taksa bestående av meget følsomme og moderat følsomme arter. Sammenlignet med foregående år var det kommet til nye arter, men forsuringsstatusen er uendret. Resultatene fra de undersøkte innsjøene indikerer økning i biologisk mangfold. Forsuringen er fortsatt meget stor i lokaliteter med lav bufferevne, men faunaen tyder på bedring av forholdene.

Vestlandet - Sør (region VI)
I region VI ble bare Røyravatn undersøkt i 2002. Tidligere har det vært registrert moderat følsomme arter i denne lokaliteten, men ingen slike ble påvist i siste års undersøkelser. Utviklingen i innsjøen har således vært negativ i motsetning til utviklingen i andre deler av vassdraget (se Vikedalsvassdraget). Dette er overraskende siden Røyravatn ligger i et område hvor vi forventer å finne forbedringer.

Vestlandet - Nord (region VII)
I region VII ble innsjøene Markusdalsvatn, Nystølvatn og Svartjern undersøkt. Disse lokalitetene er undersøkt årlig siden 1996. Bunnfaunaen i Markusdalsvatn har indikert en sterkt forsuringsskadet bunnfauna frem til år 1999 hvor en følsom steinflue ble registrert om høsten. Disse forsvant igjen i 2000, men ble registrert på nytt i 2001. De var også tilstede i 2002 og indikerer starten på en positiv utvikling av faunaen i Markusdalsvatn. I Svarttjern ble det bare registrert sterkt forsuringstolerante taksa - en situasjon som har vært uendret i hele overvåkingsperioden. Nystølvatn har hatt en stabil tilstand siden overvåkingen av Gaularvassdraget startet. Det var derfor en uventet endring som skjedde i 2000 da tilstanden sank fra markert til sterkt forsuringsskade - en tilstand som også fortsatte i 2001. Undersøkelsene i 2002 ga imidlertid 4 moderat følsomme taksa, dvs. en markert forbedring sammenlignet med de to siste årene. Innsjøen ligger i et område som gir ionefattig vannkvalitet og er følgelig svært følsom for forsuring. Imidlertid viser registreringene at ionefattig vann kan inneholde følsomme arter ved fravær av sure episoder. Resultatene fra regionen viser at det fortsatt er markert forsuringsskade, men at det er en positive trend i faunasammensetningen.

Midt-Norge (region VIII)
I region VIII ble bare Svartdalsvatn undersøkt i 2002. Innsjøen er artsfattig, men inneholdt 6 følsomme taksa. Dette er som forventet i en ionefattig fjellsjø og indikerer liten eller ingen skade. Alle innsjøene for regionen ble undersøkt i 2001 og viste da at de flest var lite skadet av forsuring.

Nord-Norge (region IX)
I region IX er Kapervatn undersøkt siden 2000. Prøvene fra 2002 inneholdt svært få organismer som kan brukes i tolkningen av forsuring. Det ble funnet ett individ som har en usikker status som moderat sensitive. Prøvene gir egentlig for dårlig grunnlag til tolkning. Lite nedbør og tørke kan ha ført til at prøvene ikke har blitt gode nok. Vi vil derfor ikke vurdere tilstanden i Kapervatn for 2002. Tidligere har innsjøen blitt vurdert som moderat/markert skadet i 2000, mens den i 2001 ble betegnet som lite eller ikke skadet. Observasjonene fra Kapervatn kan tyde på at

innsamlingsstasjonene kan være influert av så store vannstandsendringer at det påvirker resultatet. Tre av de andre innsjøen i regionen er tidligere betegnet som lite skadet, mens en ble vurdert til moderat/markert skadet.

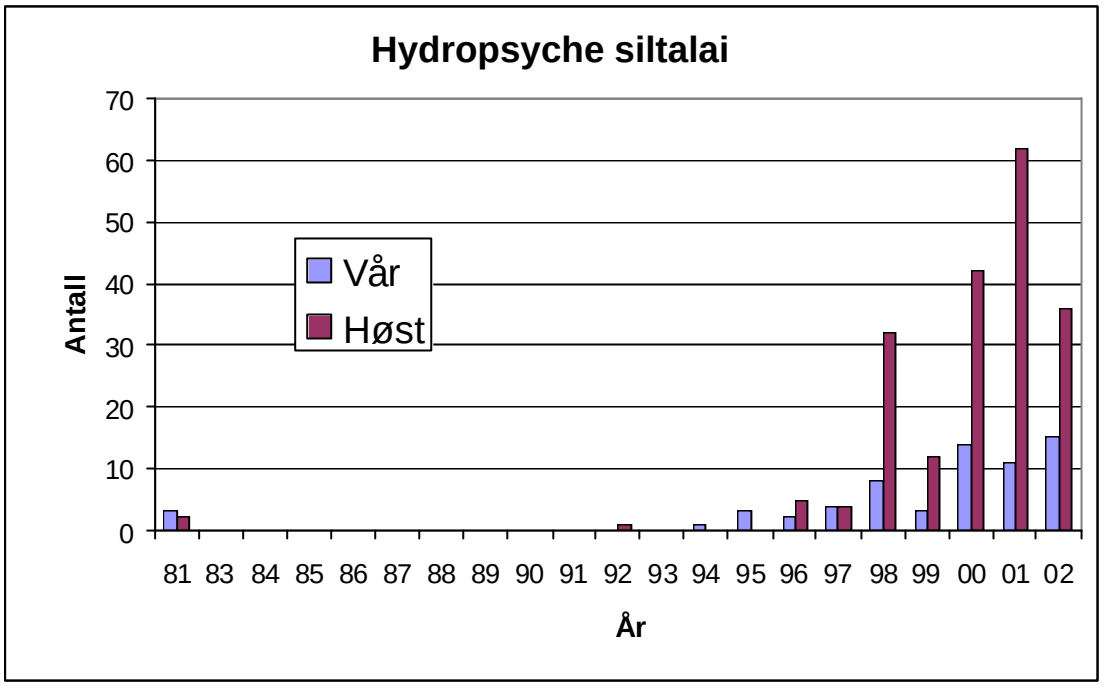
Øst-Finnmark (region X)

I region X ble Dalvatn undersøkt. Antall følsomme arter har vært lite endret gjennom de siste årene. I 2002 fikk lokaliteten en Indeks 2 verdi på > 1, dvs. liten eller ingen skade. Denne situasjonen har vært mer eller mindre stabil de siste årene. De øvrige innsjøene i regionen er undersøkt tidligere og de fleste oppnådde da tilstandsklassen lite forsuringsskadet. En innsjø, Oksvatn, fikk imidlertid betegnelsen moderat skadet. Foreløpig har vi lite materiale fra Øst-Finnmark og vurderingen av tilstanden er derfor beheftet med noe usikkerhet, men den forholdsvis stabile tilstanden i Dalvatn tilsier at tilstanden i regionen er lite forsuringsskadet.

Trender

En del av innsjøene som inngår i innsjøovervåkingen har vært undersøkt tidligere. I region IV ble Risvatn undersøkt under SNSF-prosjektet i perioden 1977 til 1980 og skulle da representere en lite forsuret lokalitet. Faunasammensetningen den gang ville trolig gitt tilstandsklassen moderat forsuret. I 1999 hadde innsjøen 5 følsomme taksa hvor døgnfluene indikerte liten forsuringsskade, en forbedring på en tilstandsklasse. I den samme regionen ligger Lille Hovvatn som har vært undersøkt over 12 år (referanse til det kalkede Store Hovvatn). Innsjøen var meget sterkt forsuret i perioden 1977 til 1980. I de siste årene har det vært sporadisk registrering av småmuslinger og døgnfluen *Siphlonurus* sp. Sistnevnte taksa har blitt tallrik i S. Hovvatn etter kalking. At arten forsøker å etablere seg i L. Hovvatn tyder på en bedring gjennom de siste 20 årene, men situasjonen i år 2001 og 2002 indikerte en tilbakegang. Det er derfor ingen stabil bedring i lokaliteten.

Saudlandsvatn som ligger i region V har vært overvåket siden 1981. Utviklingen av følsomme taksa for Saudlandsvatn og nærliggende området har økt fra lite følsomme småmuslinger (tidlig på åttitallet) til forekomst av flere moderat følsomme insekter på slutten av nittitallet. Vårfluen *H. siltalai* er et eksempel på en slik art og viser at rekoloniseringen kom i siste halvdel av nittitallet (**Figur 18**). Faunaen i Saudlandsvatn har derfor endret seg fra sterkt til markert forsuringsskadet. Forbedringen er sammenfallende med den generelle vannkjemiske bedringen i området.



Figur 18. *Forekomst av H. siltalai i Saudlandsvatn (Farsund) i perioden 1981-2002.*
Figure 18. *Incidence of H. siltalai in Saudlandsvatn (Farsund) in the periode 1981-2002.*

I region VI har utløpselva fra Røyravatn og Flotavatn inngått i overvåkingen siden 1982. Røyravatn har indikert markert til sterk forsuring i mesteparten av perioden uten noen klar trend. Situasjonen i 2001 og 2002 indikerte en negativ tendens. De andre innsjøene i regionen indikerer derimot uendret eller en klar bedring av forholdene. Mest markert blant disse var Flotvatn som har hatt sporadisk forekomst av moderat følsomme taksa i starten på overvåkingen. Disse var helt borte fra lokaliteten i perioden 1989 til 1996. Deretter har de vært tilstede i alle år unntatt 1998. I 2001 ble også *B. rhodani* registrert for første gang i utløpselva, noe som understreker bedringen.

I region VII har vi overvåket utløpselva fra Ø. Botnatjønn og Markusdalsvatn siden 1991 og innløp og utløpselv fra Nystølvatn siden 1984. De to førstnevnte lokalitetene har vært meget sterkt forsuringsskadet i mesteparten av perioden, men i 1999 ble det funnet moderat forsuringsfølsomme taksa. Disse var imidlertid borte fra prøvene i 2000, men funnet på ny i 2001 og 2002. Dette indikerer ustabil vannkjemi, men at det er en positiv tendens i utviklingen. Nystølvatn som viste en negativ utvikling i 2000 og 2001 fikk en tydelig positiv endring i 2002.

For de andre regionene er det bare Ø. Neådalsvatn i region VIII som har en lang prøveserie. Innsjøen ble undersøkt under SNSF-prosjektet hvor den representerte en uforsuret lokalitet med dårlig bufferkapasitet. Forekomstene av følsomme taksa har variert i mengde, men de har hele tiden gitt tilstandsklassen lite forsuret. Situasjonen i 2001 var imidlertid en av de beste som er registrert med hensyn på antall følsomme taksa.

3.2.2 Effekter på krepsdyr

Totalt ble det i 2002 registrert 71 arter av planktoniske og litorale krepsdyr, hvorav 44 arter vannlopper (Cladocera) og 27 arter hoppekreps (Copepoda). De fleste av disse har en vid geografisk utbredelse og er tolerante mht. de fleste miljøforhold, inklusive forsuring. Eksempler på forsuringsfølsomme arter er *D. longiremis, D. longispina, Eucyclops macrurus* og *E. speratus*. Arter innen slekten *Daphnia* spp. har en sentral funksjon som surhetsindikatorer, både for dagens innsjøer og i historisk sammenheng. Allerede ved pH 6,0 begynner artene å opptre med avtagende frekvens og de mangler med få unntak i lokaliteter med pH lavere enn 5,4.

Artsantallet for den enkelte lokalitet varierte mellom 6 og 42. Antall arter i en lokalitet er avhengig av vannkvaliteten, geografisk beliggenhet, klimaforhold og biologiske forhold for øvrig. Ser man alle lokalitetene under ett er det ingen god samvariasjon mellom pH, eller andre forsuringsrelaterte vannkjemiske parametre, og total artsrikdom. Lavest artsrikdom finnes imidlertid i sure lokaliteter og da spesielt i kombinasjon med ugunstige klimatiske forhold (kort vekstsesong og lave sommertemperaturer), og hvor innholdet av TOC er lavt. I de mest forsuringsskadete lokalitetene vil det være få forsuringssensitive arter. To av de mest vanlig forekommende krepsdyrartene, den cyclopoide hoppekrepsen *Cyclops scutifer* og den calanoide hoppekrepsen *Eudiaptomus gracilis*, har forskjellig toleranse for forsuring, der førstnevnte art er mest følsom. Mest tolerant er imidlertid små vannlopper, som *Bosmina longsipina* og *Chydorus sphaericus*. Forholdet mellom de tre gruppene av krepsdyr (vannlopper, calanoide hoppekreps, cyclopoide hoppekreps) vil dermed ofte kunne endres med endringer i forsuringssituasjonen.

Fordi forekomsten av mange av de forsuringssensitive artene også er bestemt av andre miljøfaktorer (klima, kalsiumkonsentrasjon og fiskepredasjon) finnes det også uforsurete innsjøer med lav artsdiversitet, lav andel av forsuringssensitive arter og dominans av arter som er karakteristisk for forsurete lokaliteter. Kunnskap om forventet naturtilstand er avgjørende for å kunne vurdere hvor forsuringsskadet krepsdyrsamfunnet er.

Østlandet – Nord (region I)
Region I ble undersøkt i 1998 og det ble registrert 47 arter av planktoniske og litorale krepsdyr i til sammen 11 innsjøer. Basert på krepsdyrfaunaen ble innsjøene i regionen klassifisert som ubetydelig/moderat forsuret til sterkt forsuret. I en totalvurdering er regionen angitt som markert forsuret (klasse 3). Fire av innsjøene ble undersøkt på nytt i 2002; to av disse undersøkes årlig. Atnsjøen er en lite forsuret referansesjø med kun små år til år variasjoner i krepsdyrfaunaen. For to av de forsurede innsjøene utgjorde moderat forsuringsfølsomme arter en større andel i 2002 sammenlignet med tidligere år mens en negativ utvikling ble registrert for den tredje innsjøen.

Østlandet – Sør (region II)
Region II ble undersøkt i 1998 og på nytt i 2002. Antall arter har i denne perioden økt fra 50 (12 sjøer) til 60 (11 sjøer). Totalt er det registrert 65 arter i region II basert på overvåkingen i perioden 1996-2002. Status for enkeltlokaliteter varierte fra moderat til meget sterkt forsuret. Basert på en samlet vurdering av krepsdyrfaunaen ble regionen klassifisert som markert til sterkt forsuret (klasse 3-4). Antall arter og andel forsuringssensitive arter har økt fra 1998 til 2002 for de fleste av lokalitetene. Vannloppen *Alona karelica*, som tidligere ikke er funnet i overvåkingssjøene og som

anses som moderat forsuringsfølsom, ble registrert i tre av innsjøene i 2002. Samtidig har den forsuringstolerante vannloppen *Alona rustica* økt i mengde for mange av innsjøene. Tilsvarende er også registrert for andre innsjøer på Østlandet (Bjørn Walseng, pers.medd.). Det blir imidlertid antatt at denne endringen skyldes andre forhold enn forsuring. Tidlig start på vekstsesongen og en varm sommer i 2002 kan ha vært en medvirkende faktor. For fire av lokalitetene i region II fins det årlige krepsdyrdata fra fire til syv år i løpet av perioden 1996-2002. I Bredtjenn, en av de mest forsuringsskadete innsjøene i denne regionen, ble det for første gang registrert *Cyclops scutifer* i 2002. Forekomst av denne svært vanlige men noe forsuringsfølsomme arten kan være en første respons på bedring i vannkvaliteten. Fra Langtjern fins det også planktondata fra 1977. Prosentvis forekomst av den forsuringsfølsomme arten *Daphnia longispina* i planktonet har i alle år vært lav, men noe høyere i 1977 sammenlignet med perioden 1998-2002. Til tross for en gradvis bedring av vannkvaliteten siden midten av 1970-tallet er de vannkjemiske forholdene for dårlige og ustabile for permanent etablering av de mest forsuringsfølsomme krepsdyrartene. For Langvatn og Øvre Jerpetjern er det ingen generelle endringer i krepsdyrfaunaen i undersøkelsesperioden.

Fjellregion - Sør-Norge (region III)

Region III ble undersøkt i 2000 og det ble her registrert 33 arter av planktoniske og litorale krepsdyr i til sammen 11 høyfjellslokaliteter. Innsjøene ble klassifisert som ubetydelig/moderat til sterkt forsuret. Samlet er region III vurdert som moderat til markert forsuret (klasse 2-3). Fra to av lokalitetene i region III fins det årlige krepsdyrdata for perioden 1997-2002. Heddersvatn er i tillegg undersøkt i 1978. År til år variasjoner i krepsdyrfaunaen er liten og indikerer ingen eller kun en svak positiv endring i forsuringssituasjonen. I Heddersvatn ble *Cyclops scutifer* registrert for første gang i 1999 med økende andel i årene som følger. Det ser ut til at arten gradvis har erstattet den mer forsuringstolerante *Acanthocyclops vernalis* og dette kan være en første respons på bedring i vannkvaliteten. Rondvatn synes å være naturlig artsfattig pga. dårlig utviklet litoralsone samt lave ione-konsentrasjoner. Kun mindre år til år variasjoner i krepsdyrfaunaen er registrert. Fire av lokalitetene i Kvennavassdraget (Hardangervidda) ble undersøkt i 1978 og 1995 i tillegg til 2000. Innsjøene vurderes ikke som forsuringsskadet og forskjeller i krepsdyrfaunaen mellom 1978 og 1995/2000 skyldes høyst sannsynlig variasjoner i andre miljøforhold, for eksempel klima.

