

Hovedkontor

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

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

Tittel Vurdering av atmosfærisk fosforavsetning i sørøst-Norge	Løpenr. (for bestilling) 4310 - 2000	Dato 05.12.2000
	Prosjektnr. Undernr. 99093 98418	Sider Pris 33
Forfatter(e) Tone Jøran Oredalen (NIVA) Wenche Aas (NILU)	Fagområde VASSDRAG	Distribusjon
	Geografisk område Telemark, Aust-Agder	Trykket NIVA

Oppdragsgiver(e) Statens Forurensningstilsyn	Oppdragsreferanse 2000071
---	------------------------------

<p>Sammendrag</p> <p>I en rekke sammenhenger tilknyttet vassdragsforvaltning, og naturforvaltning generelt, har det vært etterlyst gode estimater på avsetning av fosfor via nedbøren i Norge. I dette arbeidet er det målt tørr og våt avsetning av fosfor på to stasjoner i sørøst-Norge over ett år. Den totale fosforavsetningen var i størrelsesorden 15-17 mg P/m² år for begge stasjonene. Våtavsetningen utgjorde ca. 80% av den total avsetningen. Disse estimatene er lavere enn gjeldende veiledende verdier i Norge.</p>

<p>Fire norske emneord</p> <ol style="list-style-type: none"> Våtavsetning Tørravsetning Fosfor Metodevurdering 	<p>Fire engelske emneord</p> <ol style="list-style-type: none"> Wet-deposition Dry-deposition Phosphorus Methods
---	--

Program: Naturens Tålegrenser

**Vurdering av atmosfærisk fosforavsetning
i sørøst-Norge**

Forord

Undersøkelsen "Vurdering av atmosfærisk fosforavsetning i sørøst-Norge" har vært gjennomført i samarbeid mellom Norsk institutt for luftforskning (NILU) og Norsk institutt for vannforskning (NIVA). Prosjektet er en naturlig oppfølging av forprosjektet "Deposisjon av fosfor i Norge - status, vurdering av behovet for kartlegging og forslag til gjennomføring", utført av Anja Skiple (NIVA) og Anke Lükewille (NILU). Arbeidet er finansiert av Statens forurensningstilsyn (SFT) gjennom programmet Naturens Tålegrenser, samt av de to utførende institusjoner - NILU og NIVA.

NILU har vært ansvarlig for etablering og drift av nedbørstasjonene, samt innsamling av prøver. NIVA har foretatt de kjemiske analysene på innsamlet materiale. Rapporten er utarbeidet i fellesskap av prosjektleder på NILU, Wenche Aas og NIVAs prosjektleder Tone Jøran Oredalen. I den forbindelse vil vi takke for nyttige kommentarer og innspill fra kolleger på NILU: Kjetil Tørseth og Arne Semb, og på NIVA: Dag Berge, Bjørn Faafeng, Brit Lisa Skjelkvåle og Anne Lyche Solheim.

Oslo, 04.12.2000

Tone Jøran Oredalen

Innhold

Sammendrag	5
Summary	6
1. Innledning	7
2. Stasjonsbeskrivelse og metoder	8
2.1 Stasjoner	8
2.1.1 Møsvatn	8
2.1.2 Birkenes	9
2.2 Feltmetoder	9
2.2.1 Nedbør	9
2.2.2 Luft	9
2.3 Kjemiske analyser	10
2.3.1 Vannkjemiske analyser	10
2.3.2 Filteranalyser	10
2.4 Databehandling	10
2.4.1 Beregning av våtavsetning	10
2.4.2 Beregning av tørravsetning	10
3. Resultater	12
3.1 Våtavsetning	12
3.2 Tørravsetning	13
4. Diskusjon	15
4.1 Vurdering av resultatene	15
4.2 Sammenligning med dagens estimater	16
4.3 Betydning av fosforavsetning for eutrofiering og forsurening	17
5. Referanser	21
Vedlegg A. (referanser til tabell nr. 1)	24
Vedlegg B. Analysemetoder	25

Sammendrag

I en rekke sammenhenger tilknyttet vassdragsforvaltning, og naturforvaltning generelt, har det vært etterlyst gode estimater på atmosfærisk avsetning av fosfor i Norge. Dette gjelder spesielt fra instituttene NIVA, NINA, NISK og Jordforsk. Det har vært utført noen få undersøkelser av fosforavsetning i Norge, for det meste på 1970-tallet. Ulike metoder har vært brukt, og resultatene er derfor vanskelig å sammenligne. Hvordan atmosfærisk tilførsel varierer fra region til region, mellom ulike høydesoner gjennom året, er ennå ikke avklart.

Målsetningen for dette prosjektet har derfor vært å:

- Beregne våt- og tørravsetning av fosfor på to stasjoner for å teste ut metoder, og sammenligne resultatene med pågående målinger av nedbørkjemi. Av spesiell interesse er å vurdere i hvilken grad fosfor tilføres fra mer fjerntliggende kildeområder sammenlignet med lokale kilder.
- Kartlegge årstidsvariasjonen i P-avsetningen og hvordan den varierer med høyde over havet.
- Vurdere og eventuelt justere eksisterende avsetningsverdier, samt vurdere hvilken betydning P-avsetning kan ha innen eutrofiering og forsurening.

Arbeidet har omfattet parallelle målinger av tørr- og våtavsetninger i ett år på Birkenes i Aust-Agder og ved Møsvatn i Telemark. Prøvetakingsfrekvensen har vært ukentlig og innsamlingsperioden var fra 1. september 1999 til 31. august 2000.

Konklusjonene er, ut fra de målinger som er gjort og de bakgrunnsdataene som er vurdert, som følger:

- Den totale fosforbelastningen er i størrelsesorden 15-17 mg P/m² år for de undersøkte stasjonene. Våtavsetningen er fordelt over hele året og utgjør ca. 80% av totalavsetningen. Tørravsetningen er konsentrert til perioden mai til november. Målingene viser ingen signifikant forskjell i total fosforavsetning på Møsvatn og Birkenes, som ligger hhv. 919 og 190 m.o.h.
- De viktigste fosforkildene på de undersøkte stasjonene er lokale kilder i form av biologisk materiale og jordstøv. Flygeaske anses å være av mindre betydning.
- Estimaterne for tørr- og våtavsetning av fosfor i sørøst-Norge er lavere enn eksisterende veiledende verdier for atmosfærisk avsetning (20-35 mg P/m² år), men samsvarer godt med målinger foretatt i Sverige og Danmark.
- Bidraget fra nedbør vil ikke være utslagsgivende for eutrofieringssituasjonen i sjøer/vassdrag som har relativt høy næringsbelastning fra før, og som har vesentlige bidrag fra annen menneskelig aktivitet.
- Eksisterende datagrunnlag på fosforavsetning og innsjømorfologi er mangelfullt i referansesjøer og lite påvirkete områder - der effekten av tilførsler fra nedbør forventes å være størst. Innsjøer som er påvirket av menneskelig aktivitet er overrepresentert i de undersøkelsene der det er gjort beregninger av tilførsler til norske vassdrag.
- Fosforavsetning via nedbør er trolig en viktig faktor, sammen med økt tilgjengelighet av nitrogen, i forbindelse med økt begroing i forsursutsatte fjellområder. Sammenhengene her er ennå ikke klarlagt.
- For å få et bedre vurderingsgrunnlag for atmosfærisk tilførsel av fosfor for ulike naturtyper og i ulike deler av landet, bør avsetningen måles på et utvalg stasjoner i ulike landsdeler over en lengre periode. Vi foreslår en måleperiode på minst 3 år for å fange opp naturlige variasjoner mellom forskjellige år.