Sørlandet - Øst (region IV)

Region IV ble undersøkt i 1999 og totalt ble det registrert 55 arter av planktoniske og litorale krepsdyr. Krepsdyrfaunaen i til sammen 10 innsjøer viste stor variasjon og innsjøene ble klassifisert som ubetydelig/moderat til meget sterkt forsuret. Samlet er region IV vurdert som markert til sterkt forsuret (klasse 3-4) basert på krepsdyrfaunaen. Fra syv av lokalitetene i region IV fins det krepsdyrdata fra flere år i perioden 1996-2002. År til år variasjoner i krepsdyrfaunaen er liten og indikerer ingen generell endring i forsuringssituasjonen. En av lokalitetene (Sognevatn) ble i tillegg undersøkt i 1989. Andelen forsuringsfølsomme krepsdyrarter er mer enn fordoblet i 1997-2002 sammenlignet med situasjonen på slutten av 1980-tallet. Datagrunnlaget fra 1989 er imidlertid noe mangelfult. To av de øvrige innsjøene er også undersøkt tidligere, hhv. i 1978 og 1987. Disse viser en svak positiv endring i krepsdyrfaunaen i 1999 sammenlignet med tidligere undersøkelser. I Risvatn har andelen *Daphnia longispina* økt i planktonet. I Sandvatn har andelen forsuringssensitive arter økt men daphnier er ennå ikke blitt registrert. For de øvrige innsjøene er det ingen generell endring.

Sørlandet - Vest (region V)
Region V ble undersøkt i 1997 og på nytt i 2001. Fra åtte av sjøene foreligger det krepsdyrdata fra begge år. Det fins krepsdyrdata fra totalt 13 innsjøer og disse er klassifisert som moderat/markert til meget sterkt forsuret. Regionen er samlet vurdert som sterkt forsuret (klasse 4) basert på krepsdyrfaunaen. Alle innsjøene som er undersøkt både i 1997 og 2001 viser en økning i totalt antall arter, med unntak av Ljosvatn. Økningen gjelder i like stor grad forsuringstolerante som forsuringsfølsomme arter men kan være et første tegn på bedring i forsuringssituasjonen i denne regionen. I region V blir tre innsjøer undersøkt årlig. I Saudlandsvatn ble det i 2002, for første gang, funnet individer av *Daphnia longispina* i planktonet. Funn av hvileegg i topp-sedimentet (se **Figur 19**) bekrefter inntrykket av at denne forsuringsfølsomme arten er i ferd med å reetablere seg i innsjøen. For de to andre sjøene som undersøkes årlig gir resultatene så langt ingen indikasjoner på reduserte forsuringsskader.

Vestlandet - Sør (region VI)
Region VI ble undersøkt i 2000. Det fins krepsdyrdata fra syv innsjøer og totalt ble det registrert 32 arter. Innsjøene er klassifisert som markert til sterkt forsuret (klasse 3-4) basert på krepsdyrfaunaen og dette gjelder også for regionen samlet. Kun en av lokalitetene i region VI (Røyravatn) blir undersøkt årlig. Sammenlignet med tidligere år er det ingen endring i forsuringssituasjonen i 2002. I forbindelse med bunndyrundersøkelsene i 2000 ble det imidlertid registrert individer av *Daphnia* sp. i utløpselva og dette tyder på at arten fins i lave tettheter i planktonet og evt. er i ferd med å reetablere seg i innsjøen. En av lokalitetene (Litlevikvatn) ble undersøkt i 1992 og 1997 i tillegg til 2000. Materialet gir ingen indikasjon på endringer i skadeomfanget i denne perioden.

Vestlandet - Nord (region VII)
Region VII ble undersøkt i 1999 og totalt ble det registrert 35 krepsdyrarter. Krepsdyrfaunaen i de 12 innsjøene viste stor variasjon og innsjøene ble klassifisert som ubetydelig/moderat til sterkt/meget sterkt forsuret. Samlet er regionen vurdert som markert forsuret (klasse 3). De fleste av lokalitetene i regionen er svært ionesvake med Ca-konsentrasjoner <0,5 mg L^{-1} og andel forsuringssensitive arter forventes derfor å være naturlig lav. For tre av innsjøene i regionen fins det årlige krepsdyrdata. Relativt store år til år variasjoner er registrert for disse innsjøene men det er ingen generell trend mhp. forsuringsskader for region VII.

Midt-Norge (region VIII)
Region VIII ble undersøkt i 2001 og det fins krepsdyrdata fra ti innsjøer. Totalt ble det registrert 42 arter. Innsjøene i region VIII er alle næringsfattige med lave kalsium-konsentrasjoner (0,3 - 1,1 mg Ca/L) og regionen er vurdert å være lite påvirket av sur nedbør. Andel forsuringsfølsomme arter var generelt høyt og lå i snitt på 30% for regionen. Lavest andel forsuringsfølsomme arter ble funnet i ionefattige fjellsjøer. Regionen er samlet vurdert som ubetydelig til moderat forsuret (klasse 1-2) basert på krepsdyrfaunaen. Årlige undersøkelser av høyfjellslokaliteten Svartdalsvatn viser kun mindre år til år variasjoner i krepsdyrfaunaen. Songsjøen har vært relativt grundig undersøkt i perioden 1991-97 og det er her funnet 22 arter i tillegg til de registreringene som ble gjort i 2001. Dette indikerer at den standardiserte innsamlingsmetodikken som benyttes i overvåkingsprogrammet kun fanger opp en andel av artene som over tid finnes i en innsjø. Mange arter opptrer i svært lave tettheter og noen arter blir kun registrert i enkelte år uten at de klarer å

etablere en fast bestand i innsjøen. År til år variasjoner i artsantall og -sammensetning forventes å være større for en uforsuret referansesjø enn for en forsuret innsjø.

Nord-Norge (region IX)
Region IX ble undersøkt i 1999. Totalt ble det registrert 35 arter av planktoniske og litorale krepsdyr. Det fins data fra seks innsjøer og situasjonen i disse varierer fra ubetydelig/moderat forsuret til sterkt forsuret, med hovedvekt på moderat forsuret (klasse 2). Felles for lokalitetene som ble vurdert som sterkt forsuret er at disse var svært ionesvake med Ca-konsentrasjoner <0,5 mg L^{-1} og dessuten at de hadde en god aurebestand. Det er derfor sannsynlig at en artsfattig krepsdyrfauna dominert av forsuringstolerante arter skyldes lave Ca-konsentrasjoner i kombinasjon med høy predasjon, begge deler kan være en begrensende faktor for forekomsten til forsuringssensitive arter som for eksempel daphnier. En lokalitet (Kapervatn) er undersøkt årlig siden 1999. Krepsdyrfaunanen er artsfattig med dominans av forsuringstolerante arter. Artsinventaret varierer lite mellom år men det er registrert relativt store variasjoner i dominansforhold.

Øst-Finnmark (region X)
Region X ble undersøkt i 2000. Det fins krepsdyrdata fra kun seks innsjøer og totalt ble det registrert 31 arter. Innsjøene er klassifisert som moderat til sterkt forsuret. Samlet er region X vurdert som markert forsuret (klasse 3). Store Skardvatn ble i tillegg til undersøkelsene i 2000 også undersøkt i perioden 1991-1996. Litorale krepsdyr ble imidlertid først inkludert fra 1995. I St. Skardvatn er andelen av sensitive arter samt prosentvis forekomst av forsuringssensitive daphnier i planktonet noe redusert i 2000 sammenlignet med 1995-1996. Basert på krepsdyrfaunaen alene er datagrunnlaget for dårlig til å kunne si noe sikkert om utvikling i forsuringssituasjonen. Kun Dalvatn blir undersøkt årlig. Fra denne lokaliteten fins det data fra de fleste år i perioden 1991-2002. Krepsdyrfaunaen i Dalvatn indikerer ustabile forhold med betydelig år til år variasjoner i vannkvaliteten. Andelen av den forsuringssensitive *Daphnia longiremis* i planktonet synes imidlertid å øke.

Trender
Totalt 20 av lokalitetene som ble undersøkt i 2002 var innsjøer som overvåkes årlig (Gruppe 1- og Gruppe 2 sjøer). En av disse var ny i 1999, mens to lokaliteter er undersøkt siden 1998, tolv siden 1997 og fem siden 1996. For et flertall av innsjøene ble det registrert flest arter i 1999. Det er imidlertid en relativt dårlig samvariasjon mellom artsantall og pH for de enkelte innsjøene. Variasjoner i artsrikdom kan skyldes variasjoner i andre miljøforhold, for eksempel år til år variasjoner i klima. En total vurdering av krepsdyrsamfunnene, basert på artsinventar og mengdefordelinger (dominansforhold), tyder ikke på noen generell endring i forsuringssituasjonen i perioden 1996-2002. For enkeltlokaliteter i Sør-Norge er det imidlertid indikasjoner på endringer i positiv retning.

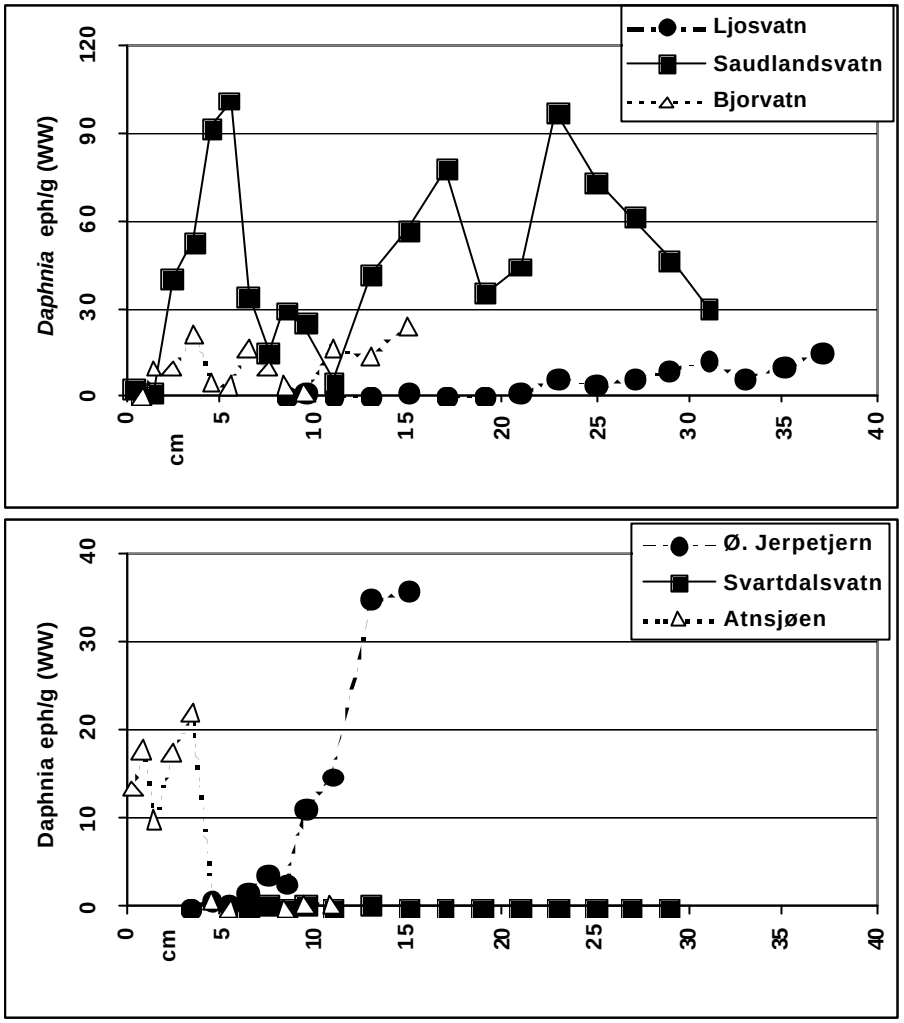
Palaeolimnologiske studier

For samtlige Gruppe 1-sjøer (Atnsjøen, Øvre Jerpetjern, Bjorvatn, Lille Hovvatn, Saudlandsvatn, Ljosvatn, Røyravatn, Markusdalsvatn, Nystølvatn og Svartdalsvatn) foreligger det sedimentprøver for å kunne rekonstruere krepsdyrfaunaen for perioden fra før forsuringen startet (ca. 1900) og fram til i dag. Forekomsten av skallrester og ephippier (hvileegg) av vannlopper er analysert fra ulike sjikt nedover i sedimentet. Alle sedimentsjikt er undersøkt med hensyn til forekomst av ephippier av *Daphnia*-arter mens totalfaunaen av vannlopper er foreløpig kun undersøkt i topp- (0,5-1 cm) og bunnsjiktet for fire av innsjøene.

I de sterkt forsuringsskadete innsjøene er andelen forsuringsfølsomme arter alltid større i de dypeste sjiktene, det vil si før forsuringen startet. Forholdet er omvendt i Atnsjøen, som ikke er forsuringsskadet, noe som skyldes at muligheten for å fange opp alle de tilstedeværende artene i sedimentprøvene avtar med sedimentenes alder. Øvre Jerpetjern og Lille Hovvatn, som er sterkest forsuringsskadet, mangler flest forsuringsfølsomme arter i dagens krepsdyrfauna sammenlignet med faunaen før 1900.

Daphnia-ephippier ble funnet i sedimentet i seks av Gruppe-1 sjøene (**Figur 19**). De eneste av lokalitetene som i dag har en bestand av *Daphnia longispina* er Atnsjøen og Svartdalsvatn, som begge anses som lite forsuringsskadet. I Atnsjøen er tettheten av ephippier stor i de øverste 5 cm av sedimentet mens forekomsten i de dypere sedimentlag er sparsom. I Svartdalsvatn forekommer ephippiene svært fåtallig og tettheten av daphnier er også svært lav i planktonet, noe som er vanlig for mange næringsfattige fjellvann. I Saudlandsvatn har *Daphnia longispina* manglet de siste årene, men i 2002 ble det igjen funnet noen få individer av arten i planktonprøvene. Tilsvarende ble det funnet et fåtall ephippier i overflatelaget i sedimentet. Allerede i sjiktet 2-3 cm i sedimentet forekommer det et stort antall ephippier noe som viser at arten var vanlig helt fram til omkring 1980-1990. Forekomsten har variert sterkt bakover i tid uten at vi kjenner årsaken til dette. Tilsvarende forhold finner vi også i Bjorvatn hvor *D. longispina* forsvant på omtrent samme tid. I Øvre Jerpetjern, som synes å være sterkere forsuringsskadet, forsvant *Daphnia*-bestanden allerede omkring 1950-tallet. I Ljosvatn finner vi de første ephippiene av *Daphnia* først omkring 10 cm ned i sedimentet, og tettheten er generelt svært lav i alle sedimentsjikt. Daphniene forsvant antagelig fra Ljosvatn allerede tidlig i forsuringsfasen (begynnelsen av 1900-tallet), og forholdene har trolig alltid vært så ugunstige (naturlig surt vann med svært lavt kalsiuminnhold) at denne forsurings-følsomme arten aldri har hatt en tett bestand i innsjøen.

I Lille Hovvatn, Røyravatn, Markusdalsvatn og Nystølvatn er det ikke registrert ephippier av daphnier i noen av sedimentsjiktene, heller ikke i lag som representerer tiden før innsjøene ble forsuret. Innsjøene er svært ionefattige med kalsium-verdier på ca 0,25 mg L^{-1} og har således aldri hatt forekomster av de mest forsuringsfølsomme artene. Dyregeografiske forhold spiller antagelig også en rolle når det gjelder vannene på Vestlandet hvor arten er mer spredt forekommende. I Røyravatn er imidlertid *Daphnia longispina* nylig påvist i utløpet av vannet i forbindelse med bunndyrundersøkelsene (G. Raddum pers. medd.)