Summary

Title: Evaluation of atmospheric phosphorus deposition in the south east of Norway
Year: 2000
Author: Tone Jøran Oredalen & Wenche Aas
Source: Norwegian Institute for Water Research, ISBN No.: ISBN 82-577-3941-3

The lack of good estimates on atmospheric phosphorus deposition in Norway has been pointed out in investigations connected to nature- and water management. A few investigations on phosphorus deposition have been carried out in Norway, mainly during the late 1970's. Due to the use of different methods, comparison of the results from these investigations is difficult. Variation in P-deposition between different regions and height above sea level has not yet been revealed.

The main objective with this investigation has been to:

- Estimate the dry- and wet deposition of P at a few stations to test the methods used, and to compare the results with ongoing measures of chemical components in precipitation.
- See if and how P-deposition varies within an annual cycle, and with height above sea level.
- Evaluate, and if necessary, adjust existing deposition coefficients.
- Evaluate effects of P-deposition on eutrophication and acidification.

The survey included measurements of dry- and wet deposition in one year at two stations in southern Norway: Birkenes (Aust-Agder) and Møsvatn (Telemark). Samples were taken weekly during the period 01.09.1999 to 31.08.2000.

The conclusions, based on measurements and evaluation of existing data, are as follows:

- The total phosphorus deposition at the two stations was 15-17 mg P/m² year. The wet deposition was distributed throughout the year, and contributed to 80% of total P-deposition. Dry deposition was limited to the summer period, May to November. There were no significant differences in phosphorus deposition at Møsvatn (altitude 919 m.a.s.l.) and Birkenes (altitude 190 m.a.s.l.).
- The main sources of phosphorus at the two stations are biological material and soil dust. Fly ash tends to be of less importance.
- The estimates of dry and wet deposition in the south east of Norway is lower than the existing guidelines of atmospheric deposition (20-35 mg P/m² year), but corresponds well with measurements from Sweden and Denmark.
- Contribution from atmospheric P-deposition is not of vital importance for the eutrophication situation in lakes and river systems that already have a high nutrient load.
- There is insufficient data available on phosphorus deposition from reference lakes and remote, undisturbed areas - where we expect the effect of deposition to be highest. Lakes and water streams influenced by human activities is over-represented in the investigations where calculations of nutrient loading is worked out.
- Phosphorus deposition is probably an important factor, in addition to the increased availability of nitrogen, to the increased algal growth in acidified mountain streams. The causal relationship here is not clarified.
- To achieve a better understanding of phosphorus deposition for different localities and areas of the country, we suggest measuring of deposition in different provinces for a period of 3 years. That will also make it possible to reveal natural annual variations.

1. Innledning

I en rekke sammenhenger tilknyttet vassdragsforvaltning, og naturforvaltning generelt, har det vært etterlyst gode estimater på atmosfærisk avsetning av fosfor i Norge. Dette gjelder spesielt fra instituttene NIVA, NINA, NISK og Jordforsk. Det har vært utført noen få undersøkelser av fosforavsetning i Norge, for det meste på 1970-tallet. Ulike metoder har vært brukt, og resultatene er derfor vanskelig å sammenligne. Hvordan atmosfærisk tilførsel varierer fra region til region, mellom ulike høydesoner gjennom året, er ikke avklart.

Man regner vanligvis med tre ulike hovedkilder for atmosfærisk fosfor:

- i. jordstøv som inneholder fosfat
- ii. industriutslipp som for eksempel flygeaske fra forbrenning av kull
- iii. Biologisk materiale som pollen, insekter o.a. som inneholder organisk bundet fosfor

Betydningen av de ulike kilder er steds- og sesongavhengig. Aktuelle problemstillinger der fosforavsetning inngår er som følger:

- Det er en stor økning i algeveksten i vassdrag i mange "uberørte" norske fjellområder. Det er også observert en generell økt algevekst i Norge (f.eks. på trær, veier, hus). Atmosfærisk tilført fosfor har trolig en avgjørende betydning.
- I forsøringsprosjekter har sammensetningen av plantenes næringsstoffer i nedbørfeltet og i vassdragene fått stor oppmerksomhet. Fosfor kan gi mindre avrenning av nitrat fra sure skog- og heiområder, og fordelingen av fosfor blir da en viktig parameter i tålegrensearbeidet.
- I SFTs veileder på tilførselsberegning innen arbeidet med Miljømål for vannforekomstene blir det benyttet koeffisienter for P-deposisjon som er basert på grove estimater. Disse estimatene er høyere enn de som benyttes i andre nordiske land.
- Ved tiltaksplanlegging for belastede innsjøer blir det vanskelig å lage et fullstendig fosforbudsjett, siden størrelsen av det atmosfæriske bidraget av fosfor er usikkert. P-deposisjon direkte på innsjøoverflaten kan være av betydning i innsjøer med lite nedbørfelt i forhold til innsjøarealet.

Målsetningen for dette prosjektet har derfor vært å:

- Beregne våt- og tørravsetning av fosfor på noen få stasjoner for å teste ut innsamlings- og analyse metoder, samt sammenligne resultatene med pågående målinger av nedbørkjemi. Av spesiell interesse er å vurdere i hvilken grad fosfor tilføres fra mer fjerntliggende kildeområder sammenlignet med lokale kilder.
- kartlegge årstidsvariasjonen og hvordan P-avsetningen varierer med høyde over havet.
- Vurdere og eventuelt justere eksisterende deposisjonskoeffisienter, samt vurdere hvilken betydning P-avsetning har innen eutrofiering og forsuring.

2. Stasjonsbeskrivelse og metoder

2.1 Stasjoner

Det ble gjort parallelle målinger av fosforkonsentrasjonen i luft og nedbør i ett år på Birkenes i Aust-Agder og ved Møsvatn i Telemark. Prøvetakingsfrekvensen har vært ukentlig og innsamlingsperioden var fra 1. september 1999 til 31. august 2000. Både Møsvatn og Birkenes er godt egnet for regionale studier da ingen av stasjonene ligger i områder med lokale industriutslipp av betydning.

2.1.1 Møsvatn

Innen terrestrisk naturovervåking inngår en målestasjon ved Møsvatn i Telemark. Denne stasjonen er ikke utstyrt med strøm og kunne derfor ikke benyttes til dette prosjektet. En midlertidig nedbørstasjon ble derfor etablert noen kilometer unna ved Skinnarbu, 919 m over havet. Nærområdet består av vann, lyng og bjørkeskog i relativt lik fordeling



Figur 1. 'Wet-only' prøvetaker ved Møsvatn



Figur 2. Luftinntak for PM₁₀ prøvetaking ved Møsvatn

2.1.2 Birkenes

Birkenes er en stasjon som inngår i det nasjonale overvåkningsprogrammet og den er også en EMEP stasjon (European Monitoring and Evaluation Programme). Birkenes ligger ved Birkeland i Aust-Agder, 190 m over havet. Arealfordelingen i nær omkrets er 65% skog med gran som dominerende treslag, 10% lyng, 15% vann og 10% dyrket mark.



Figur 3. Målestasjon ved Birkenes

2.2 Feltmetoder

Både nedbør og luftprøver er samlet. Konsentrasjonene er videre brukt til å beregne henholdsvis våt- og tørravsetning.

2.2.1 Nedbør

Vi har brukt en 'wet-only' prøvetaker produsert ved meteorologisk institutt ved universitetet i Stockholm (MISU). En slik prøvetaker er kun åpen når det regner, i motsetning til åpne nedbørsamlere (bulk) som i tillegg vil ha noe bidrag fra tørravsetning av partikler. Nedbørmengden som samles opp av en 'wet-only' kontra en bulk nedbørsamler bør være relativt like. For å undersøke om nedbørsamleren som brukes i dette prosjektet samler en representativ mengde nedbør har mengden blitt sammenlignet med resultater fra bulk-samlerne som brukes i andre overvåkningsprosjekter (Aas, 2000). De viser en god overensstemmelse. På Birkenes er de to nedbørsamlerne plassert like ved hverandre og forskjellen i den totale nedbørmengden var kun 1%. På Møsvatn kan man sammenligne med den stasjonen som inngår i terrestrisk naturovervåkning, men da stasjonene er noen kilometer fra hverandre er nedbørmengdene noe mer variable p.g.a lokale variasjoner, men forskjellen var likevel ikke større enn 7.5%.

Nedbørprøvene ble konserverte i 1% svovelsyre for å forhindre bakteriell degradering av organisk fosfor.

2.2.2 Luft

Fosfor i luft vil være på partikulær form. For å måle tørravsetningen brukes en filterprøvetaker med en PM₁₀ forimpaktor som fjerner aerosolpartikler større enn 10µm. Forimpaktoren er konstruert på universitetet i Gent (Maenhaut et al. 1994). Prøvetakeren suger aktivt inn et luftvolum som registreres av et telleverk. Oppsamlet materiale på filteret vil derfor kunne relateres til et bestemt luftvolum.

Partikler mindre enn 10 μm samles opp på et filter etter at større areosolpartikler er fjernet i impaktoren. Kontaminering fra lokale støvkilder vil dermed i stor grad unngås, da dette gjerne er større partikler.

2.3 Kjemiske analyser

2.3.1 Vannkjemiske analyser

Prøvene av nedbør fra Birkenes og Møsvatn er analysert på total-nitrogen (TOT-N), total-fosfor (TOT-P) og fosfat ($\text{PO}_4\text{-P}$). Alle analysene er utført etter akkrediterte metoder ved NIVAs laboratorium. Anvendelsesområde, prinsipp og måleusikkerhet for de ulike metodene er gitt i vedlegg.

2.3.2 Filteranalyser

Partikler fra luft er samlet på GFF filter i NILUs filterprøvetaker (pkt 2.2.2). GFF-filtrene er på forhånd syrevasket og glødet etter modifisert standard prosedyre på NIVA. Prosedyren omfatter syrevask med 0,1N HCl, skylling med glass-destillert vann og gløding i ett døgn ved 450°C. Forbehandling av filtrene ble gjort for å fjerne evt. innhold av fosfor. Ti filtre ble analysert etter behandling, for å få en evt. bakgrunnsverdi for de senere kjemiske analysene. GFF-filter har ingen definert porestørrelse, men tidligere forsøk og erfaring viser at partikler større enn 0,7 μm blir fanget opp.

Etter innsamling fra filterprøvetakeren, ble et kjent areal fra hvert filter stanset ut, og analysert på total-fosfor og total-nitrogen etter metodene D2-1 (tot-P) og G-6 (tot-N). Total mengde P og N på filteret regnes ut fra mengden funnet på analysert filterareal, multiplisert med arealet av hele filteret. Luftmengden som ble filtrert er registrert via et telleverk, og konsentrasjonen i luft beregnes ved å dividere mengden av hhv. P og N på filteret på antall m^3 luft filtrert.

2.4 Databehandling

Mange av fosforkonsentrasjonene i luft var lavere enn den analytiske deteksjonsgrensen. Konsentrasjonen ble i de tilfeller satt til halve deteksjonsgrensen for de videre beregningene.

2.4.1 Beregning av våtavsetning

Våtavsetningen er definert som den mengden av gasser og partikler som fjernes fra atmosfæren med nedbøren. Beregning av våtavsetningen vil dermed være et produkt av konsentrasjonen målt i nedbør og nedbørmengden.

2.4.2 Beregning av tørravsetning

Tørravsetning er definert som den mengden av en komponent i luft (gass eller partikkel) som absorberes på bakken, i jordsmonn, på vegetasjon eller vannoverflate. Denne prosessen er styrt av mange ulike faktorer som meteorologiske forhold samt kjemiske og fysiske egenskaper til partikler, gasser og overflater. Opptaket er avhengig av om underlaget består av vann, snø, is, vegetasjon osv. Det er beregnet hastigheter for ulike komponenter og overflate, og med disse kan man estimere mengden tørravsetningen ved å multiplisere hastighet, konsentrasjon og tidsperiode.

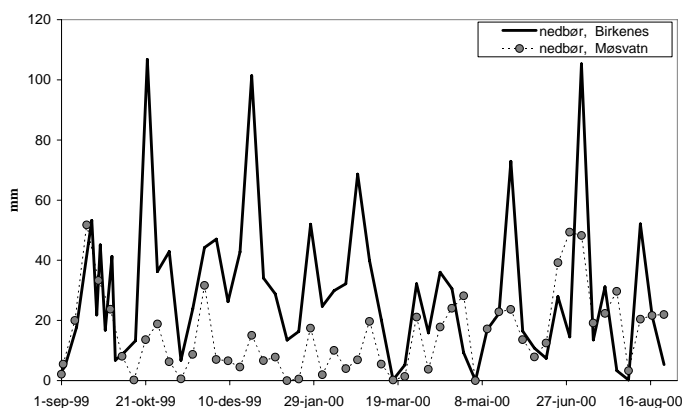
Hastigheten for tørravsetning av nitrat- og ammoniumforbindelser er avhengig av sesong og type overflate. I Norge benyttes vanligvis en avsetningshastighet på 0.2 cm/s om vinteren og 0.6 cm/s om sommeren for disse forbindelsene (Aas, 2000). Disse hastighetene reflekterer avsetning på vegetasjon og vil ikke være representative for avsetning direkte på vannoverflaten, hvor den er noe lavere.