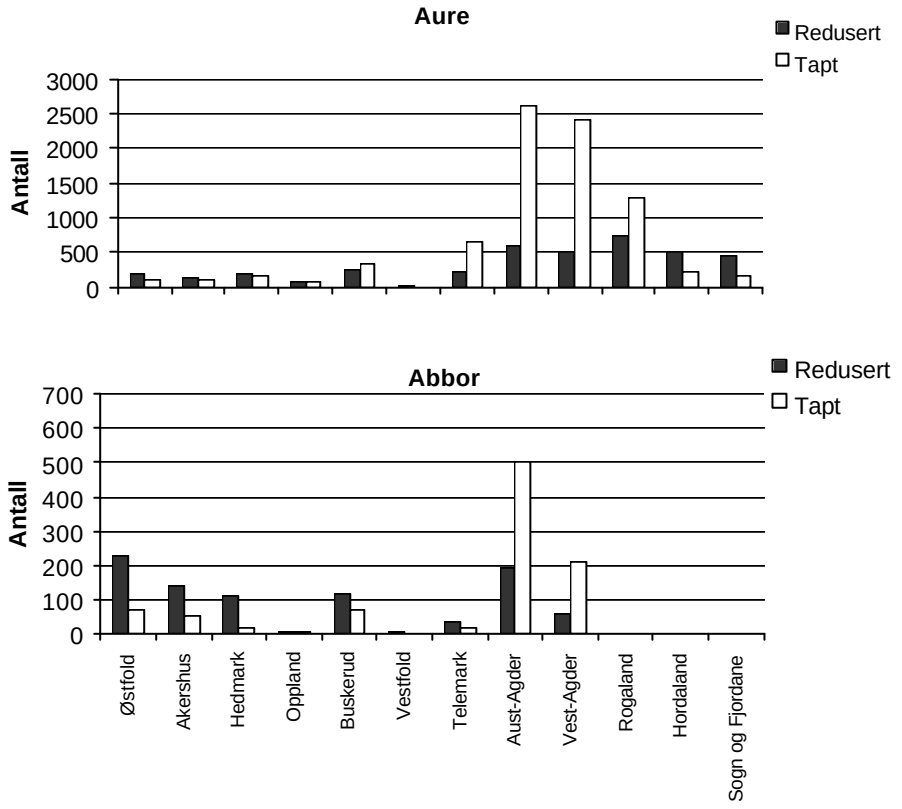


Figur 19. *Antall Daphnia-ephippier (hvileegg) per gram våtvekt (ww) i ulike sjikt av sedimentet fra Bjorvatn, Ljosvatn og Saudlandsvatn (Sørlandet – Sørvestlandet) og fra Øvre Jerpetjern, Svartdalsvatn og Atnsjøen (Østlandet).*
Figure 19. *Number of Daphnia-ephippia per gram wet weight in different layers of sediments from Lakes Bjorvatn, Ljosvatn and Saudlandsvatn (South coast of Norway – Southwest Norway) and from Lakes Øvre Jerpetjern, Svartdalsvatn and Atnsjøen (Eastern Norway).*

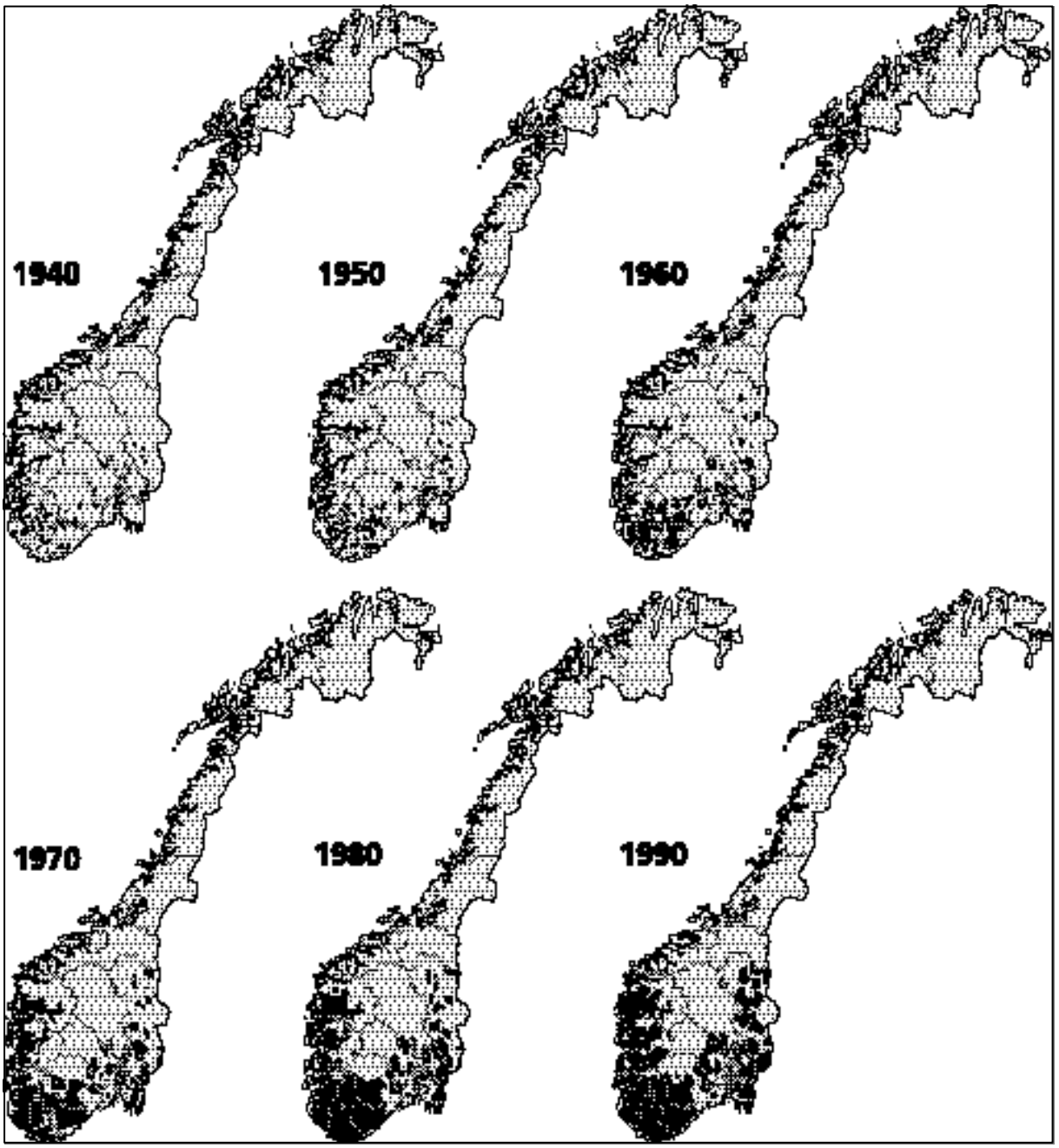
3.2.3 Effekter på fisk

Regionale intervjuundersøkelser for å beregne antall tapte og skadete bestander
Beregninger viser at rundt 8.200 aurebestander er tapt som følge forsuring her i landet. Skadene har vært størst i de to Agderfylkene, med til sammen rundt 5.000 tapte aurebestander (**Figur 20**). Også i Telemark og Rogaland har tapene vært betydelige, med nærmere 700 og 1.300 tapte aurebestander i de to fylkene. I tillegg har det vært betydelige reduksjoner i nærmere 4.000 bestander. I tillegg til Agderfylkene, med over 1.100 reduserte bestander, hadde Rogaland et betydelig antall skadede aurebestander (over 700). Videre er nærmere 1.000 abborbestander tapt pga forsuring, hovedsakelig i Aust-Agder (500) og Vest-Agder (210), i tillegg til rundt 70 bestander i både Østfold og Buskerud (**Figur 20**). Nærmere 500 bestander av røye, mort, ørekyte og gjedde har også gått tapt pga forsuring, mens antall skadede bestander for disse fire artene er over 600. Forsuringsskader på fiskebestander ble spesielt tydelige på 1960/70-tallet. På begynnelsen av 1990-tallet ble landarealet med tapte og skadede fiskebestander beregnet til rundt 84.000 km^2 (**Figur 21**).

Disse tallene bygger på data som ble samlet inn fram til tidlig på 1990-tallet, og begrenset til innsjøer over ca 3 ha. Derfor er reetableringer og gjenhentingen av bestander som skyldes bedret vannkvalitet gjennom kalking og reduserte utslipp, samt ved utsettinger, ikke vurdert. Dagens skadeomfang er derfor mindre enn det tallene som er presentert her viser.



Figur 20. *Antall tapte og reduserte bestander av aure og abbor pga forsuring fordelt på enkelte fylker.*
Figure 20*. Number of lost and damaged populations of brown trout and perch due to acidification in different counties of Norway.*

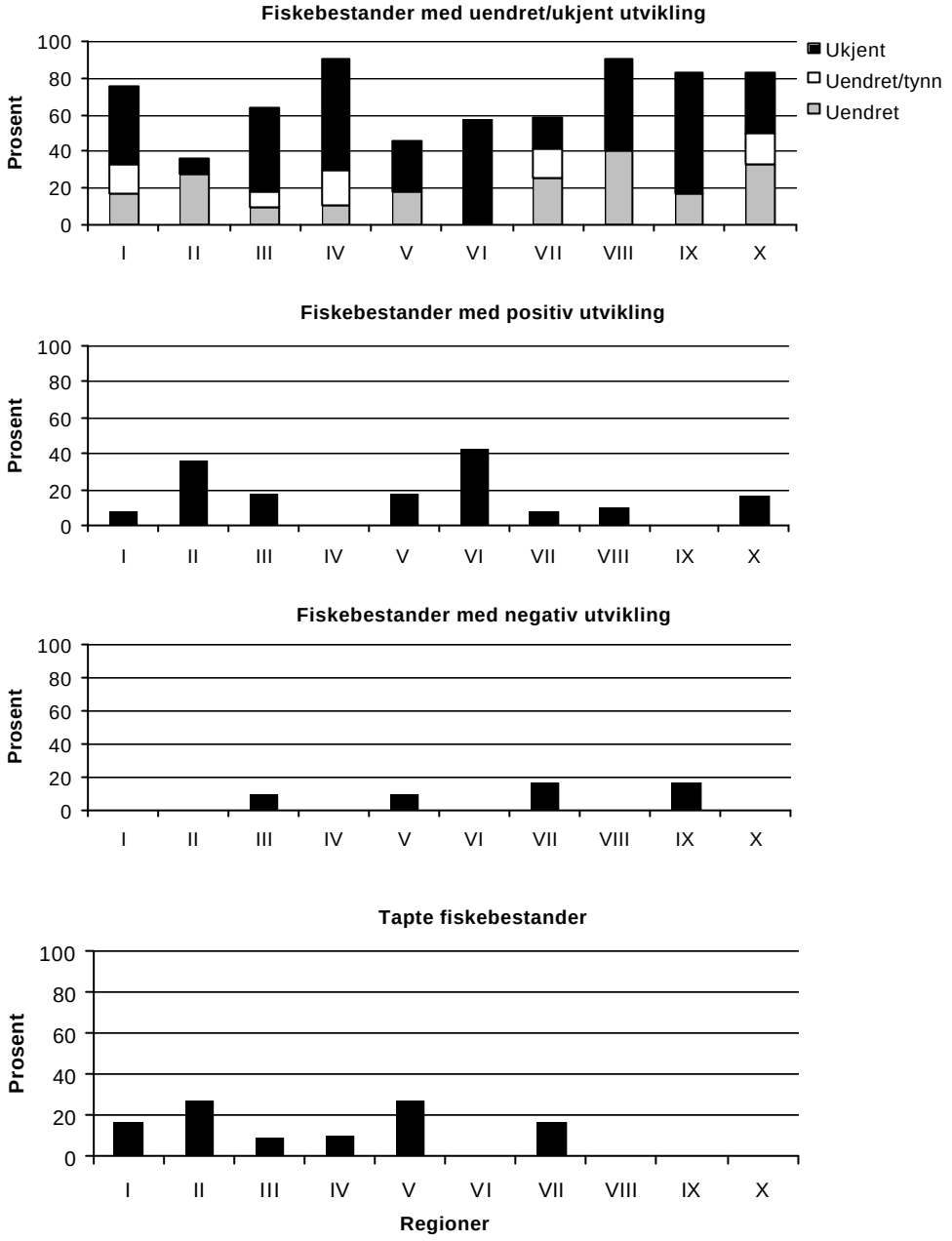


Figur 21. *Utviklingen av arealer med tapte og skadede fiskebestander som skyldes forsuring fra 1940-tallet frem til 1990-tallet.*
Figure 21*. Development of areas with damaged fish populations in Norway from 1940s to 1990s, due to acidification.*

Bestandsundersøkelser av fisk i innsjøer

Hensikten med bestandsundersøkelser i innsjøer er å (i) dokumentere bestandseffekter forårsaket av forsuring, (ii) kartlegge hvordan forsuringen virker på ulike fiskearter og fiskesamfunn og (iii) relatere fangstutbyttet til ulike vannkjemiske parametre. I 2002 ble 10 lokaliteter prøvefisket fordelt på fire

regioner (region I, II, VI og VII) (**Figur 22**).



Region	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X
Antall lok.	12	11	11	10	11	7	12	10	6	6

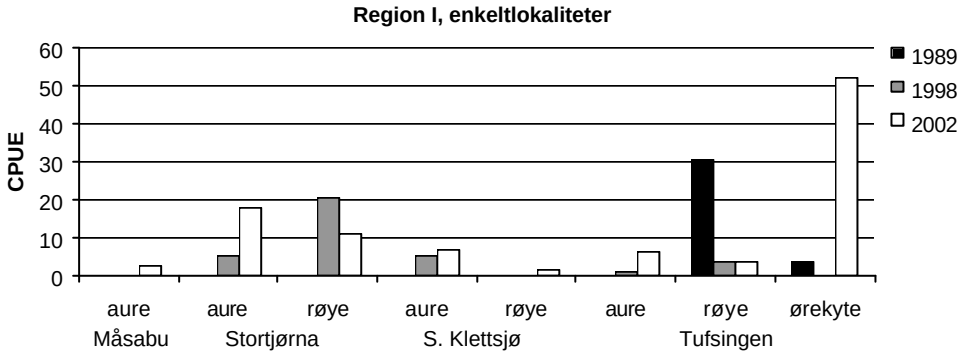
Figur 22. *Andelen (prosent) av fiskebestander med uendret, uendret/tynn, positiv eller negativ utvikling og tapte fiskebestander i ulike regioner. Kategorien "ukjente" er lokaliteter som ikke er prøvefisket eller som bare har vært undersøkt én gang, mens uendret/tynn bestand har et fangstutbytte under 5 individ per 100 m^2 garnareal (cpue). Antall lokaliteter i hver region er vist i tabellen nederst på figuren.*

Figure 22*. Frequencies of fish populations with unchanged, positive or negative development and lost populations in different regions. The category "unknown" includes lakes which have*

been test-fished either once or not testfished at all. Numer of sites in each region in shown in the table in the borttom of the figure.

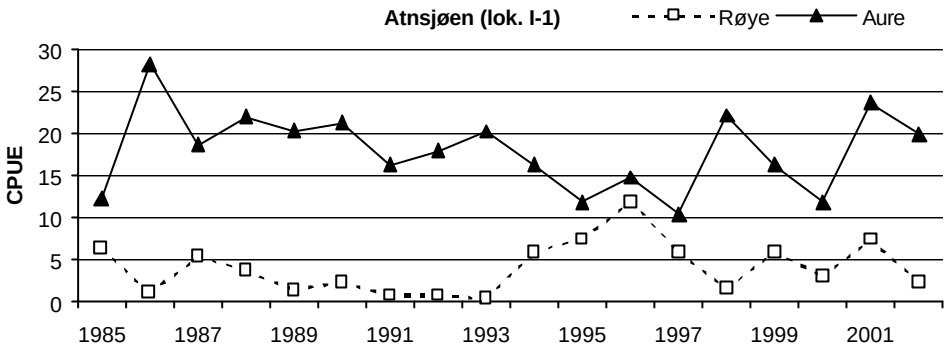
Østlandet – Nord (region I)

Andelen av tapte og uendrede fiskebestander i region I er henholdsvis 17 og 33 % (**Figur 22**). De fleste lokalitetene i denne regionen har eller har hatt bestander av aure, mens røye, abbor, ørekyte og gjedde finnes i enkelte innsjøer. To av lokalitetene (lok I-3 og I-7), som ikke har hatt noen endring i bestandtettheten av fisk, har tynne bestander av aure og røye. I Stortjørna (lok. I-5) har det vært en økning i fangstutbyttet av aure, mens det var en tilsvarende nedgang i utbyttet av røye (**Figur 23**). Det ble imidlertid fanget mer røye på 6-20 m dyp i 2002 enn i 1998, slik at nedgangen i fangstutbyttet av røye blir mindre om disse inkluderes i beregningen. For aure blir det ubetydelige endringer i utbyttet om fangstene fra de dypere områdene blir inkludert. Totalt sett har det derfor vært en positiv utvikling mht status for fiskebestandene i denne lokaliteten (**Figur 22**). Tufsingen (lok I-12) har en forholdsvis tynn aurebestand, men fangstutbyttet tyder likevel på en positiv utvikling. Bestandtettheten av røye har imidlertid gått kraftig ned, mens det har vært en kraftig økning i bestanden av ørekyte (**Figur 23**). Årsaken til nedgangen i fangstutbyttet av røye kan med stor sannsynlighet tilskrives andre forhold enn forsuring da vannkvaliteten i innsjøen synes å være god. Atnsjøen blir prøvefisket hvert år som en del av "Overvåking av biologisk mangfold i ferskvann". Innsjøen har gode bestander av aure og røye og er ikke påvirket av forsuring. I perioden 1985-2002 har fangstutbyttet (Cpue) for aure i bunnære områder (0-12 m dyp) av Atnsjøen variert mellom 10-28 individ per 100 m^2 garnareal, mens Cpue for røye har variert mellom 1-12 individ (**Figur 24**). Fangstene av røye i dypere områder av sjøen (12-35 m) er større og viser dessuten en klar positiv utvikling i løpet av undersøkelsesperioden.