Avsetningshastigheten for partikulært fosfor er ukjent, men om man vet størrelsesfraksjonen kan man gi et estimat. Det har tidligere blitt gjort partikkelmålinger på Birkenes og Skreådalen i Vest-Agder i 1991 og -92 med en tofilterprøvetaker med en 'Gent' forimpaktor (Maenhaut et al. 1994). Denne prøvetakeren skiller partiklene i to størrelser: under 2 μm og mellom 2 og 10 μm . Resultatene viser at hovedvekten av fosforholdige partikler i luft har en diameter mellom 2 og 10 μm (Ducastel, 1994). Store deler av disse målingene ligger under deteksjonsgrensen, men mellom mai og oktober observeres luftkonsentrasjoner på mellom 4 og 30 ng P/m^3 på begge stasjonene. I finfraksjonen finner man kun enkeltepisoder med fosforkonsentrasjoner over deteksjonsgrensen. Fosfor avsettes mest sannsynlig raskere enn nitrat- og ammoniumforbindelsene nevnt over, siden disse i hovedsak finnes bundet i små partikler. Man antar at avsetningshastigheten for fosfor knyttet til en partikkelstørrelse mellom 2 og 10 μm partikler ligger i størrelsesorden 1 cm/s . Det er også forskjell i avsetningshastighet mellom sommer og vinter, men da fosfor hovedsakelig avsettes om sommeren velger vi å anvende samme hastighet for hele året.

3. Resultater

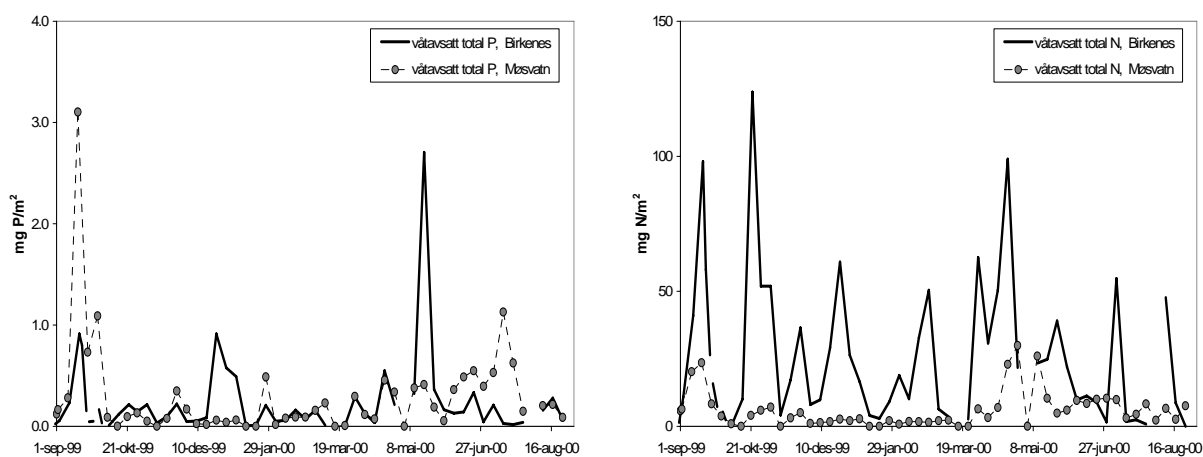
3.1 Våtavsetning

Nedbørmengden på Møsvatn var ca. halvparten av den på Birkenes i perioden 01.09.99-31.08.00, hhv. 806 mm og 1354 mm (fig. 4).



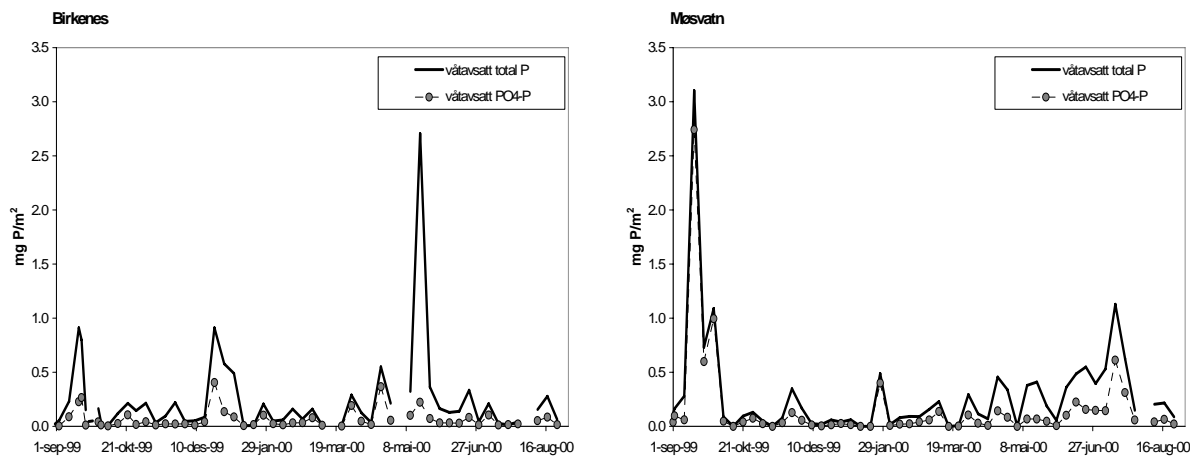
Figur 4. Nedbør (mm) pr. uke i perioden 01.09.1999 til 31.08.2000 for stasjonene Møsvatn og Birkenes.

Våtavsetningen for total-fosfor (Tot-P) ble i perioden 01.09.99 til 31.08.00 målt til 14,9 mg P/m² år på Møsvatn, der fosfat (PO₄-P) utgjorde 8,2 mg P/m² år (54%). Variasjonen gjennom året av de ulike parametrene er vist i figur 5. Våtavsetningen for total-nitrogen (Tot-N) ble målt til 318 mg N/m² år i samme periode. Nitrogenresultatene kan sammenlignes med hva som måles under overvåkningsprogrammet, der summen av våtavsetning for NO₃⁻ og NH₄⁺ var hhv. 268 og 294 mg N/m² år for 1998 (Tørseth, 1999) og 1999 (Aas, 2000). Forholdet mellom Tot-N og Tot-P i avsetningen på Møsvatn varierte mellom 2,7 og 41, med et gjennomsnitt på 38,6 (fig.7).

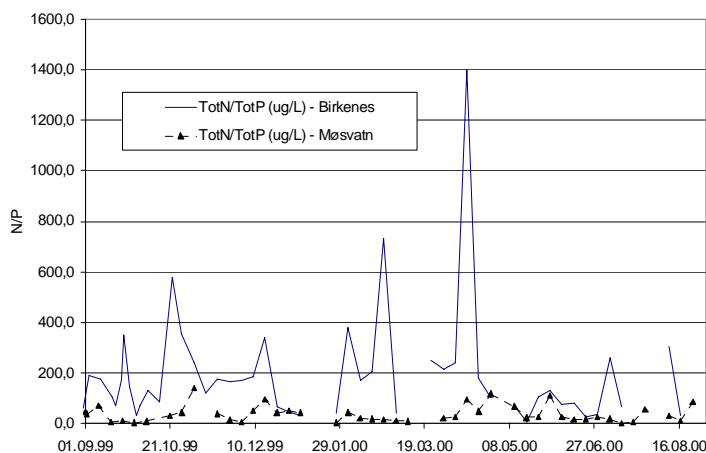


Figur 5. Våtavsetning (mg/m²) av total-fosfor (Tot-P) og total-nitrogen (Tot-N) i ukesprøver på Møsvatn og Birkenes i perioden 01.09.99-31.08.2000.

I perioden 01.09.99 til 31.08.2000 ble det på Birkenes målt en våtavsetning for total-fosfor og total-nitrogen på hhv. 12,6 mg P/m² år og 1376 mg N/m² år (fig 5). Fosfat utgjorde her 3,5 mg P/m² år av den totale våtavsetningen av fosfor, dvs 28% (fig.6). Nitrogenresultatene kan sammenlignes med det som måles under overvåkningsprogrammet der våtavsetning for summen av NO₃⁻ og NH₄⁺ var hhv. 1359 og 1453 mg N/m² år for 1998 (Tørseth 1999) og 1999 (Aas, 2000). Forholdet mellom Tot-N og Tot-P i avsetningen på Birkenes varierte i perioden mellom 9,2 og 1400, med et gjennomsnitt på 189 (fig.7). Dette er et vesentlig høyere N/P-forhold enn på Møsvatn.



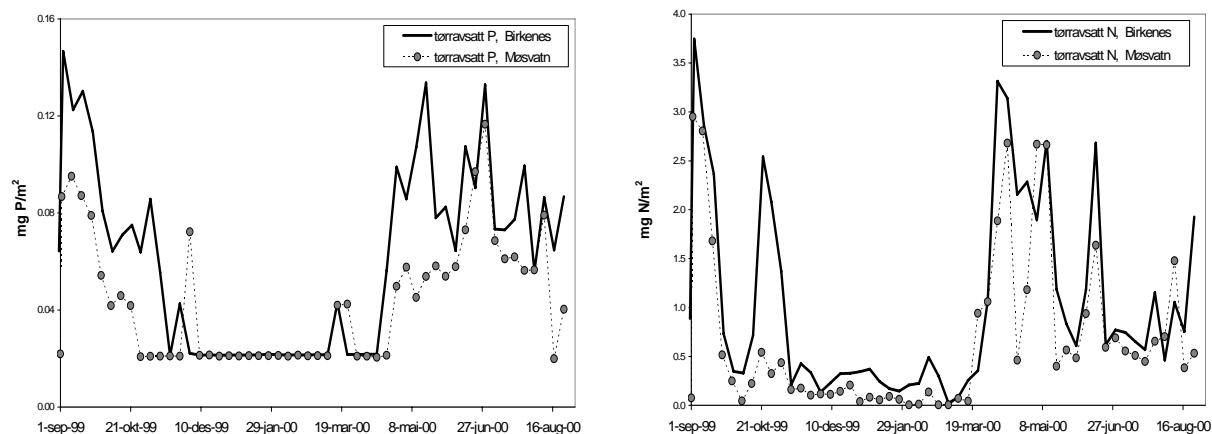
Figur 6. Fordelingen av total-fosfor (Tot-P) og fosfat (PO₄-P) i våtavsetningen (mg/m²) i ukesprøver fra Møsvatn og Birkenes i perioden 01.09.99-31.08.00.



Figur 7. TotN/TotP forholdet i nedbørsavsetning på Møsvatn og Birkenes i perioden 01.09.1999 - 31.08.2000.

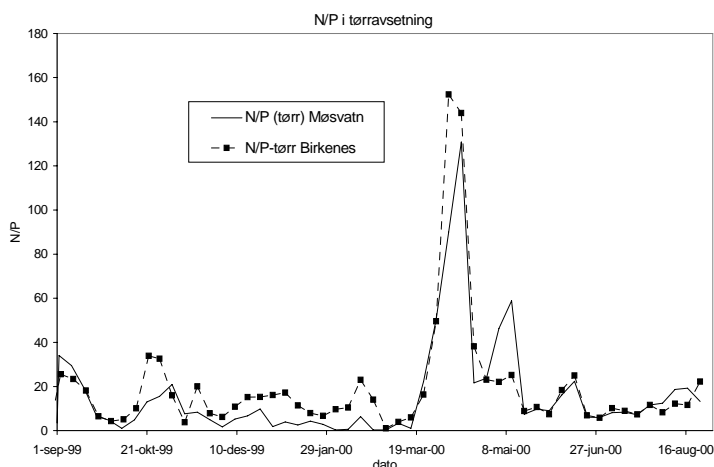
3.2 Tørravsetning

Luftkonsentrasjonen av fosfor lå i perioden mellom mai og november mellom 5 og 25 ng P/m³, mens den lå under deteksjonsgrensen om vinteren. Luftkonsentrasjonen av nitrogen er mye større, mellom 0.1 og 10 µg N/m³, med maksimum i september, oktober, april og mai. Ved å benytte avsetningshastighetene beskrevet i kapittel 2.4.2 kan tørravsetning beregnes. Den totale tørravsetningen av fosfor og nitrogen på Møsvatn var i måleperioden 2.3 mg P/m² år og 36,5 mg N/m² år. I samme periode var tørravsetningen av total fosfor på Birkenes 3.2 mg P/m² år og av nitrogen 55 mg N/m² år (fig. 8 og tab. 1).



Figur 8. Tørravsetningen for fosfor og nitrogen på stasjonene Møsvatn og Birkenes.

N/P-forholdet i tørravsetningen er relativt likt for begge stasjoner, i motsetning til våtavsetningen. Gjennomsnittlig forholdstall for måleperioden var på hhv. 15,9 og 19,7 for Møsvatn og Birkenes (fig.9).



Figur 9. N/P-forhold i tørravsetningen på Møsvatn og Birkenes.

Tabell 1. Oppsummering av resultatene

	Avsetning av total N (mg N/m ² år)			Avsetning av total P (mg P/m ² år)		
	Våtavsetn.	Tørravsetn.	Total-N avsetning	Våtavsetn. (fosfatandel)	Tørravsetn.	Total P-avsetning
Birkenes	1376	55.0	1431	12.6 (28%)	3.2	15,8
Møsvatn	318	36.5	345,5	14.9 (54%)	2.3	17,2

Den totale fosforbelastningen blir dermed i størrelsesorden 15-17 mg P/m² år for de undersøkte stasjonene.

4. Diskusjon

4.1 Vurdering av resultatene

Det finnes lite beskrivelse av tørravsetning av fosfor i litteraturen. I all hovedsak er det brukt "bulk" (åpen) nedbørsamler som delvis også vil inkludere noe tørravsetning, men det vil ikke gi et fullstendig bilde av den totale fosforavsetningen. Det er med denne måleteknikken vanskelig å vurdere hvor stort bidraget er fra hhv. tørr og våt avsetning. Disse avsetningene har ulik avsetningshastighet, og vil variere med nedbørmengde og ulike naturtyper. Målingene av tørravsetningen som blir presentert her er derfor et viktig bidrag til en bedre forståelse av tilførselen av fosfor.