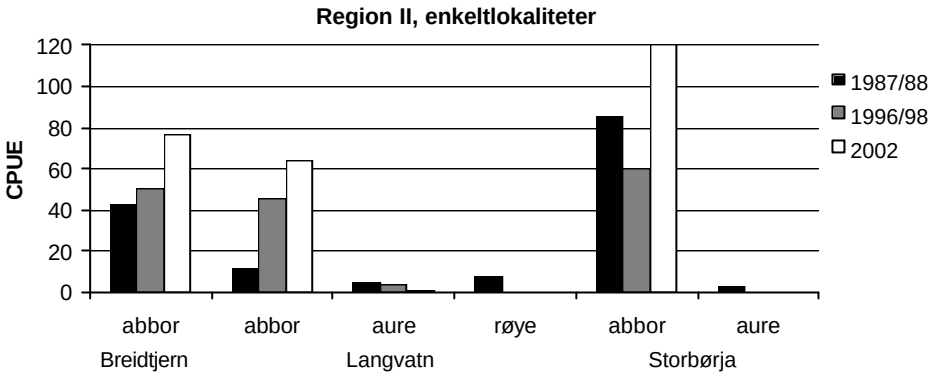
Figur 23. *Fangst av aure i Måsabutjørn, aure og røye i Stortjørna og S. Klettsjø og av aure, røye og ørekyte i Tufsingen per 100 m^2 garnareal (Cpue) i bunnære områder (0-6 m dyp) i ulike perioder.*

Figure 23*. Catches of brown trout in Lake Måsabutjørn, brown trout an Arctic charr in lakes Stortjørna and S. Klettsjø and of brown trout, Arctic charr and European minnow in Lake Tufsingen in different periods between 1989 and 2002. The catches are expressed in number of fish caught per 100 m^2 net area (Cpue) at depths between 0 and 6 metres.*



Figur 24. *Fangst av aure og røye per 100 m^2 garnareal (Cpue) i bunnære områder (0-12 m dyp) av Atnsjøen (lok I-1) i perioden 1985-2002.*
Figure 24. *Catches of brown trout and Arctic charr in the epibenthic zone of lake Atnsjøen between 1985 and 2002. The catches are expressed in number of fish caught per 100 m^2 net area (Cpue) at depths between 0 and 12 metres.*

Østlandet – Sør (region II)
Det har vært en positiv utvikling i 36 % av lokalitetene i region II, mens 27 % er tapte eller uendrede bestander (**Figur 22**). De fleste lokalitetene i denne regionen har eller har hatt bestander av abbor, mens aure og røye finnes i enkelte av de utvalgte innsjøene. De tre lokalitetene som ble undersøkt i 2002 har alle hatt en økning i fangstutbytte av abbor (**Figur 25**). To av innsjøene har fortsatt tynne aurebestander, og Langvatn (Lok II-5) har i tillegg en tynn røyebestand. Denne regionen har høy forurensningsbelastning, og innsjøene er klassifisert som markert til sterkt forsuringsskadet mht bunndyr og krepsdyr. Vannkvaliteten i innsjøene har imidlertid vist en kraftig forbedring, med en økning i ANC fra 0 til over 31 µekv L^{-1} i perioden 1986-2001. Undersøkelsene av fisk tyder på at abbor har hatt en positiv utvikling , mens aure og røye har hatt en negativ utvikling. Noen av disse abborbestandene har helt fra starten av undersøkelsen blitt karakterisert som tette. Fangstutbyttet hos disse bestandene har imidlertid økt kraftig og de blir derfor gruppert i de med positiv utvikling (**Figur 22**). Årsaken til det lave fangstutbyttet av aure og røye i to av de undersøkte lokalitetene kan skyldes konkurranse fra en voksende abborbestand, men kan også skyldes at vannkvaliteten fremdeles er marginal. Langvatn (Lok. II-5) og Storbørja (Lok II-6) hadde i 2001 pH på henholdsvis 5,7 og 5,1. Forsuringssituasjonen i denne regionen er fremdeles alvorlig mht fisk da 27 % av lokalitetene har tapte bestander av abbor (**Figur 22**).



Figur 25. *Fangst av abbor i Breidtjern, av abbor, røye og aure i Langvatn og av abbor og aure i Storbørja per 100 m^2 garnareal (Cpue) i bunnære områder (0-6 m dyp) i ulike perioder.* ***Figure 25.*** *Catches of perch in Lake Breidtjern, perch, Arctic charr and brown trout in Lake Langvatn and of perch and brown trout in Lake Storbørja in different years between 1987 and 2002. The catches are expressed in number of fish caught per 100 m^2 net area (Cpue) at depths between 0 and 6 metres.*

Fjellregionen – Sør-Norge (region III)

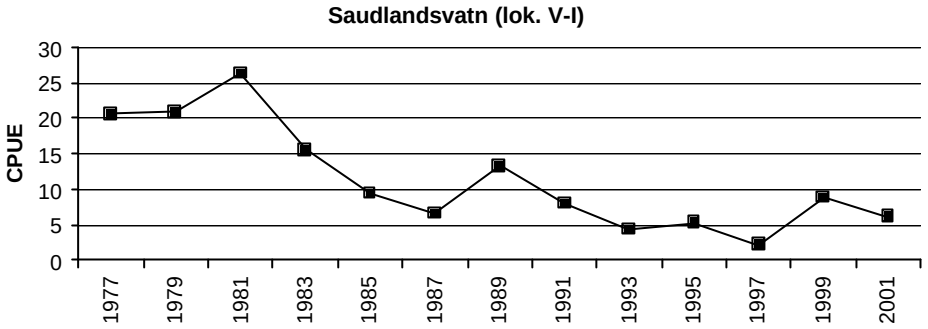
I region III har det vært en positiv utvikling i 18 % av de undersøkte fiskebestandene, mens 9 % har hatt en negativ utvikling og 9 % er tapte bestander (**Figur 22**). Alle de undersøkte innsjøene i denne regionen ligger mer enn 1000 m o.h. og de fleste har forholdsvis tynne eller middels tette bestander av aure og/eller røye. Forurensningsbelastningen i denne regionen er forholdsvis lav, men ANC vil sannsynligvis aldri bli særlig høy i dette området pga. et generelt lavt innhold av basekationer. Bestandstettheten hos fisk forventes derfor ikke å være spesielt høy i denne regionen, og en kan heller ikke forvente noen stor økning i fangstutbytte sammenlignet med innsjøer i lavlandet.

Sørlandet – Øst (region IV)

De fleste lokalitetene i region IV er foreløpig bare undersøkt en gang mht fisk, slik at grunnlaget for å si noe om utviklingen i denne regionen er tynn (**Figur 22**). Andelen uendrede og tapte bestander var henholdsvis 30 og 10 %. Av bestandene som er klassifisert som uendret, karakteriseres 2/3 som tynne bestander av aure og abbor, mens en lokalitet har en svært tett abborbestand.

Sørlandet – Vest (region V)

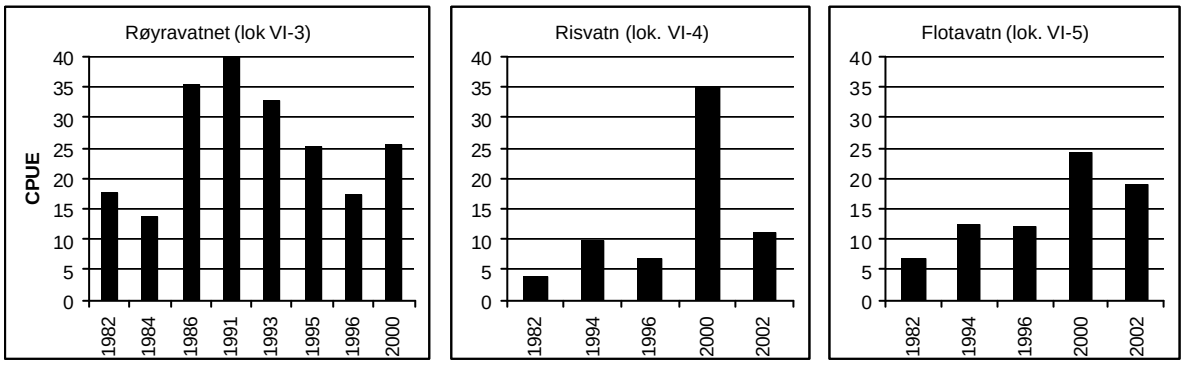
I region V viser fiskebestandene ingen entydig utvikling (**Figur 22**). I lokalitetene som har vært undersøkt mer enn en gang var 18 % av fiskebestandene uendret eller de har hatt en positiv utvikling, 9 % har hatt en negativ utvikling, mens 27 % er tapte bestander. Regionale intervjuundersøkelser har vist at denne regionen har flest tapte fiskebestander, samt at det har vært en merkbar reduksjon i mange bestander (**Figur 20** og **Figur 21**). Av de undersøkte fiskebestandene med en positiv utvikling i fangstutbyttet, karakteriseres en av aurebestandene fortsatt som forholdsvis tynn (Cpue = 6), mens en bestand har gått fra middels tett (Cpue = 14) til forholdsvis tett (Cpue = 31). Aurebestanden i Saudlandsvatn, som har vært undersøkt annet hvert år siden 1977, viser en klar reduksjon på begynnelsen av 1980-tallet (**Figur 26**). Etter dette har fangstutbyttet med ett unntak, vært mindre enn 10 individ per 100 m^2 garnareal.



Figur 26. *Fangst av aure pr 100 m^2 garnareal (Cpue) i Saudlandsvatn i perioden 1977-2001.*
Figure 26. *Catches of brown trout per 100 m^2 net area (Cpue) in the epibenthic zone (0-6m) of lake Saudlandsvatn, 1977-2001.*

Vestlandet – Sør (region VI)

Fiskebestandene i lokalitetene i region VI som har vært undersøkt mer enn en gang, har hatt en positiv utvikling (**Figur 22**). Fangstutbyttet i de enkelte lokalitetene viser en forholdsvis stor økning i fra 1996 til 2000 (**Figur 27**). Utviklingen i denne perioden var spesielt positiv for aurebestandene i Risvatnet (lok VI-4) og Flotavatnet (lok VI-5) i Vikedals-vassdraget. I Røyravatnet (lok VI-3) lokalisert i samme vassdrag, har imidlertid fangstene av aure gått ned i løpet av 1990- tallet, og er på samme nivå som på begynnelsen av 1980-tallet. Men i likhet med de to andre lokalitetene økte bestandstettheten i perioden 1996-2000. Både Risvatnet og Flotavatnet hadde en nedgang i fangstutbyttet av aure fra 2000 til 2002, men det var likevel større enn på 1980- og 1990-tallet. Resultatene viser at forsuringssituasjonen for fisk i denne regionen fortsatt er noe ustabil.

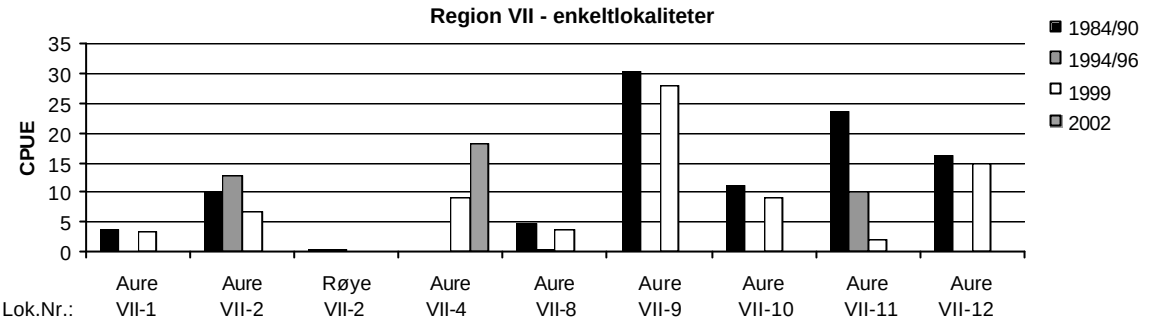


Figur 27. *Fangst av aure per 100 m^2 garnareal (Cpue) i Røyravatnet i perioden 1982-2000, og i Risvatnet og Flotavatnet i perioden 1982-2002.*
Figure 27. *Catches of brown trout per 100 m^2 net area (Cpue) in the epibenthic zone (0-6m) of Lake Røyravatnet between 1982 and 2000, and in lakes Risvatnet and Flotavatnet between 1982 and 2002.*

Vestlandet – Nord (region VII)

Nærmere halvparten av fiskebestandene i region VII, som har vært undersøkt mer enn en gang, har uendret status (42 %) (**Figur 22**). Andelen tapte fiskebestander og de med en klar negativ utvikling

utgjør 17 % for begge grupper. Av bestandene med uendret status karakteriseres to av aurebestandene som tynne (lok VII-1 og VII-8), mens en vurderes som under middels tett (lok. VII-10) (**Figur 28**). Resultatene viser en klar nedgang i fangstutbyttet av aure i Mevatn (lok. VII-11), mens det har vært en mindre nedgang i fangstene av aure i Storavatn (lok VII-2). I 2002 ble det bare foretatt prøvefiske i en lokalitet, og resultatet viser en fordobling i fangstutbytte av aure i løpet av siste treårs periode (lok VII-4, Markusdalsvatn).



Figur 28. *Fangst av aure i Oddmundalsvatn (lok VII-1), Markusdalsvatn (lok VII-4), Nystølvatn (lok VII-8), Skardsvatn (lok VII-9), Holmvatn (lok VII-10), Mevatn (lok VII-11) og Movatn (lok VII-12), og av aure og røye i Storavatn (lok VII-2) per 100 m^2 garnareal (Cpue) i bunnære områder (0-6 m dyp) i ulike perioder.*
Figure 28. *Catches of brown trout in lakes Oddmundalsvatn (lok VII-1), Markusdalsvatn (lok. VII-4), Nystølvatn (lok. VII-8), Skardsvatn (lok. VII-9), Holmvatn (lok. VII-10), Mevatn (lok. VII-11) and Movatn (lok. VII-12) and of brown trout and Arctic charr in lake Storavatn (lok. VII-2) in different periods between 1984 and 2002. The catches are expressed in number of fish caught per 100 m^2 net area (Cpue) at depths between 0 and 6 metres.*

Midt – Norge (region VIII)

De fleste fiskebestandene i region VIII som har vært undersøkt mer enn en gang, har uendret status (40 %), mens 10 % har hatt en positiv utvikling (**Figur 22**). De fleste aurebestandene med uendret status er noe under middels tette, dvs. med et fangstutbytte på 10-14 individ per 100 m^2 garnareal. To av disse lokalitetene ligger imidlertid mer enn 1000 m o.h., og forventet fangstutbytte i slike høyfjellssjøer er trolig ikke særlig høyere.

Nord-Norge (region IX)

I region IX er det bare fire lokaliteter som har vært prøvefisket, og kun to av dem har vært undersøkt mer enn en gang. Aure finnes i tre av disse lokalitetene, mens den fjerde har en middels tett røyebestand og tynne bestander av ørekyte og lake. I de to innsjøene med data fra mer enn ett tidspunkt har det vært en nedgang i fangstutbyttet av aure i den ene, mens det ikke har skjedd større endringer i den andre lokaliteten (**Figur 22**).

Øst-Finnmark (region X)

De fleste undersøkte lokalitetene i region X har en forholdsvis tett bestand av røye, mens aurebestandene er relativt tynne. Otervatn (lok X-2), der aure er eneste art, har hatt en positiv utvikling i perioden 1987-2000, med en økning i fangstutbyttet fra 5 til 10 individ per 100 m^2 garnareal. Forurensningsbelastningen i dette området viser store årlige variasjoner, og dette sammen med dårlige gyteforhold for auren i enkelte lokaliteter, er sannsynlige årsaker til at denne arten har forholdsvis små bestander.

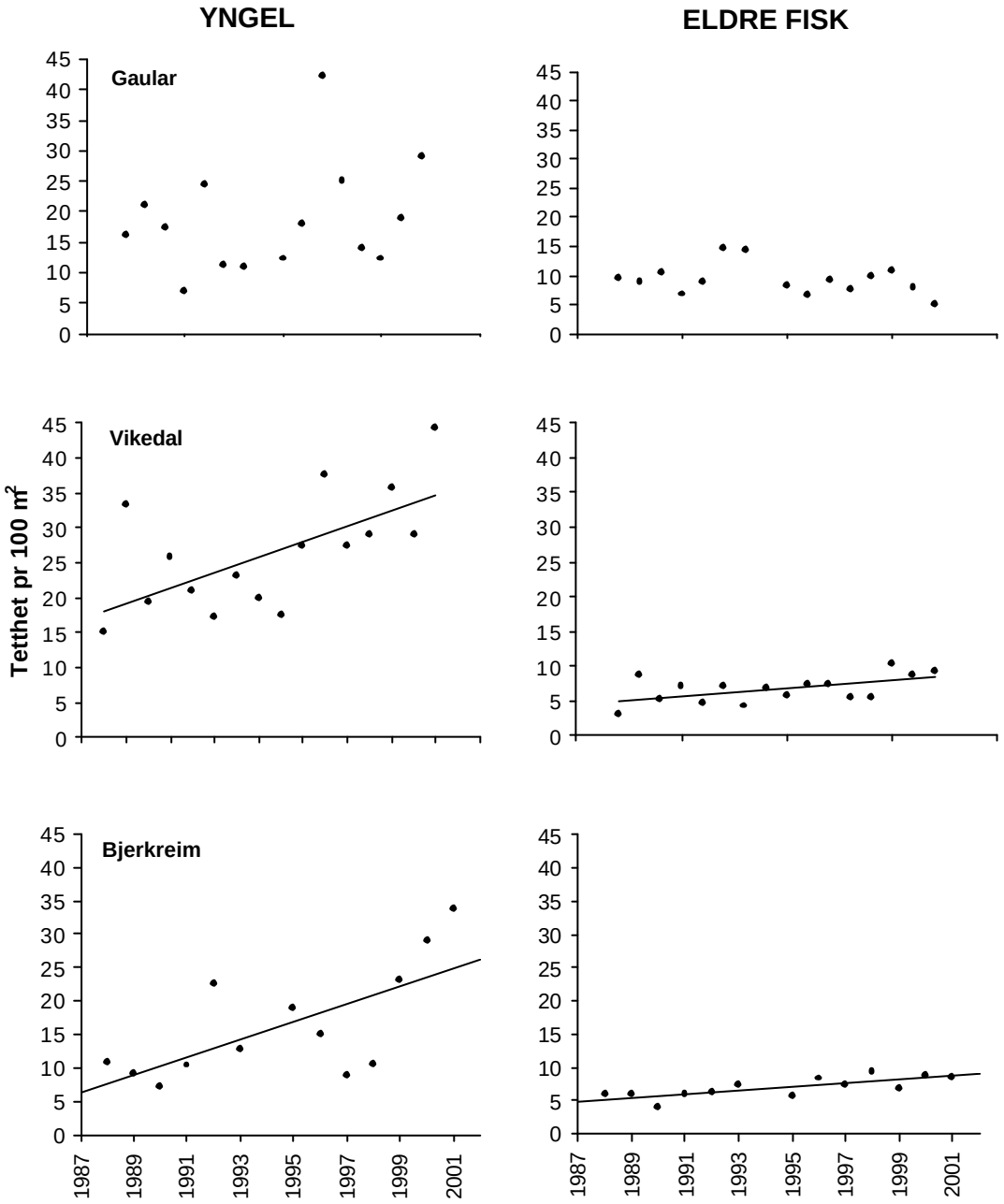
Rekrutteringen hos aure i bekker

Hensikten med ungfiskregistreringer av aure i rennende vann er å påvise eventuelle endringer i rekrutteringen i regioner med forsuringsfølsom vannkvalitet, og analysere hvilke vannkjemiske parametre som påvirker en tetthet. Disse undersøkelsene viser om det skjer endringer i aurens rekruttering, og dermed vil eventuelle bestandsendringer bli påvist på et tidlig stadium.