For fosfor i luft ser man en tydelig sesongvariasjon; i vinterhalvåret er konsentrasjonen meget lav og ligger i store perioder under deteksjonsgrensen. Dette er en klar indikasjon på at fosfor fra flygeaske o.l. kan utelukkes som fosforkilde, da flygeaske har størst forekomst i denne tidsperioden. Biologisk materiale og jordstøv, som er to andre mulige fosforkilder, vil begge ha høyere forekomst på sommeren. Den biologiske aktiviteten er i all hovedsak om sommeren, og jordstøv vil ikke være så tilgjengelig under snødekke og frost på vinteren. I studier gjort av Maenhaut (upublisert) i Skreådalen og Birkenes, ble det målt på innholdet av silisium og fosfor i partikler. Silisium er en vesentlig komponent i jordstøv. I perioder med stor tilførsel av jordstøv, viser datasettet fra Skreådalen og Birkenes god korrelasjon mellom silisium og fosfor. Korrelasjonen er størst på Skreådalen der også andelen av pløyd mark er størst. I perioder med mindre tilførsel av jordstøv er det ingen god korrelasjon mellom fosfordataene og silisium. Her antar man at biologisk materiale er en viktig kilde.

Resultatene indikerer en viss regional forskjell mellom luftkonsentrasjonene mellom de to stasjonene, men forskjellen er ikke signifikant. Da mange av luftkonsentrasjonene ligger under deteksjonsgrensen vil det ha relativt stor betydning hvordan disse verdiene blir behandlet. Settes de til halve deteksjonsgrensen som gjort i dette tilfelle, vil dette gi bidrag til totalavsetningen. Om alle verdiene antas lik null vil tørravsetningen på Birkenes bli 2.8 mg P/m² år sammenlignet med 3.2 mg P/m² når de settes til halve deteksjonsgrensen. Den gjennomsnittlige årskonsentrasjonen av fosfor i luft på Birkenes vil tilsvarende være mellom 9.0 og 10.4 ng/m³. På Møsvatn vil tilsvarende øvelse gi et intervall på tørravsetningen mellom 1.8 og 2.3 mg P/m² år og på den gjennomsnittlige luftkonsentrasjonen mellom 5.5 og 7.6 ng/m³. Dette indikerer noe av usikkerheten i resultatene.

I nedbør er det heller ingen signifikant forskjell mellom Møsvatn og Birkenes. Enkeltprøver gir stort bidrag til den totale avsetningen på begge stasjonene. På Møsvatn bidrar nedbørprøven fra 16. sept. alene med 3.1 mg P/m². Om denne prøven neglisjeres pga. mulig kontaminering, vil den totale våtavsetningen være på 11.8 mg P/m² år. Tilsvarende gjelder for Birkenes som har et stort enkeltbidrag på 2.7 mg P/m² den 18. mai. Om denne utelukkes er våtavsetningen her 9.9 mg P/m² år. Begge disse episodene har relativt høye konsentrasjoner kombinert med høy nedbørmengde, noe som ikke er en vanlig kombinasjon. Det er en vesensforskjell mellom disse to hendelsene. På Møsvatn utgjorde fosfat 90% av prøven, mens på Birkenes var det kun 8% fosfat. På årsmiddelverdien kan vi observere tilsvarende forskjeller: Fosfat utgjør 54% av den totale våtavsetningen på Møsvatn, mens bare 28% på Birkenes. Den større andelen av fosfat på Møsvatn tyder på relativt ulike kilder for fosforavsetningen, med tydelig mer organisk bundet fosfor på Birkenes. Disse observasjonene tyder på at lokale kilder har en relativt stor innvirkning på våtavsetning pga. oppvirvling av jordstøv og nedfall av biologisk materiale som f.eks. pollen.

For nitrogen er det klare regionale forskjeller i både luft og nedbør. De største nitrogenkildene finnes på kontinentet og konsentrasjonen av nitrogenforbindelser i luft og nedbør avtar derfor med avstanden

fra kildene. Det betyr at nitrogenavsetningen hovedsakelig er styrt av langtransportert forurensning. Estimaterne for tørravsetning av nitrogen presentert i tabell 1 gir ikke den totale tørravsetningen. Den totale tørravsetningen av nitrogen inkluderer avsetning av partikulært ammonium og nitrat (salter), organisk nitrogen, samt avsetning av gassene ammonium, salpetersyre og nitrogenoksider. I dette prosjektet måles kun partikulære nitrogenforbindelser. Disse målingene er også trolig underestimert da noe avsatt NH_4^+ og NO_3^- på filteret vil fordampe i form av NH_3 og HNO_3 . I det nasjonale overvåkningsprogrammet NILU har på Birkenes måles alle nitrogenforbindelsene med unntak av organisk nitrogen. Tørravsetningen på Birkenes utgjør ca 20- 30% av den totale nitrogenbelastningen, på Møsvatn utgjør den mellom 30 og 40% (Tørseth 1997). Tørravsetningen direkte på vannoverflater vil være en del lavere (Cole et al. 1990).

Sammenlignes målingene fra overvåkningsprogrammet av partikulært NO_3^- og NH_4^+ med total N som presenteres her er det meget god korrelasjon med en forskjell på kun 8% over samme tidsperiode. I nedbør er det tilsvarende god sammenligning med et avvik på bare 5.3%. På Møsvatn måles kun våtavsetning innenfor overvåkningsprogrammet. Sammenlignes summen av nitrat og ammonium i nedbør med total nitrogen gir dette også en meget god overensstemmelse med kun 5% avvik. Dette indikerer at løste uorganiske nitrogenforbindelser (NO_3^- og NH_4^+) utgjør størstedelen av total-N i avsetningen både på Birkenes og Møsvatn. En mulig feilkilde i overvåkningsprogrammet, kan være at noe organisk bundet nitrogen kan være brutt ned ved bakteriell aktivitet før analysene ble utført.

4.2 Sammenligning med dagens estimater

SFT (Bratli 1995) har foreslått følgende veiledende verdier for fosfordeposisjon i Norge:

- Nord-Norge og nordlige østlandsområde: 10 mg P/m² år (kg P/km² år).
- Midt-Norge og Vestlandet: 10-20 mg P/m² år.
- Sørlandet og sydlige Østlandsområde: 20-35 mg P/m² år.

Disse verdiene bygger i hovedsak på to tidligere norske undersøkelser; én fra Telemark i 1978 (Rognerud et al. 1979), og én fra Tyrifjordområdet i perioden 1978-1981 (Berge et al. 1983).

Undersøkelsen i Telemark baserte seg på 18 nedbørsstasjoner i fylket, der det ble tatt målinger av nedbørmengde og fosforkonsentrasjoner i ett år (10.10.77 til 10.10.78). Resultatene fra samtlige stasjoner viste en variasjon i avsetning av total fosfor mellom 20 og 86 mg P/m² år, med et gjennomsnitt på 34,1. Ved Tyrifjorden-prosjektet ble det målt totalfosfor på 4 nedbørsstasjoner i ett til to år i perioden 1980-81. Her varierte resultatene mellom 13 og 30 mg P/m² år, med en aritmetisk middelvei på 19 mg P/m² år. Begge undersøkelsene målte den totale avsetningen av fosfor, ikke tørr- og våtavsetningen separat.

Stasjonene Birkenes og Møsvatn i denne undersøkelsen, ligger i området Sørlandet/sydlige Østlandsområdet. Begge stasjonene representerer en landskapstype med lite påvirkning fra lokale forurensningskilder. Våre målinger, på 15-17 mg P/m² år, ligger lavere enn resultatene fra de tidligere undersøkelsene. Sammenlignet med grunnlagsdataene der, er det kun to stasjoner i Tyrifjordområdet, Fossum og Stubdal, som viste en årlig atmosfærisk tilførsel av fosfor i samme størrelsesområde som denne undersøkelsen. Fossum og Stubdal var også de stasjonene som var minst påvirket av jordbruksaktivitet. Tyrifjordmålingene er relativt gamle og bidrag fra flygeaske var muligens av større betydning da. Estimaterne var også gjort ved å anvende en bulk nedbørsamler der nedfallet av store partikler vil ha større betydning.

Resultatene fra denne undersøkelsen samsvarer godt med målinger gjort i Sverige og Danmark (Skiple & Lükewille 1999, Bækken & Bratli 1996). I svenske målinger varierer avsetningen mellom 5,5 og 13 mg P/m² år, mens de i Danmark varierer mellom 8 og 24 mg P/m² år. Forskjellene mellom de veiledende norske verdiene og resultatene fra Sverige kan ikke forklares med ulik nedbørmengde

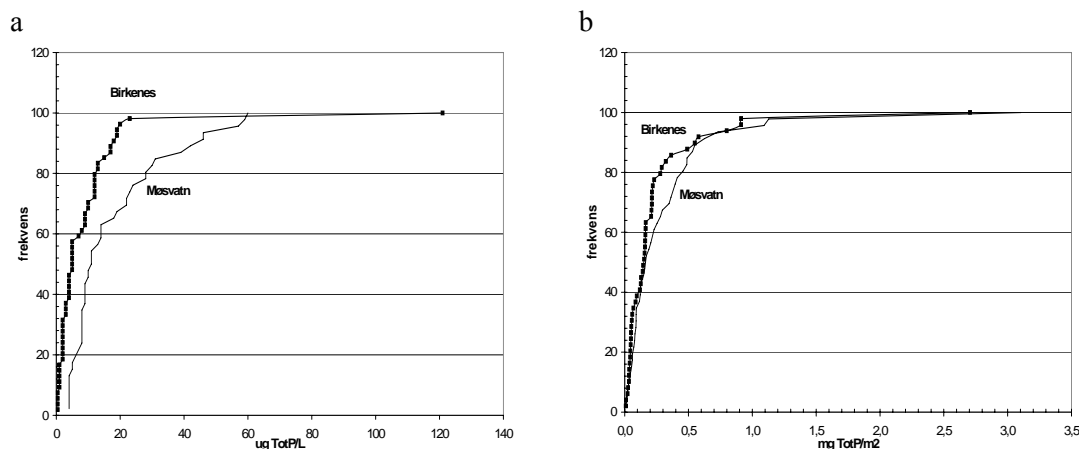
(Bækken & Bratli 1996). Ahl (1988) poengterte at de laveste svenske avsetningsverdiene ble registrert i avsidesliggende områder.

En årlig prøveserie fra to stasjoner er et for spinkelt grunnlag til å foreslå endring av de eksisterende veiledende verdiene for fosforavsetning i Norge. Datamaterialet antyder likevel at de eksisterende verdiene for Sørlandet/Sør-Østlandet kan være for høye for områder som har lite påvirkning fra lokale kilder.

For å få et bedre vurderingsgrunnlag for atmosfærisk tilførsel av fosfor i ulike typer lokaliteter og deler av landet, bør avsetningen måles på et utvalg stasjoner i ulike landsdeler over en lengre periode. Vi foreslår en måleperiode på minst 3 år for å fange opp naturlige variasjoner mellom forskjellige år, gjerne på eksisterende nedbørstasjoner.

4.3 Betydning av fosforavsetning for eutrofiering og forsuring

Figur 10a viser frekvensfordelingen av målt P-konsentrasjon i nedbør for Birkenes og Møsvatn i måleperioden. Som figuren viser, er det større forskjeller i konsentrasjonen på de to stasjonene enn i den årlige våtavsetningen. Dette skyldes at Møsvatn som hadde de høyeste nedbørkonsentrasjonene hadde ca. halvparten av nedbørmengden på Birkenes. Fosforkonsentrasjonen i nedbøren var i enkelte tilfeller relativt høy (figur 10). Størsteparten av fosforfraksjonen som er bundet til partikler blir vasket ut under regnskyll. Konsentrasjonen av fosfor vil derfor variere gjennom en nedbørepisode, avhengig av om nye luftstrømmer kommer inn under nedbørperioden eller om luften blir vasket ren under første del av regnskyll.



Figur 10 a) Fosforkonsentrasjon ($\mu\text{g tot-P/L}$) i nedbøren på Birkenes og Møsvatn. b) Våtavsetning ($\text{mg tot-P/m}^2 \text{ år}$) av fosfor på Birkenes og Møsvatn.

Ved beregning av det atmosfæriske bidraget av fosfor til forskjellige norske vassdrag er det benyttet ulike avsetningsverdier de siste 20 årene. I tabell 2 er det gitt en oversikt over undersøkelser fra 8 fylker, der tilførselene av fosfor via nedbøren er vurdert sammen med de totale tilførselene til vassdraget. Andelen fra nedbør varierer fra 0,5 til 49,3% med et snitt for alle innsjøene på 10,6%. Sjøene i Hedmark viste høyest bidrag fra nedbøren med et gjennomsnitt på 21,1%, Telemarkssjøene lå lavest med et bidrag på 3,5%. I de sistnevnte sjøene, der de høyeste avsetningsverdiene er brukt, er likevel andelen av de totale tilførselene blant de laveste.