I 2002 ble det foretatt elfiske i 47 gytebekker til et utvalg innsjøer i vassdragene Gaular (Sogn og Fjordane) og Vikedal (Rogaland). De samme lokalitetene har vært undersøkt siden 1987/88. Tidligere omfattet disse undersøkelsene også bekker i Bjerkreimsvassdraget, men vassdraget ble tatt ut av programmet i 2002. Alle tre vassdragene har en forsuringsfølsom vannkvalitet, og det er påvist fiskeskader i flere innsjøer.

Faste strekninger i hver bekk blir avfisket med elektrisk fiskeapparat tre påfølgende ganger med ei kort pause mellom hver omgang. Tettheten av fisk ble beregnet på bakgrunn av avtakende fangster etter standard metoder, basert på samlet fangst i hvert vassdrag. All fisk blir lengdemålt etter hver omgang, og etter endt fiske ble den satt tilbake i bekken. På basis av lengdefordelingen kan en skille mellom årsyngel (alder 0+) og eldre individ (alder ≥1+). Før 1993 ble de faste strekningene i hver bekk avfisket bare én gang, og tettheten av yngel og eldre individ har i ettertid blitt beregnet ut fra gjennomsnittlig fangstsannsynlighet basert på tre omgangers elfiske. Tetthetstallene er justert i forhold til vannføringen under elfisket, som varierer fra år til år og påvirker fangsteffektiviteten. Det blir tatt vannprøver fra hver lokalitet i forbindelse med elfisket.

I Vikedalsvassdraget har det vært en positiv utvikling i tettheten av aureyngel i forsøks-perioden, og en statistisk analyse viste at tid (år) forklarer 36 % av variasjonen i tettheten (**Figur 29**). Vannføringen bidro med ytterligere 15 %, slik at samlet forklarer de to faktorene 51 % av variasjonen i tettheten av yngel. Tettheten av eldre aureunger har også vist en statistisk positiv økning i forsøksperioden. I bekker i Gaularvassdraget har det vært store årlige variasjoner i tettheten av aureunger siden undersøkelsene startet i 1987, og det har ikke vært noen tydelig bestandsøkning verken for yngel eller eldre individ. I Nystølsvatn er det eksempelvis nesten ikke påvist yngel i løpet av de siste åra. Totalt sett har det likevel vært en tendens til økt tetthet av yngel i Gaularvassdraget i løpet av 1990-tallet. I Bjerkreims-vassdraget var det en positiv utvikling i tettheten av yngel og eldre individ fram til og med 2001, og tid (år) forklarte henholdsvis 46 og 58 % av variasjonen i tettheten hos de to aldersgruppene.



Figur 29. *Beregnet gjennomsnittlig tetthet av yngel og eldre aureunger per 100 m^2 i bekker i vassdragene Gaular, Vikedal og Bjerkreim i perioden 1987/88-2002. I Bjerkreim ble det ikke foretatt undersøkelser i 2002. Linjer er trukket der det er en statistisk sammenheng mellom tetthet og tid (år).*

Figure 29*. Estimated mean density per 100 m^2 stream area of young-of–the-year (age 0+) and older specimens (age ³1+) of brown trout in streams in Gaular, Vikedal and Bjerkreim catchments from 1987 to 2002, except for that in Bjerkreim in 2002. Numbers is adjusted according to waterflow during electro-fishing. Lines are given in cases of a positive statistical relationship between density and time (year). No studies were carried out in Bjerkreim watershed in 2002.*

4. Det terrestriske miljøet

Overvåking av det terrestriske miljøet er en del av to av overvåkingsprogrammene. OPS belyser endringer i skog og skogøkosystemer og TOV belyser endringer i annen vegetasjon og fauna.

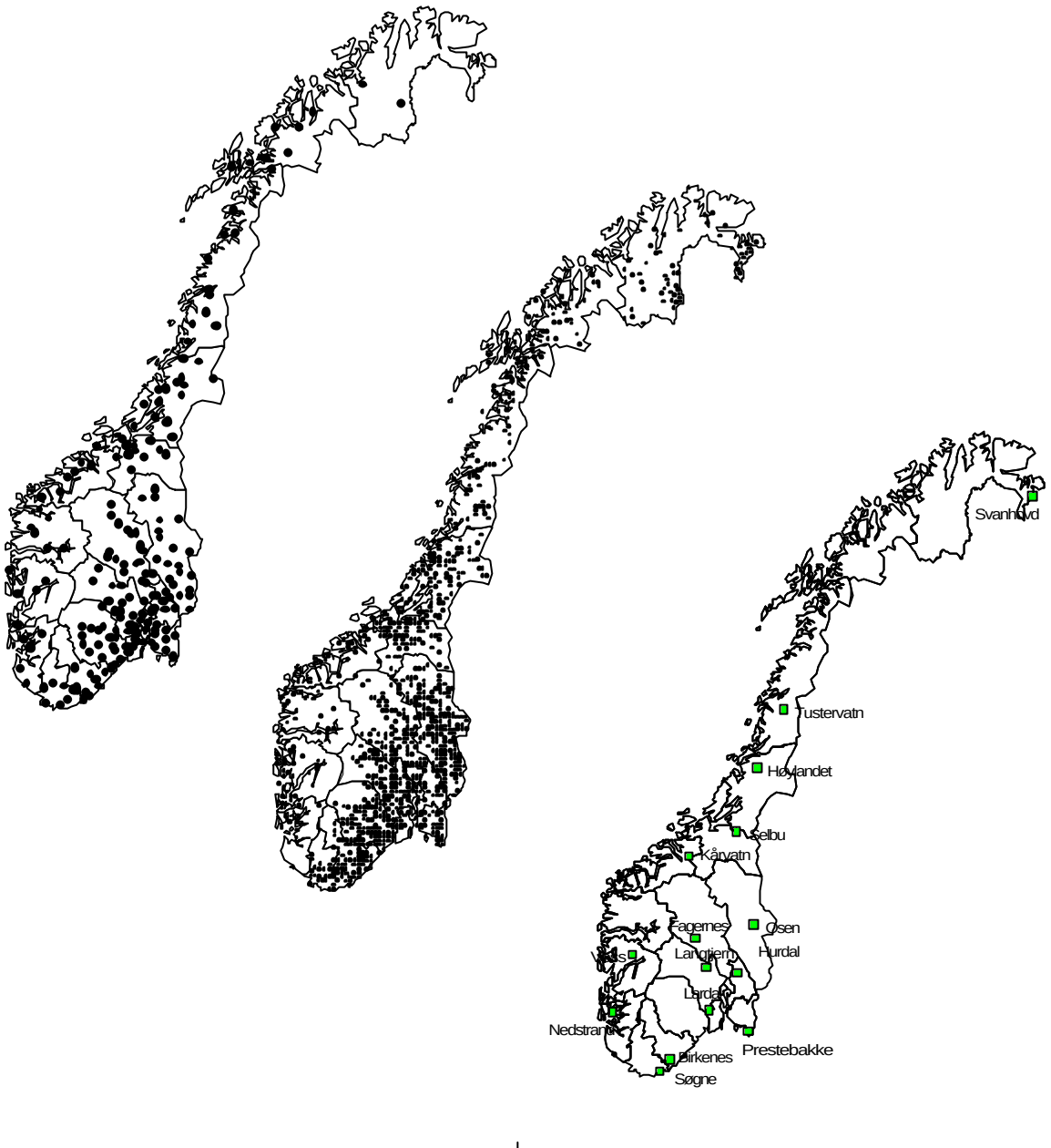
Overvåking av skog
OPS har tre sett av permanente overvåkingsflaterflater; Landsrepresentative flater, Intensive flater og Skogoppsynets flater (**Figur 30**). Overvåkingen startet på midten av 1980-tallet.

De **landsrepresentative flatene** brukes for å gi en nasjonal oversikt over skogens helsetilstand. Overvåkingsprogrammet for de landsrepresentative flatene ble forandret i 2001 og 2002. Fra 1989 til 2000 ble kronetilstandsregistreringer utført for alle gran- og furutrær som stod på flater som lå i et 9x9 km rutenett i hele landets skogareal. Registreringer i dette nettet ble delvis nedlagt før feltsesongen i 2001. Bjørk som stod på flater i et 18x18 km nett ble overvåket fra 1992 til og med 2001. I 2002 besto den nasjonale overvåkingen av gran-, furu- og bjørkeskog av detaljerte kroneregistreringer for alle trær på et utvalg av flatene i 9x9 km nettet. I tillegg kommer registreringer av kronetetthet og kronefargen til prøvetrærne av gran og furu i landsskogtakseringens flatenett (3x3 km). Utvalget av flater er foretatt slik at tidsserier kan presenteres, og gjør det mulig å sammenligne resultater over tid.

Overvåkingen på **skogoppsynets flater** har pågått siden 1988, med skogoppsynet som observatører. På ca 600 flater utføres årlig kronebedømmelse på ca 35000 trær i fire typer produksjonsskog (hogstklasse 3, 4 og 5, samt i skrantende skog).

Intensivflatene har et mer omfattende måleprogram hvor også jordvann inngår. På 15 flater i eldre barskog utføres detaljerte målinger av kjemisk innhold i nedbør, kronedrypp, jordvann og næringsinnhold i nåler og strøfall. I tillegg vurderes trærnes kronetilstand og markvegetasjonens dekning. I tilknytning til disse flatene måles det også tilførsel av luftforurensning. I alle intensivflatene i OPS undersøkes jordvann i fra humussjiktet (5 cm dyp), humusblandet mineraljord (15 cm dyp) og mineraljord (40 cm dyp) ved hjelp av lysimetre. For de først etablerte flatene i OPS er tidsserien nå ca 15 år. I tillegg blir det tatt jordprøver ved etableringen av flatene, samt fem år etter.

De årlige registreringene fra de **landsrepresentative flatene** og registreringene fra de **intensive overvåkingsflatene** rapporteres henholdsvis til ICP Forests og ICP IM. Metodene som brukes i skogskadeovervåkingen er utviklet og nedfelt i håndboka som brukes av alle de deltagende landene i det internasjonale skogskadesamarbeidet (ICP Forests). Kronetetthet og kronefarge vurderes på alle trær som inngår. Kronetetthet uttrykker en estimert barmasse i % av et tenkt fulltett tre under rådende voksestedsbetingelser. Kronefarge hos bartrær angir graden (% misfarging) av gule, gulgrønne eller brune nåler i kronen og for bjørk ulike gulnyanser på bladene. Kroneregistreringen reflekterer påvirkningen av biotiske-, abiotiske- og antropogene stressfaktorer, kombinasjoner og gjensidige påvirkninger av disse på trekronene.



Figur 30. *Lokaliteter som inngår i overvåkingsprogram for skogskader (OPS). Fra høyre mot venstre er det vist skogoppsynets flater, landsrepresentative flater og intensiv flater.*
Figure 30. *Sites in the Norwegian monitoring programme for forest damage (OPS).*

Overvåking av markvegetasjon, epifyttiske vegetasjon og fauna

Programmet for terrestrisk naturovervåking (TOV) gjennomføres i hovedsak som integrerte studier av jord, vegetasjon og fauna i sju overvåkingsområder etablert på fastlandet i 1988-93 (henholdsvis ett i barskog i Solhomfjell og seks i bjørkeskog (se **Figur 31**). Her studeres kjemiske forhold i ulike økosystemkomponenter, foruten endringer i samfunns-, bestands- og reproduksjonsforhold hos dyr og planter. Områdene er valgt ut for å dekke hovedgradientene i belastninger av langtransporterte forurensninger i representative og viktige norske naturtyper, som samtidig er lite påvirket av andre

menneskelige aktiviteter. I tillegg til studier i overvåkingsområdene foretas landsomfattende og regionale kartlegginger av miljøgifter i utvalgte dyregrupper og tilstand for epifyttisk vegetasjon. For overvåkingskomponenter i TOV som ikke rapporteres her, henvises til samlerapporten DN (1997, kap. 3.1) for en redegjørelse av angrepsmåte og metoder for datainnsamling.

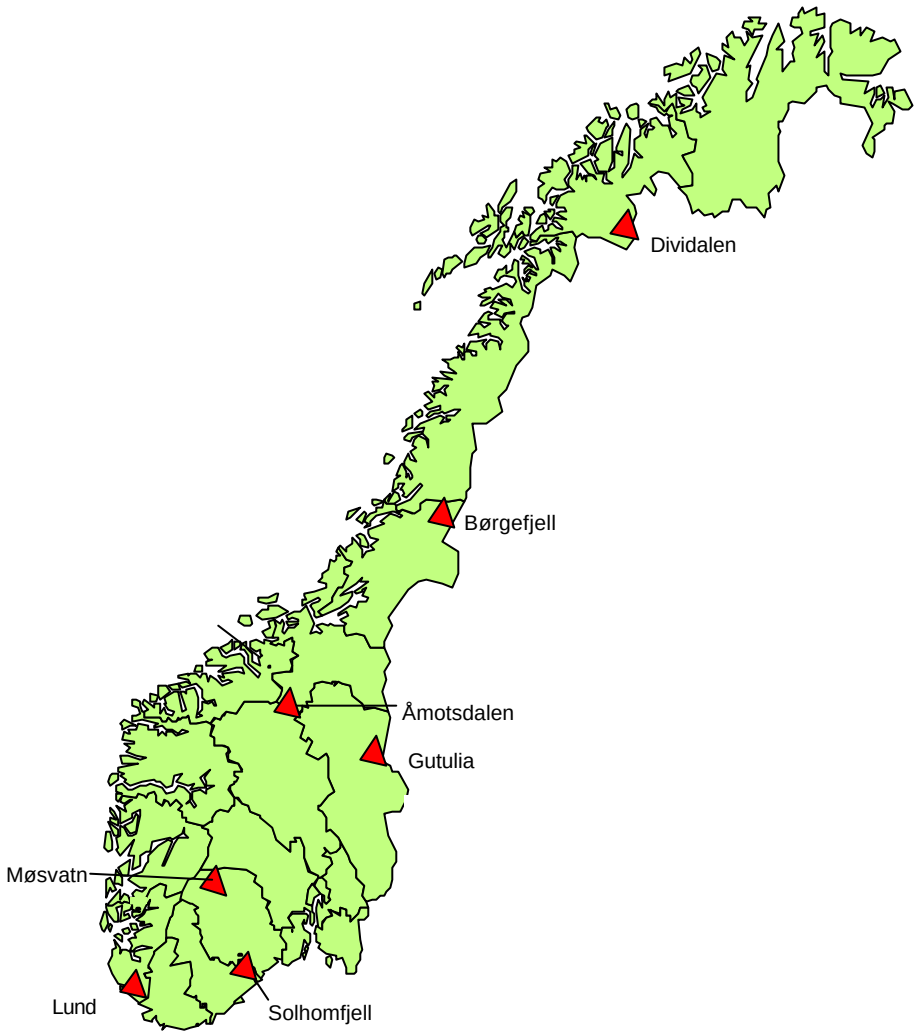
Vegetasjonen utgjør basis for næringskjeder i terrestriske økosystemer og integrerer effekter av nedbørskjemi, jordbunnsforhold og lokalklima. De mange artene av karplanter, moser og lav har et bredt spekter av responser på variasjoner i naturgitte og menneskeskapte miljøforhold. I hvert TOV-område registreres *markvegetasjonen* i (minst) 50 faste analyseruter à 1 m^2 lagt ut i forhold til hovedgradienter i lokal miljøvariasjon (jordas surhet og innhold av næringsstoffer), der artsforekomster kvantifiseres som forekomst i 16 småruter à 625 cm^2. I tilknytning til hver analyserute beskrives også tresjiktet, og det tas jordprøver for analyse av jordstruktur og -kjemi. Dataene analyseres ved hjelp av multivariate numeriske metoder (DCA, LNMDS o.a.) der strukturen i artsforekomstene relateres til miljøvariabler. Vegetasjonsundersøkelsene foregår med en rullerende frekvens på fem år for hvert område.

Lav er mye brukt som bioindikator på luftkvalitet, der tilbakegang av lavarter ofte kan knyttes til luftas innhold av svovelforbindelser eller til gjødslingseffekten av nitrogen. Sur nedbør påvirker også lavene indirekte gjennom forsuring av substratet. Lav har artsspesifikk reaksjon på ulike forurensningstyper. Forekomst og artssammensetning kan derfor gi et mål på luft- og nedbørkvaliteten i et område. I TOVs overvåkingsområder registreres tilstanden for epifyttisk vegetasjon (lav, moser, alger), ved kvantitativ karakterisering av artssammensetning, dekning og synlig skade på lav, på stammen av utvalgte trær (furu i Solhomfjell, bjørk i øvrige områder) i prøvefelt lagt ut i høydegradienter. Det blir også tatt prøver for kjemisk analyse (pH i bark, nitrogen og svovel i vanlig kvistlav). Registreringene foregår med en rullerende frekvens på fem år i hvert område.

Spurvefugler omfatter en rekke arter med ulike krav til habitat og næring. Som gruppe vil de kunne gi variert respons på ulike endringer i miljøet, inklusive forurensninger. Slike responser vil bl.a. kunne uttrykkes ved endringer i reproduksjon eller bestandsnivåer. I TOV-områdene undersøkes bl.a. endringer i hekkebestanden av spurvefugl ved hjelp av årlige takseringer i 200 faste punkter lagt ut i forhold til hovedgradienter i miljøforholdene i hvert overvåkings-område. I tillegg foretas årlige undersøkelser av klekkesuksessen hos svarthvit fluesnapper i 50 oppsatte fuglekasser i hvert område (i Lund, Solhomfjell, Gutulia og Åmotsdalen i 2002).

Rovfugler befinner seg på toppen av næringskjedene, de integrerer miljøgifter fra et omfattende geografisk område, og de er ansett for å være følsomme for påvirkning fra forurensninger, f.eks. ved redusert reproduksjon. I TOV undersøkes nivået av klororganiske stoffer og tungmetaller i egg og tykkelsen av eggskall hos flere arter av rovfugl, basert på landsomfattende innsamlinger og periodevise analyser (rapporteres ikke i år). Dette er internasjonalt mye brukte indikatorer på hunnfuglenes belastningsstatus ved starten av forplantningssesongen. Mulige effekter av akkumulerte miljøgifter studeres også ved å følge bestandsutvikling og reproduksjonssuksess hos kongeørn og jaktfalk i noen av overvåkingsområdene. Minst 10 territorier i hvert område takseres årlig ved at alle

kjente hekkeplasser innenfor et nærmere definert område oppsøkes, og ev. antall produserte unger blir registrert.



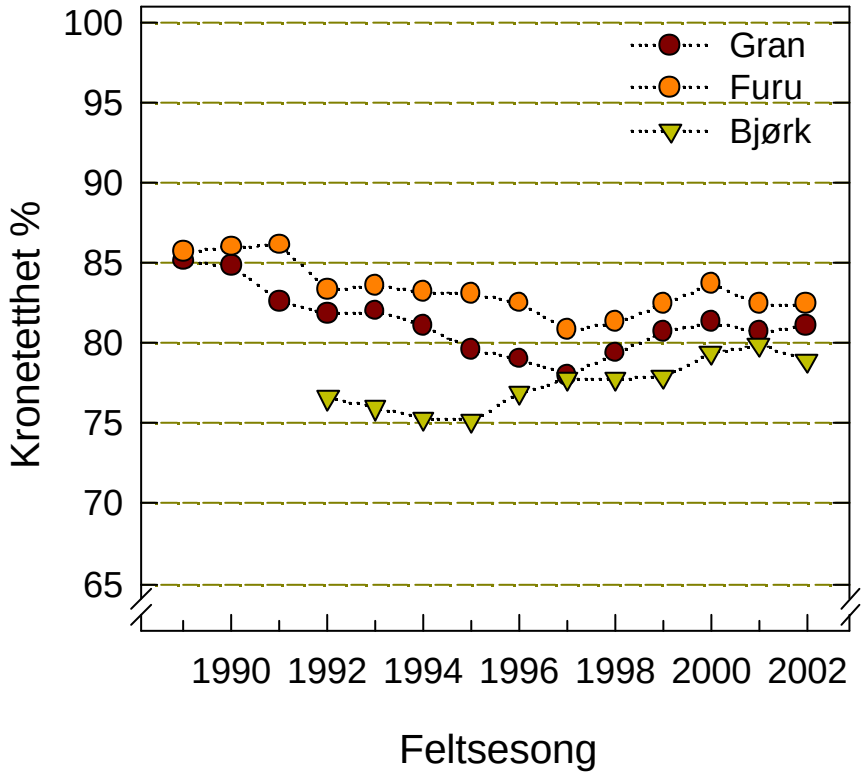
Figur 31. *Lokaliteter på fastlandet som inngår i programmet for terrestrisk naturovervåking (TOV).*
Figure 31. *Sites on the Norwegian mainland where monitoring of natural terrestrial ecosystems is conducted.*

4.1 Effekter på skog

Resultatene fra skogovervåkingen i Norge i 2002 viser at skogens helsetilstand, landet sett under ett, er lite endret fra 2001.

Kronevurderinger på landsomfattende flatenett og skogoppsynets overvåkingsflater
I 2002 ble 5755 bartrær og 1666 bjørketrær overvåket i den landsrepresentative overvåkingen. Disse trærne var fordelt på 1504 flater i hele landets skogareal. Gjennomsnittlig kronetetthet i 2002 var for gran 81.1%, furu 82.4% og for bjørk 78.9%. For gran representerte dette en økning på henholdsvis 0.3%-poeng. For furu var kronetettheten lik året før, mens den gikk ned med 1%-poeng for bjørk. Fra 1989 til 1997 var det en årlig nedgang i kronetetthet for gran og furu. Resultatene fra 1998 til 2000 brøt denne negative trenden. Siste års registrering viser en stabilisering av kronetettheten. Kronetettheten for bjørk har hatt en positiv utvikling siden 1994.

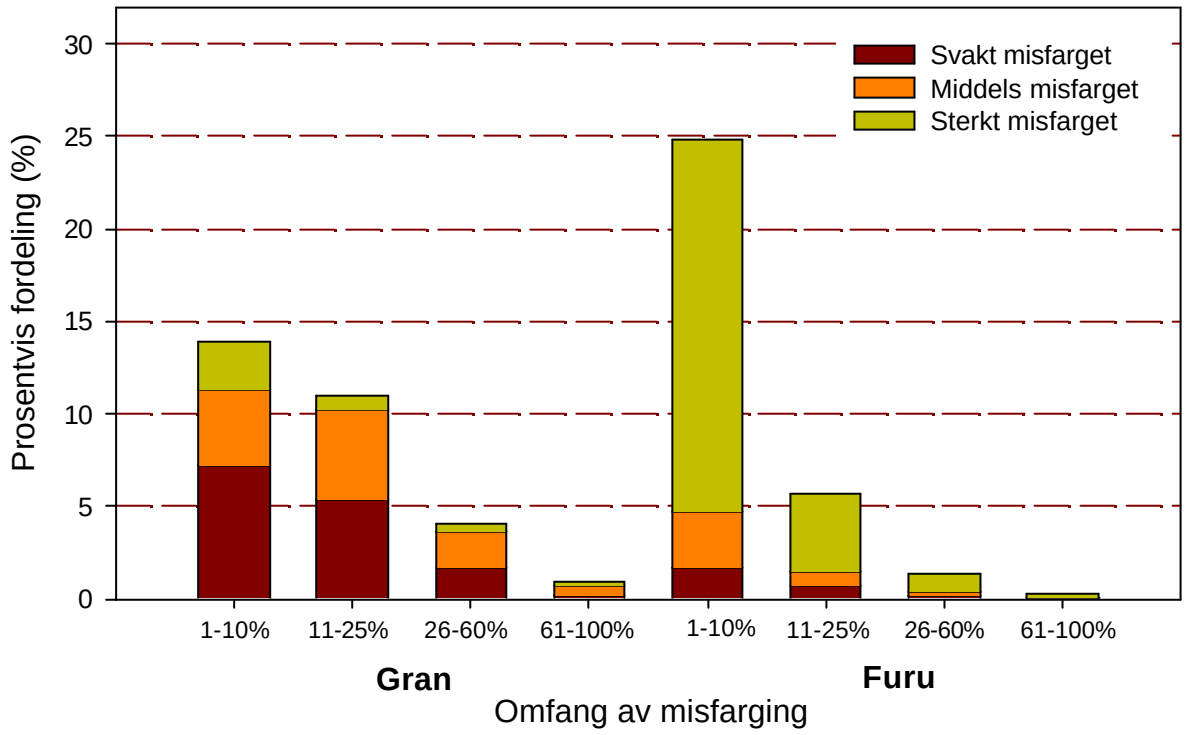
Eldre trær har generelt lavere kronetetthet enn yngre trær. Andelen trær med fulltette kroner var for gran 44.1%, for furu 30.6% som representerer en økning sammenlignet med året før, mens for bjørk er andelen 24.4% som representerer en reduksjon sammenlignet med resultatene for 2001. På skogoppsynets overvåkingsflater, 602 stykker med til sammen 35.000 trær, var det også en liten økning i kronetettheten for gran, men noe ned for furu, og som i foregående år ble særlig lav kronetetthet funnet i gammel granskog i Trøndelag.



Figur 32. *Utvikling i kronetetthet på landsrepresentative flater for gran, furu og bjørk. (For gran og furu er datagrunnlaget tilnærmet likt i perioden 1989 til 2000 og for 2001 og 2002).*
Figure 32. *Development of crown density for Norway spruce, Scots pine and birch for the national representative plots.*

Andelen grantrær med frisk grønn kronefarge var 69.8% i 2002, en økning på 12.1%-poeng sammenlignet med året før. Det er hovedsakelig eldre trær som er misfarget. Vi må tilbake til 1995 for å finne større andel trær med frisk grønnfarge. Furu er også blitt grønnere enn året før. Det er en økning på 10.3%-poeng til 67.9%. Dette kan skyldes at fjorårets angrep av furuas knopp- og greintørkesopp over store områder i Sør-Norge sommeren 2001 har avtatt. Tilsvarende resultater fremkommer også på skogoppsynets overvåkingsflater.For bjørk er det en reduksjon på 8.7%-poeng i andel friske, grønne trær sammenlignet med registreringene i 2001. Det var sensommertørke i lavlandet og masseangrep av bjørkerustsoppen i fjellet på Østlandet. Dette kan være med å forklare den økte andelen gule bjørketrær. Det er tidligere i overvåkingsperioden ikke registrert så stort omfang av misfarging på bjørk. På 34% av trærne ble det registrert lauvspisende insekter. Det er ikke registrert så store angrep på lauvet siden registreringene av slike skader startet i 1997.

Generelt sett ble det ikke registrert unormal skogdød i 2002. På landsbasis var dødeligheten i 2002 for gran 0.2% , furu 0.3% og bjørk 0.4%.



Figur 33. *Kronemisfarging for gran og furu, landsrepresentative flater. Prosentfordeling på grad og omfang av misfarging.*
Figure 33. *Percentage of Norway spruce and Scots pine in discoloration classes for the national representative plots.*

Skogøkologiske undersøkelser på intensive overvåkingsflater (ICP Forests Level II)
Skogens tilstand (kronetetthet, kronefarge, strøfall og skader) på de intensive flatene har som på de øvrige flatene vært stabil. I 2002 var det mindre nedbør på de fleste flatene (kronedrypp og frittfallende nedbør) sammenlignet med 1999-2001, derfor var tilførselen av forsurende stoffer stort sett lavere i 2001 og 2002 enn årene før (kap 2). Feltene sør i landet hadde generelt lavere pH og høyere konsentrasjoner av nitrat, ammonium og ikke-marint sulfat i deposisjon enn feltene i nord. Ett unntak var Svanhovd (som ligger nær den russiske industribyen Nikel) der ikke-marint nedfall av sulfat var relativt høy. Generelt har trendene i sulfatnedfallet vært avtakende sør i landet, og noenlunde konstant i nord siden 1990. Tidsrekkeanalyse har vist at sulfatkonsentrasjoner i nedbør og kronedrypp har blitt mindre. pH i jordvann har som i tidligere år vært generelt lavere sør i landet enn i nord. Det er uklart om dette skyldes sur nedbør elle naturlig surere jordsmonn i Sør-Norge. Sulfatkonsentrasjoner i jordvann viste i 2002 mindre tydelige regionale mønster enn i tidligere år. Nitratkonsentrasjoner i jordvann var som i tidligere år generelt lave, ofte nær deteksjonsgrensen. Tilførsel av sjøsalter er betydelig på de kystnære feltene, og gjenspeiles i Na- og Cl-konsentrasjoner i nedbøren og jordvannet. Risikoen for aluminiumtoksisitet synes generelt å være lav.

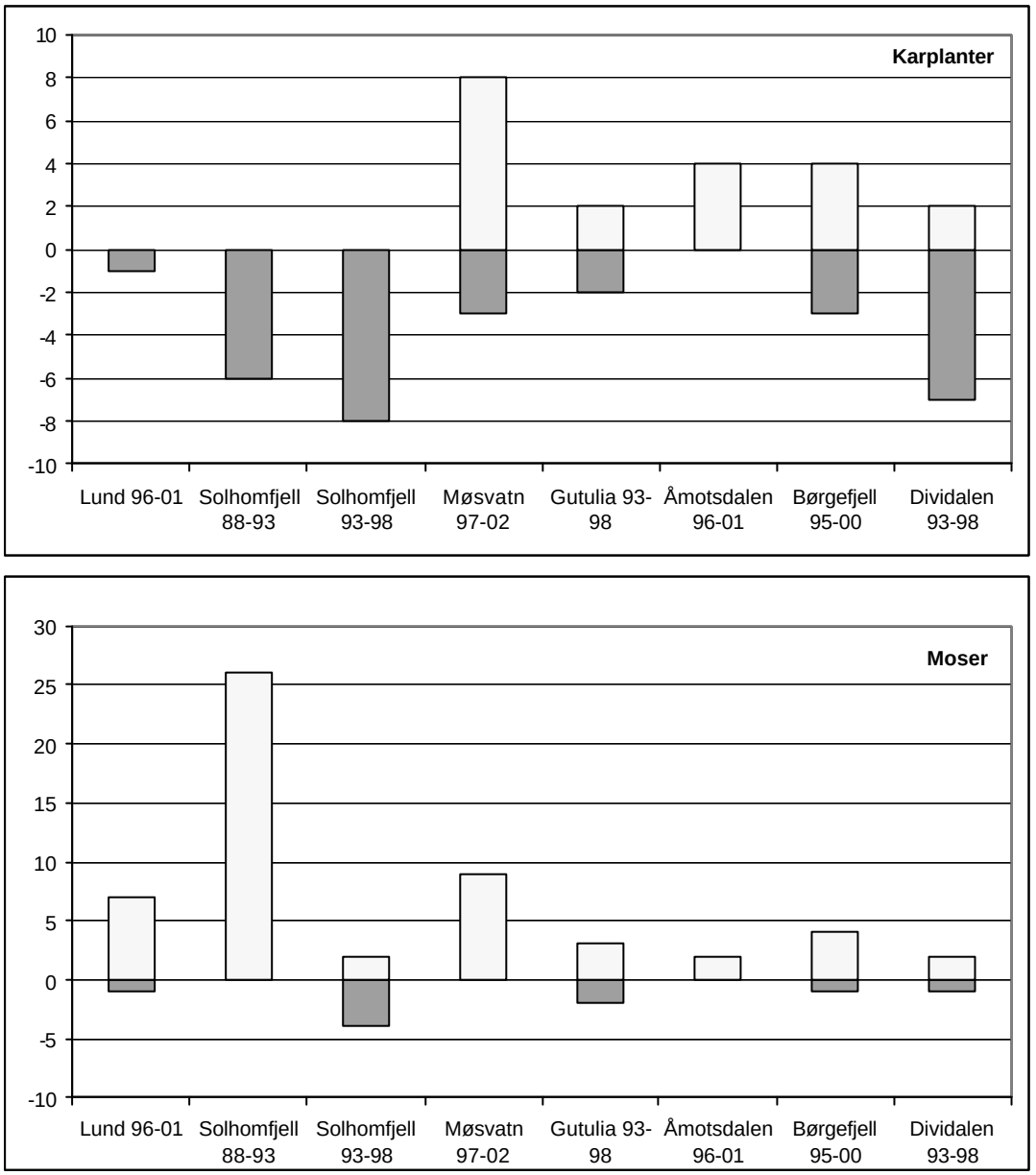
4.2 Effekter på markvegetasjon

Undersøkelsene av markvegetasjonen i bjørkeskog i Møsvatn-området viste signifikante endringer som dels kan være effekter av et mildere og fuktigere klima i observasjonsperioden enn normalt og dels effekter av angrep av bjørkemåler i foregående år. Men det er ikke påvist klare endringer i vegetasjonen som kan knyttes til forurensning i dette området. Studier av populasjonsøkologien til etasjemose i Solhomfjellområdet og flere av NIJOS sine overvåkingsområder i granskog i Sør-Norge viser fortsatt vekst for moser. En sammenfattende analyse av resultater fra overvåkingsområdene i regi av TOV og NIJOS i 2001 viste tilbakegang for karplanter knyttet til rike skogtyper i en del områder i Sør-Norge, og generelt sterk framgang for moser. Slike endringer kan knyttes til effekter av mildere og fuktigere klima for moser og mulige langsiktige effekter av forsuring for karplanter.

Vegetasjon i bjørkeskog
Ved utgangen av 2002 var markvegetasjonen i alle 6 overvåkingsområdene i bjørkeskog reanalysert etter at undersøkelsesdesignet ble justert i 1993 for å kunne følge og beskrive endringer i et bredt spekter av vegetasjonstyper. Resultatene fra reanalysene i fem av områdene er presentert i tidligere sammendragsrapporter. Her presenteres resultatene for vegetasjonsundersøkelsene i Møsvatn-området som omhandler tidsperioden 1997–2002. Dette området ligger utenfor de mest forurensningspåvirkete områdene i Sør-Norge.

I de 50 reanalyserte rutene fra Møsvatn i 2002 ble 137 arter registrert: 64 karplanter, 31 bladmoser, 24 levermoser og 18 lav. Dette er totalt noen flere arter enn i 1997 da 124 arter ble funnet. Det er signifikant framgang for antall mosearter, fra 44 arter i 1997 til 55 i 2002. Det ble funnet signifikant reduksjon i mengde (målt som frekvens) hos 3 karplanter (dunbjørk *Betula pubescens*, krekling *Empetrum nigrum* og blokkebær *Vaccinium uliginosum*) og islandslav (*Cetraria islandica*). Derimot viste 8 karplantearter (spesielt gullris *Solidago virgaurea* og skogstjerne *Maianthemum bifolium*) og 9 mosearter signifikant framgang (jf **Figur 34**). Det var også en betydelig økning i dekningsgraden for smyle (*Deschampsia flexuosa*).

I analysene av artssammensetning (ved ordinasjon) var det en generell tendens til at analyserutene hadde beveget seg mot høyere verdier langs akse 1 i diagrammet, dvs en utvikling i retning av en artssammensetning typisk for mer næringsrike forhold. Disse endringene reflekterer registrert tilbakegang for lite næringskrevende arter som krekling og blokkebær og framgang for arter som gullris, fugletelg (*Gymnocarpium dryopteris*) og myskegras (*Milium effusum*). Disse endringene og den registrerte sterke framgangen for smyle kan skyldes store angrep av bjørkemålere i foregående år (bedre lystilgang, gjødslingseffekt). Framgangen for moser kan skyldes et noe varmere og fuktigere klima i perioden, slik en også har sett i flere andre overvåkingsområder (jf nedenfor).



Figur 34. *Antall arter av henholdsvis karplanter og moser som viser signifikant framgang eller tilbakegang mellom første og annen gangs analyse (samt andre og tredje gangs analyse for Solhomfjell). Tallene bak lokalitetsnavnene angir årene som analyser ble gjort.*
Figure 34. *Number of species of vascular plants (above) and bryophytes (below) showing, respectively, increase and decrease in frequency between first and second census (as well as second and third census for Solhomfjell). The numbers behind the site names indicate the census years.*

Vegetasjon i barskog
Det ble ikke foretatt reanalyse av vegetasjon i de permanente prøveflatene i overvåkings-området Solhomfjell i 2002, men de årlige populasjonsbiologiske undersøkelsene av etasjemose (*Hylocomium splendens*) ble videreført i dette området samt i seks overvåkings-områder i granskog som inngår i NIJOS sin vegetasjonsøkologiske intensivovervåking. Den utviklingen som har pågått i Solhomfjell-området (liksom ellers i Sør-Norge) siden 1996, fortsatte fra 2001 til 2002. Det ble observert en økning på 7 % i populasjonsstørrelsen for etasjemose, og enkeltskuddene var store (om lag som i 1999 og 2000). Fra det første året med data (1989) til 2002 har etasjemosepopulasjonen i Solhomfjell-området økt med 170 %, mens enkeltskuddene i gjennomsnitt er nesten dobbelt så store. Utviklingen i siste femårsperiode tilskrives lange vekstsesonger, til dels med fuktig og mildt høstklima som har gitt grobunn for sterk mosevekst.

Samlete analyser av endringer i markvegetasjonen i overvåkingsområder
En felles analyse av vegetasjonsendringer i første 5-årsperiode etter etablering ble utført i 2001 (Økland et al. 2001) for overvåkingsflater i granskog (10 flater i regi av NIJOS sitt program "Overvåking av skogens sunnhetstilstand", 1 flate i regi av TOV) og bjørkeskog (3 av 6 flater i regi av TOV inngikk). Denne analysen er nå komplettert med resultater for de tre siste bjørkeskogsområdene og gir et bilde av geografiske mønstre i vegetasjons-endringer som kan knyttes til storskala påvirkningsfaktorer som langtransporterte luftforurensninger og klima. Karplanter i granskog, særlig på noe næringsrik grunn, har avtatt i mengde og antall arter i de sørligste delene av landet, noe som kan knyttes til langvarig jordforsuring og tilførsler av langtransporterte luftforurensninger. Eksempler på arter som fikk sine mengder redusert i flere av de sørligste/sørøstligste granskogsområdene er skogbunnsarter som fugletelg (*Gymnocarpium dryopteris*), gaukesyre (*Oxalis acetocella*), teiebær (*Rubus saxatilis*) og tyttebær (*Vaccinium vitis-idaea*). I granskogsområdene lenger nord økte disse artene enten signifikant i mengde (gaukesyre, fugletelg, tyttebær i enkelte områder) eller ingen signifikant endring ble observert. De fleste moseartene har gjennom 1990-tallet økt i mengde over det meste av Norge, noe som kan knyttes til klimaforhold som har vært særlig gunstige for mosevekst (lang vekstsesong, milde, lange høster). Eksempler på arter med mengdeøkning i flere områder er store skogsmoser som *Dicranum fuscescens*, *Dicranum scoparium*, *Polytrichum formosum*, *Plagiothecium undulatum* og *Pleurozium schreberi*.

4.3 Effekter på epifyttisk vegetasjon

Registreringer av epifytter på trestammer viser en klar sammenheng mellom forekomst og skadestatus og registrerte forurensningsbelastninger i nedbøren, både i forhold til geografiske variasjonsmønstre og ved endringer over tid. Det er registrert framgang i antall brunskjegg, som er en gruppe forurensningsfølsomme lavarter. I overvåkingsområdet Lund i Rogaland er det registrert en klar framgang av epifyttisk algevekst.

Den kartlagte epifyttvegetasjonen i alle de sju TOV-områdene (i Solhomfjell på furu, i øvrige områder på bjørk) domineres av arter typiske for fattigbarksamfunn som har forholdsvis lavt artsmangfold. Dette har bl.a. sammenheng med barkens pH-verdi, næringsstatus og struktur. Målinger av pH i bark viser verdier rundt 3,5 i de fleste TOV-områdene, men er høyere i de

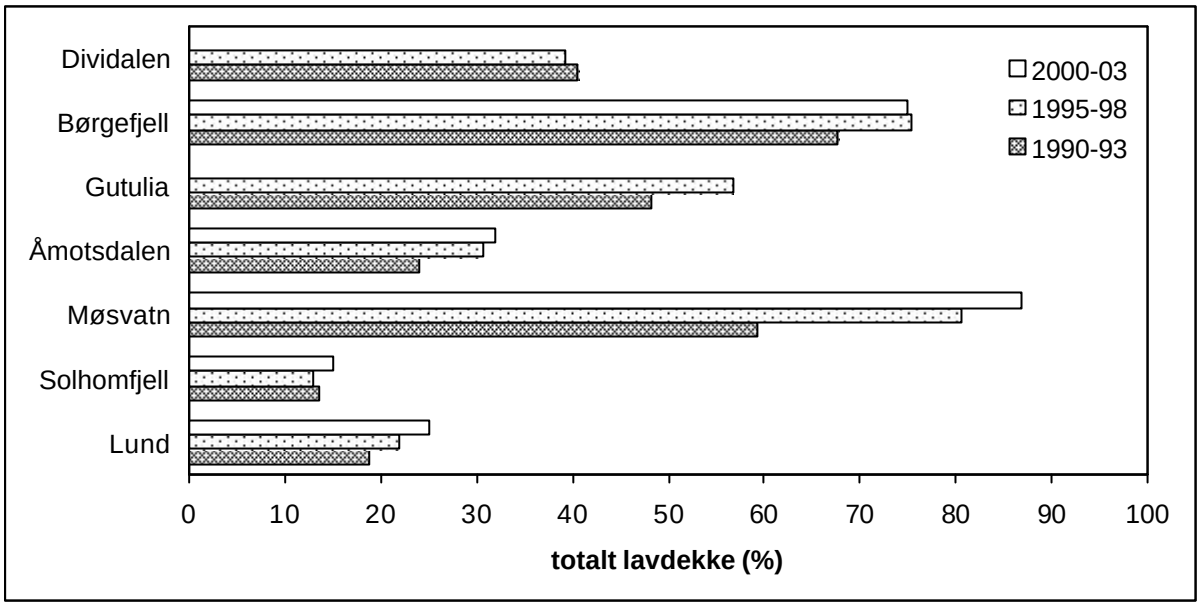
områdene som har størst sjøsaltpåvirkning (pH 4,0 og over i Børgefjell og i Lund). Totalt ble 94 taksoner (arter eller slekter) registrert på stammen av de utvalgte trærne i de sju TOV-områdene ved første og andre runde med kartlegging. Epifyttvegetasjonen i de fleste områdene er dominert av bladlavarter som vanlig kvistlav (*Hypogymnia physodes*), bristlav (*Parmelia sulcata*), snømållav (*Melanelia olivacea*) og gul stokklav (*Parmeliopsis ambigua*). Etter 2002 er epifyttvegetasjonen i Solhomfjell, Lund, Møsvatn, Åmotsdalen og Børgefjell undersøkt tre ganger, mens Gutulia og Dividalen er undersøkt to ganger.

Til tross for at overvåkingsområdet Lund i Rogaland ligger nær kysten i et område som klimatisk er antatt gunstig for vekst av lav, er lavvegetasjonen på stammer av bjørk sparsom (**Figur 35**). Dessuten er en stor andel av laven registrert som skadd (**Figur 36**). Lund skiller seg også ut som det eneste TOV-området med registrert algepåvekst på undersøkelsestrærne; totalt 34 % av det kartlagte stammearealet hadde algevekst over lav og never i 1991. Dette økte til 38,5 % i 1996 og til 53,1 % i 2001 (**Figur 37**). Dette blir tolket dels som en effekt av den høye nitrogentilførselen i området og dels som resultat av store nedbørsmengder, spesielt høsten 2000. Økt dekning av alger har ført til mindre naken bark, og trolig også til den registrerte nedgangen i dekning av bladlav (**Figur 37**).

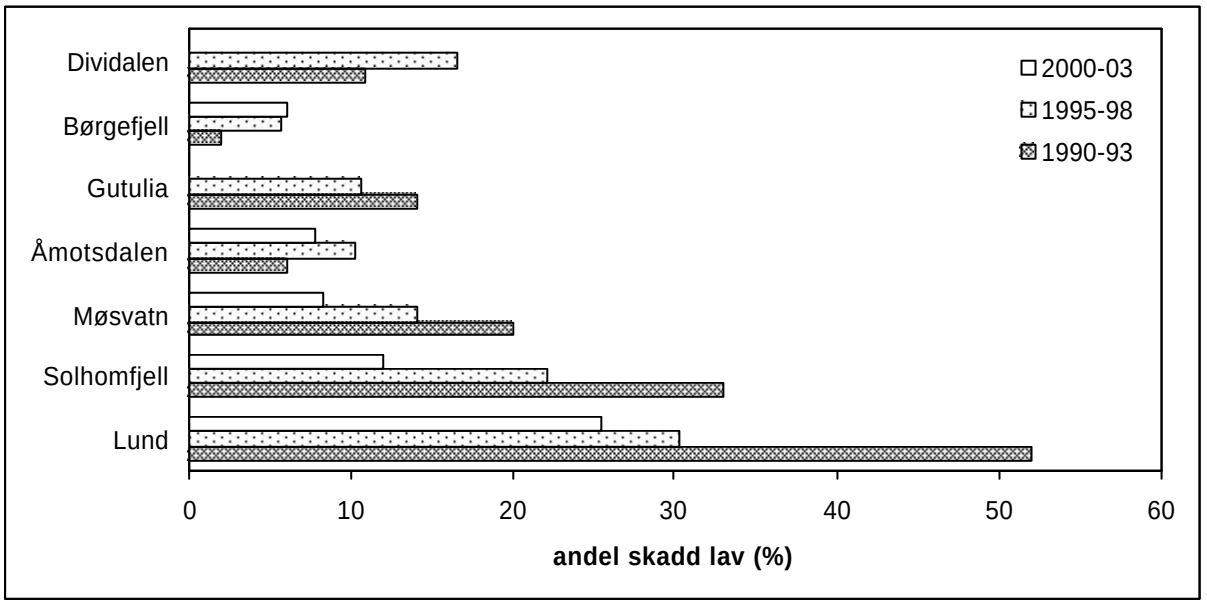
Åmotsdalen og Dividalen representerer de mest typiske fjellbjørkeskogsamfunnene når det gjelder epifyttisk lav, med stor dominans av snømållav. Total lavdekning er relativt liten i Åmotsdalen og Dividalen, trolig først og fremst av klimatiske årsaker. Vind og snø kan hindre lavens etablering og vekst både direkte og ved å forårsake større avflaking av never. Det er liten endring i epifyttvegetasjonen i Åmotsdalen fra 1996 til 2001 (**Figur 35** og **Figur 36**).

Det er mest lav på trestammene i Møsvatn, Gutulia og Børgefjell (**Figur 35**). Det frodige inntrykket i Gutulia og Møsvatn blir også understreket av de store forekomstene av brunskjegg (*Bryoria* spp.), arter som er følsomme for forurensninger. Lang skoglig kontinuitet og beskyttet habitat, samt innslag av furuskog, kan være med på å forklare de store forekomstene av brunskjegg og det store artsmangfoldet. Spesielt i Møsvatn-området har brunskjegg vist tydelig framgang, fra 1,8 % dekning i 1992 til 15,5 % dekning i 2002. Slik framgang for brunskjegg blir tolket som en respons på nedgangen av svovel i luft og nedbør de siste 10-årene.

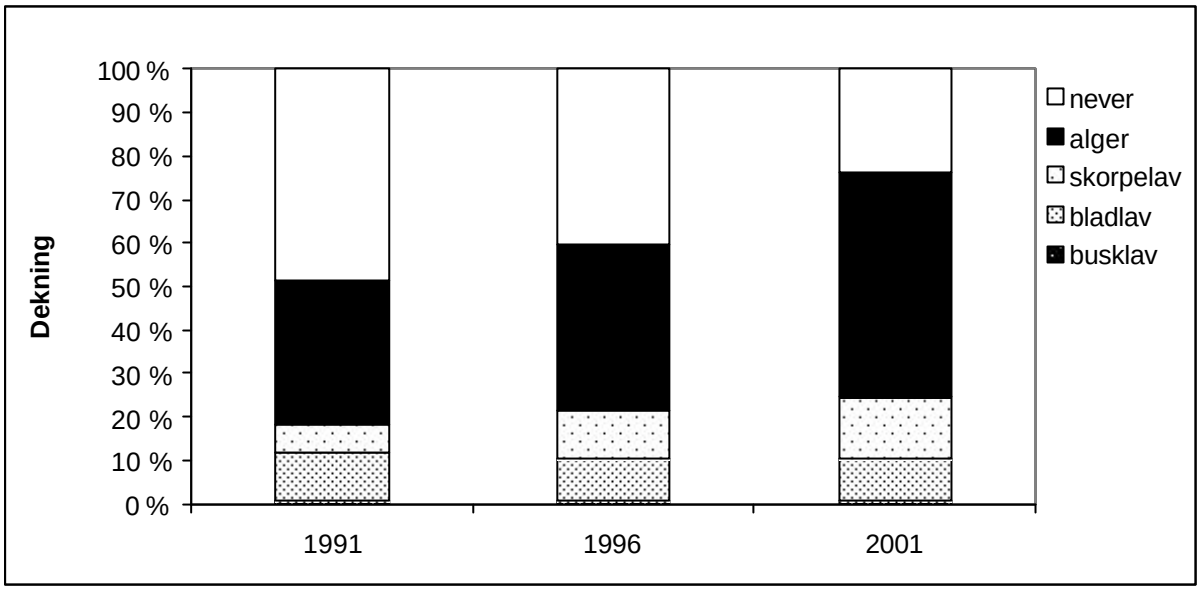
Det er registrert høyere lavdekning på trærne ved andre og tredje gangs kartlegging i TOV-områdene. Økt lavdekning kan skyldes en kombinasjon av naturlig suksesjon ved at skogen blir eldre, og at sammensetningen av nedbøren eller klimaet har blitt gunstigere for lavvekst. Mindre svovelinnhold og mer nitrogen kan virke positivt på epifyttvegetasjonen. I Lund er det heller ikke ved tredje kartlegging registrert brunskjeggarter. Slik sett reflekterer gjentatte lavregistreringer en klar sammenheng mellom lavenes forekomst og skadestatus og registrerte forurensningsbelastninger i nedbøren, både i forhold til geografiske variasjonsmønstre og ved endringer over tid.



Figur 35. *Dekningen av epifyttiske lav på prøvetrær i overvåkingsområdene for første periode (1990-93) og ved gjenanalyse (1995-98, 2000-02), angitt som total dekning av lav i prosent av kartlagt stammeareal.*
Figure 35. *Cover of epiphytic lichens on sample trees in the monitoring areas for the first period (1990-93) and at re-analysis (1995-98, 2000-02), given as total lichen cover in per cent of mapped trunk area.*



Figur 36. *Andel skadet lav på prøvetrær i overvåkingsområdene for første periode (1990-93) og ved gjenanalyse (1995-98, 2000-02), angitt som prosent av total registrert lavdekning.*
Figure 36. *Proportion of damaged lichens on sample trees in the monitoring areas for the first period (1990-93) and at re-analysis (1995-98, 2000-02), given as per cent of total censused lichen cover.*

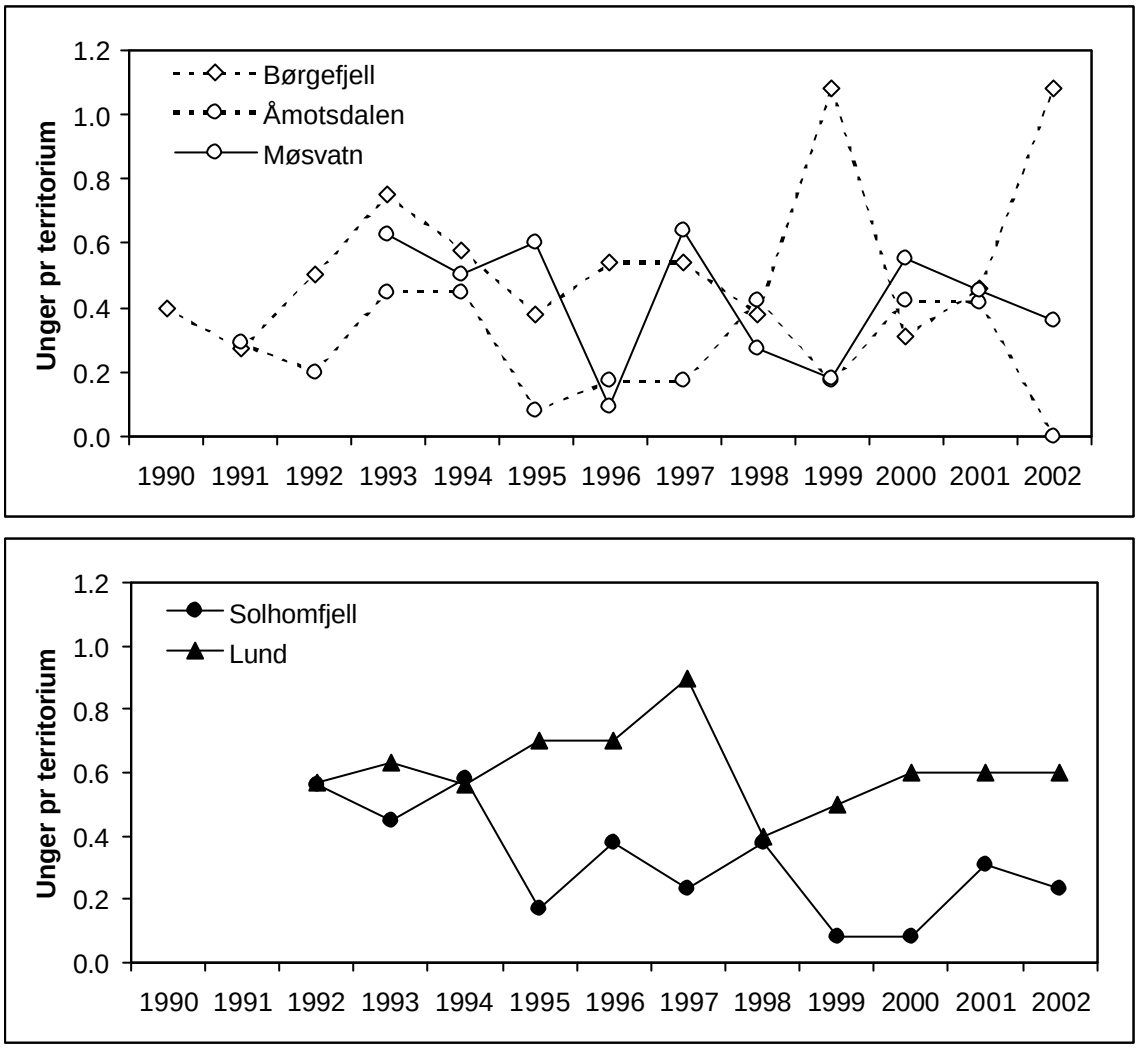


Figur 37. *Fordeling av naken bark og ulike epifyttgrupper på stammen av bjørk i Lund 1991, 1996 og 2001, gitt som prosentvis dekning.*
Figure 37. *Distribution of naked bark (never), aerophytic algae (algar), crustose lichens (skorpelav), foliose lichens (bladlav) and fruticose lichens (busklav) on Betula pubescens trunks in Lund 1991, 1996 and 2001.*

4.4 Effekter på fauna

Overvåkingen av rovfugl (kongeørn og jaktfalk) viser god produksjon også i de forurensede områdene i Sør-Norge. Det er ingen tegn til forurensningseffekter på spurvefugl. For spurvefugl er det heller ingen tegn til vesentlig annerledes bestandsvariasjoner i disse områdene enn i nord, men svarthvit fluesnapper har vist lavere reproduksjonssuksess enkelte tidligere år i områdene i Sør-Norge.

Rovfugl
Reproduksjonssuksess hos kongeørn og jaktfalk er generelt sterkt avhengig av tilgang på føde, dvs. forekomst av hønsefugler og hare for kongeørn og ryper for jaktfalk. For kongeørn vil imidlertid også tilgangen på kadaver fra vilt og husdyr kunne være en viktig føderessurs. Resultatene fra overvåkingsområdene viser betydelig variasjon fra år til år i reproduksjonssuksessen til kongeørn, noe som ofte kan relateres til variasjon i tilgangen på næring. Dette mønsteret er enda mer utpreget for jaktfalk. Overvåkingen av kongeørn og jaktfalk i perioden 1991–2002 har vist ungeproduksjon innenfor normal variasjon for alle de undersøkte bestandene. Produksjonen av kongeørnunger er ikke vesentlig annerledes for de sørlige, forurensningsbelastete overvåkingsområdene Lund og Solhomfjell enn for de nordlige områdene Åmotsdalen og Børgefjell (**Figur 38**). Selv om ungeproduksjonen hos kongeørn i Solhomfjell har ligget lavt i noen av de siste årene, er det i lengre perspektiv ingen indikasjoner på at dagens forurensningsbelastninger påvirker ungeproduksjonen for kongeørn. Overraskende lav produksjon enkelte år både i Åmostdalen og Solhomfjell tilsier imidlertid et behov for nærmere vurdering av mulige årsaker til dette.

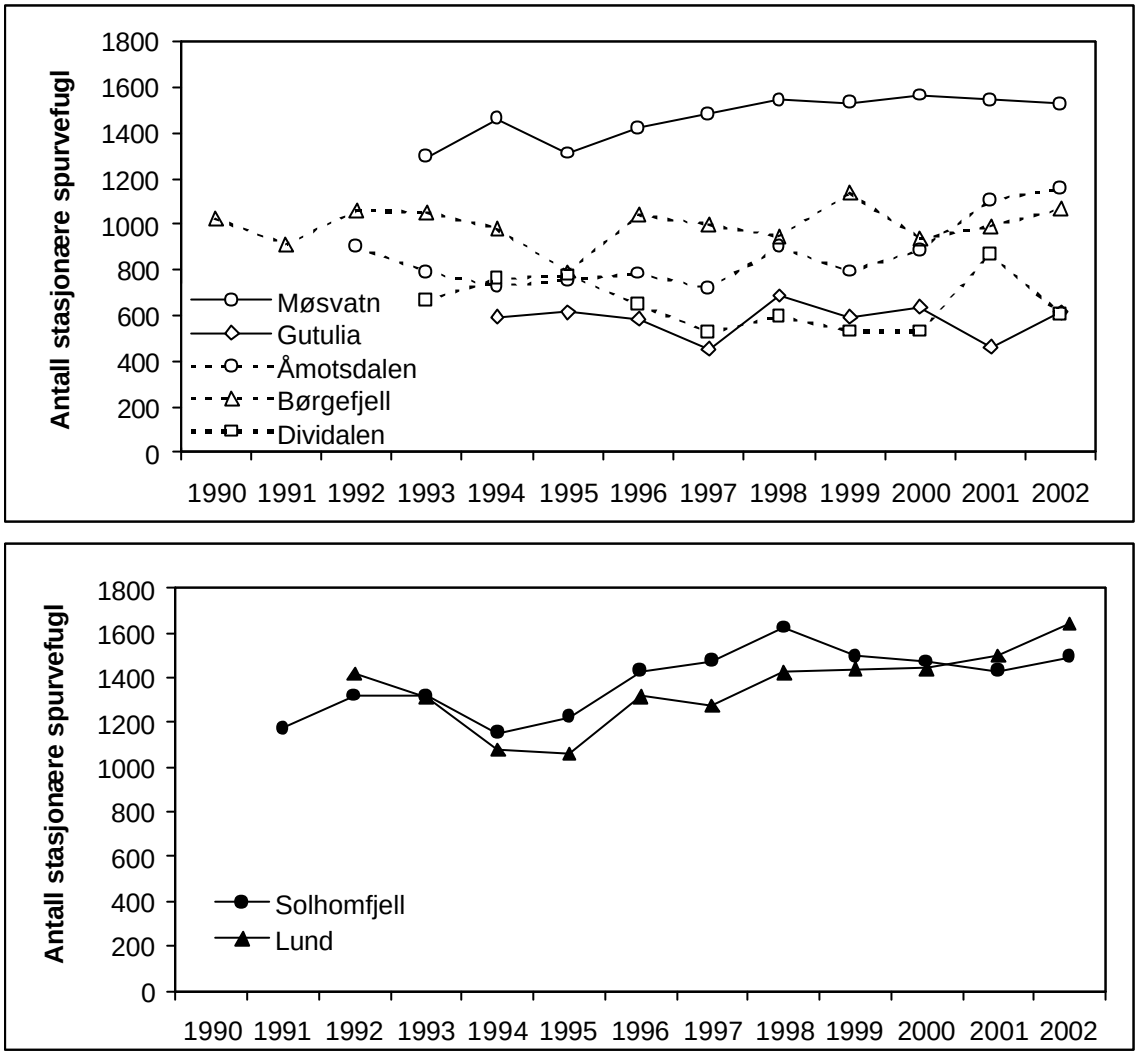


Figur 38. *Ungeproduksjon pr undersøkt territorium hos kongeørn i TOV-områder 1990–2002.*
Figure 38. *Production of young per investigated territory of golden eagles in the monitoring areas 1990–2002.*

Spurvefugler

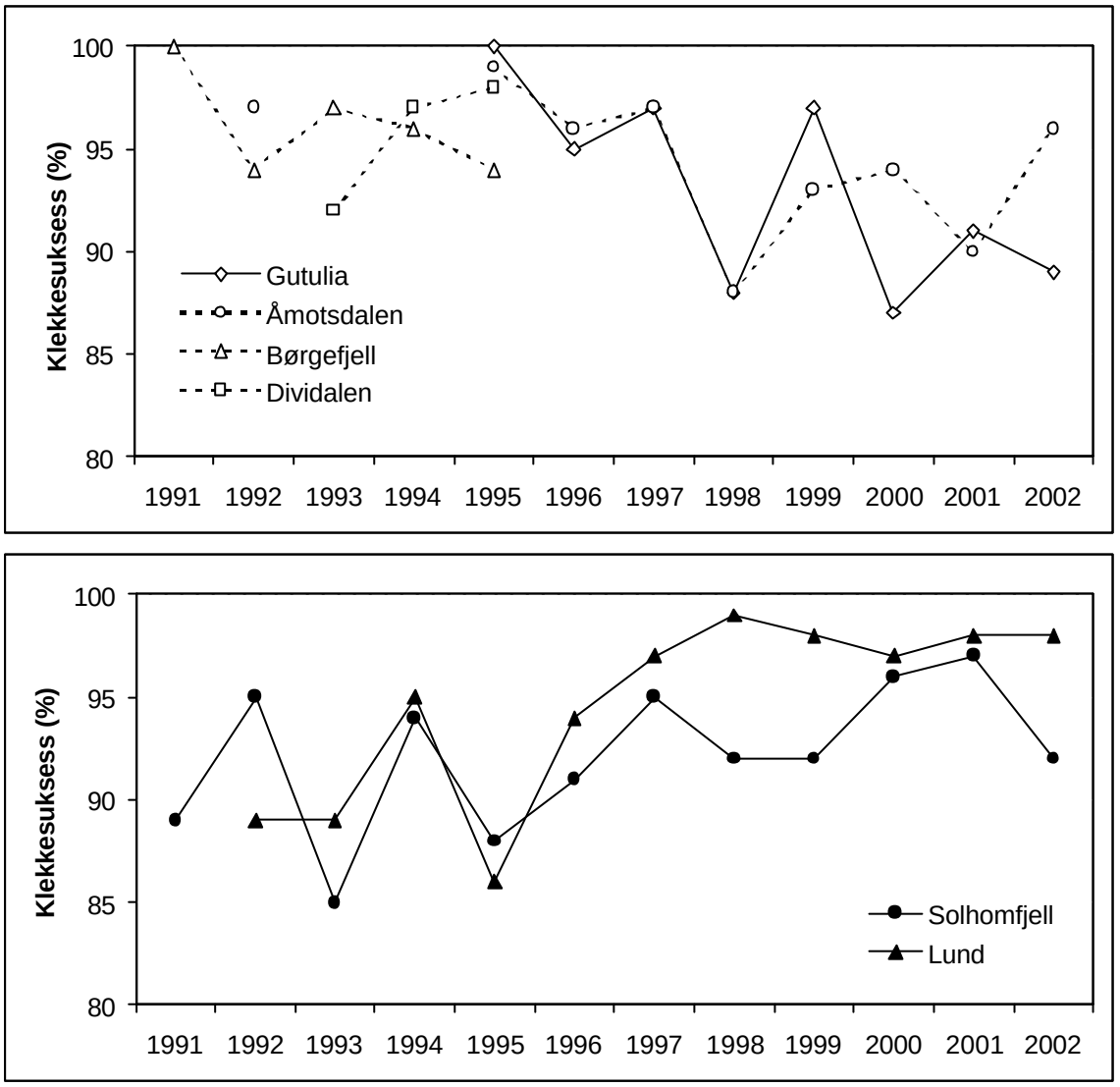
Spurvefuglartene i overvåkingsområdene er i hovedsak knyttet til nordboreale og alpine økosystemer der artsantallet er betydelig lavere enn i mellom- og sørboreale økosystemer. De sørligste områdene, Lund og Solhomfjell, inkluderer en større andel mellom- og sørboreale økosystemer, men det er likevel stor grad av likhet i spurvefuglfaunaen for TOV-områdene. Etter 2002-sesongen finnes tidsserier for bestandsutviklingen for spurvefugl på 9–13 år i de ulike områdene, noe som gir grunnlag for å vurdere utviklingen av spurvefuglbestander i boreal skog. Noen få av de aktuelle fugleartene, f.eks. bjørkefink og gråsisik, viser særlig stor bestandsvariasjon mellom år og områder og har en 'invasjonspreget' forekomst. Hvis vi utelater observasjoner av slike arter, viser taksеringene at de sørlige områdene (Lund, Solhomfjell, Møsvatn) generelt har flere observasjoner av spurvefugl enn de nordlige (**Figur 39**). Ut fra områdenes generelle produktivitet er dette som forventet. Bestandsendringene til slike mer 'stasjonære' arter over tid tyder ikke på at det er

vesentlige forskjeller mellom sørlige og nordlige områder. Det er altså ikke noe som tyder på at høyere forurensningsbelastning i sørlige områder har påviselige effekter på bestandsnivåer av spurvefugl i boreal skog for perioden 1990–2002.



Figur 39. *Bestandsendringer hos 'stasjonære' spurvefugler i TOV-områdene 1990–2002.*
Figure 39. *Changes in the populations of regular, territorial passerine birds in the monitoring areas 1990–2002.*

For reproduksjonsovervåkingen for svarthvit fluesnapper finnes det nå dataserier for flere år fra både sørlige (mye belastede) og nordlige (lite belastede) overvåkingsområder. Klekkesuksessen, målt ved andel klekte egg i forhold til lagte egg, viser noe variasjon fra år til år i de fleste områdene (**Figur 40**). I den første delen av overvåkingsperioden (1991-96) kan det se ut til at de sørlige områdene Lund og Solhomfjell hadde lavere klekkesuksess enn de nordlige. Siden 1997 har imidlertid klekkesuksessen ligget vel så høyt i sørlige som i nordlige områder. Overlevelsen av unger fra klekte egg til flygedyktig alder har (med få unntak) vært relativt høy (minst 92%) for alle år og områder.



Figur 40. *Klekkesuksess hos svarthvit fluesnapper i TOV-områder 1991–2002, angitt som klekte egg i prosent av lagte egg i kull som ikke er helt ødelagt.*
Figure 40. *Hatching success of pied flycatchers in the monitoring areas 1991–2002, given as hatched eggs in per cent of laid eggs in clutches which have not been entirely destroyed.*

Norsk institutt for vannforskning

RAPPORT

Hovedkontor
Postboks 173, Kjelsås
0411 Oslo
Telefon (47) 22 18 51 00
Telefax (47) 22 18 52 00

Sørlandsavdelingen
Televeien 3
4879 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 30 22 51

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

Internet: www.niva.no

Tittel	Løpenr. (for bestilling)	Dato
Overvåking av langtransporterte forurensninger 2002 Sammendragsrapport	4692-2003	23.06.2003
	Prosjektnr. Undernr. TA 1969/2003 SFT 878/2003	Sider Pris 77

Forfatter(e)

Redaktør:
Brit Lisa Skjelkvåle (NIVA)

Bidragsytere:
Ann Kristin Schartau (NINA)
Arne Fjellheim (LFI, UIB)
Bjørn Walseng (NINA)
Brit Lisa Skjelkvåle (NIVA)
Dan Aamlid (Skogforsk)
Erik Framstad (NINA)
Gro Hylen (NIJOS)
Gunnar Halvorsen (NINA)
Gunnar R. Raddum (LFI, UIB)
Inga Elise Bruteig (NINA)
John Atle Kålås (NINA)
John Y. Larsson (NIJOS)
Kjell Andreassen (Skogforsk)
Liv Bente Skancke (NIVA)
Nicholas Clarke (Skogforsk)
Randi Saksgård (NINA)
Rune Halvorsen Økland (NIJOS)
Stein Manø (NILU)
Sverre Solberg (NILU)
Tor Traaen (NIVA)
Tore Høgåsen (NIVA)
Torunn Berg (NILU)
Trygve Hesthagen (NINA)
Vegar Bakkestuen (NINA)
Wenche Aas (NILU)

Fagområde	Geografisk område	Distribusjon	Trykket
Overvåking	Norge		NIVA

Oppdragsgiver(e)	Oppdragsreferanse
Statens forurensningstilsyn Direktoratet for naturforvaltning Landbruksdepartementet	

Sammendrag

Rapporten presenterer sammendrag av resultatene for 2002 fra tre overvåkingsprogrammer: "Overvåking av langtransportert forurenset luft og nedbør", "Overvåkingsprogram for skogskader" (OPS) og "Program for terrestrisk naturovervåking" (TOV).

Fire norske emneord	Fire engelske emneord
1. Overvåking	1. Monitoring
2. Luftforurensning	2. Air pollution
3. Akvatisk miljø	3. Aquatic environment
4. Terrestrisk miljø	4. Terrestric environment

Brit Lisa Skjelkvåle
Prosjektleder

Nils Roar Sælthun
Forskningssjef

ISBN 82-577-4360-7