Tabell 2. Andelen av fosfor tilført fra nedbøren direkte på innsjøoverflaten i forhold til de totale tilførselene. Bakgrunns materialet er hentet fra flere forskjellige undersøkelser. Referansen (Ref.) til disse er gitt i vedlegg A bak i rapporten

Fylke	Kommune	Lokalitet	Max dyp m	HOH m	Tot-P µg/L	P-dep-faktor Kg/km ² år	Tot.tilf. P kg/år	Nedb.vannfl. kg/år	Andel dep. %	Ref.	ArealN/ ArealV
Akershus	Eidsvoll	Hurdalsjøen*	60	175	3,5**	34	4580	1149	25,1	8	18
Akershus	Oppgård/Ski	Gjersjøen	58	40	10,6	25	535	68	12,7	9	32
snitt:									18,9		
Buskerud	Drammen	Stordammen	6	245	33,7	30	45,6	6	13,2	5	24
Buskerud	Ringerike	Tyrifjorden (1979)	295	63	6,4**	27,6	67562	3352	5,0	7	81
Buskerud	Øvre Eiker	Eikeren	154	19	6**	34	4559	941	20,6	8	10
snitt:									12,9		
Hedmark	Eidsvoll	Mjøsa	449	123	6,3**	34	230000	12447	5,4	8	47
Hedmark	Engerdal	Femunden*	150	662	2,6**	34	13980	6888	49,3	8	9
Hedmark	Sør-Odal	Storsjøen i Odalen*	17	130	6,8**	34	6465	1511	23,4	8	
Hedmark	Åmot	Storsjøen i Rendalen*	309	251	5,4**	34	26117	1705	6,5	8	
snitt:									21,1		
Hordaland	Eidfjord	Isdalsvatn	20	833	2,2	10	129,3	10,6	8,2	6	24
Hordaland	Osterøy	Loneelv-vassdraget	103 og 23		40	10	639,4	5	0,8	4	128
snitt:									4,5		
Nordland	Dønna	Litjgleinsvatnet	9	4	74,5	10	25,4	1	3,9	1	8
Nordland	Dønna	Skaisvatnet	25	3	30,5	10	87,8	6	6,8	1	5
Nordland	Dønna	Stavsengvatnet	5		32	10	38,7	0,6	1,6	1	44
Nordland	Dønna	Store Gleinsvatn	49	5	21,5	10	36,1	10	27,7	1	4
Nordland	Sømna	Daleelva		<620		10	302,7			2	
Nordland	Sømna	Grøttemvassdraget		<648		10	396,1	8	2,0	2	23
snitt:									8,4		
Oppland	Jevnaker	Randsfjorden*	108	134		34	33800	4668	13,8	8	26
Oslo	Oslo	Maridalsvannet		149		20	1730	74	4,3	3	68
Telemark	Kviteseid	Kviteseidvatnet*	200	72	5,5	34	23180	477	2,1	8	222
Telemark	Kviteseid	Sundkilen*	57	72	10,5	34	2570	85	3,3	8	72
Telemark	Nøme	Norsjø	171	15	6	34	85475	1888	2,2	8	172
Telemark	Notodden	Tinnsjøen	460	189	7	34	30479	1739	5,7	8	75
Telemark	Sauherad	Heddalsvatn		16	9	34	50620	228	0,5	8	398
Telemark	Seljord	Seljordsvatn	145	116	6	34	6079	440	7,2	8	69
snitt:									3,5		
snitt alle sjøer									10,6		

Tot-P (µg/L): P-konsentrasjon i innsjøen

ArealN/ArealV: Forholdet mellom areal av nedbørfeltet og areal innsjø

* Tilførselene til disse sjøene er teoretisk beregnet, ikke målt

** Fosforkonsentrasjonene i innsjøene er hentet fra Regional innsjøundersøkelse 1988, gjennomsnitt av 4 målinger. Ref. Nr.10.

Bidraget fra nedbøren utgjør i disse undersøkelsene i størrelsesorden 10% av de totale fosfortilførselene til vassdragene. Hvor stor effekt dette bidraget får i en elv eller innsjø, vil blant annet avhenge av mengde totale tilførsler, tidspunktet for tilførselene (sommer/vinter), trofinivå i lokaliteten, temperatur, vannvolum og sirkulasjonsforhold. Generelt kan sies at bidraget fra nedbør ikke vil være utslagsgivende for eutrofieringssituasjonen i sjøer/vassdrag som har relativt høy næringsbelastning fra før, og som har vesentlige bidrag fra annen menneskelig aktivitet. Det vil si at vassdragene i disse tilfellene ofte har betydelige lokale forurensningskilder.

De fleste beregninger av tilførsler av fosfor og nitrogen til innsjøer og elver i Norge, er gjort i områder med eutrofieringsproblemer, eller at det foregår aktiviteter i nedbørfeltet som tilsier at faren for forurensning er tilstede. Det er beregnet at bare 2,5% av norske innsjøer faller inn under SFTs tilstandsklasser IV og V, med hensyn på fosfor. Dette er et lite prosenttall, men utgjør likevel 7-900 sjøer som i all hovedsak er lokalisert i tett befolkede områder med stor grad av påvirkning fra menneskelig aktivitet (Skjelkvåle 1996). Denne typen innsjøer vil derfor være overrepresentert i de undersøkelsene som er gjort på beregninger av tilførsler til norske vassdrag. Sammenstillingen i tabell

2 gir ikke en klar sammenheng mellom andelen av fosfor tilført fra nedbør og faktorer som arealfordeling, trofinivå og h.o.h. En årsak til dette kan være den skjeve fordelingen i innsjøutvalget.

Vi har få beregninger fra referansesjøer/lite påvirkete områder- der effekten av tilførsler fra nedbøren forventes å være høyere enn i det materialet vi har kunnet vurdere her. For å få et fullstendig bilde av nedbøren sin effekt, både i eutrofierings- og forsuringssammenheng, må også lite påvirkete innsjøer med i vurderingen. Dette vil fortrinnsvis omfatte sjøer som:

- Ligger høyt i vassdraget og som har et stort innsjøareal i forhold til nedbørfeltareal
- Har lave konsentrasjoner av fosfor og nitrogen
- Har lite eller ingen påvirkning fra lokale forureningskilder
- Har et høyt forhold mellom innsjøareal og innsjøvolum
- Har gode sirkulasjonsforhold

I forsuringsovervåkingen er denne typen prøvetakingslokaliteter etablert, men måleprogrammene inkluderer ikke nedbørdata på bl.a. fosfor, og i liten grad nødvendig informasjon om innsjømorfologi.

Disse lite påvirkete innsjøene er også interessante ut ifra at det i slike er registrert problemer med økt mengde "grønske" (Lindstrøm 1993, Lindstrøm et al. 2000). Algene er den gruppen av organismer som først vil vise en reaksjon på tilførte næringsstoffer. I innsjøer vil dette i størst grad omfatte planktoniske alger. I bekker, elver og strandsoner av innsjøer vil begroingsalger være den viktigste indikatoren på endringer i konsentrasjonen av næringsalter.

Flere arbeider (Schindler 1978, Hecky & Kilham 1988) har dokumentert at algeveksten i ferskvann oftest er fosforbegrenset. Forsøk viser at dersom fosfor er den begrensende faktor, kan selv små tilførsler gi dramatisk økning i veksthastighet og biomasse (Lindstrøm et al. 1994). Begroingsalger vil kunne overleve og etablere seg ved lavere fosforkonsentrasjoner enn planktoniske alger, fordi de stadig får tilført nytt fosfor gjennom vannbevegelsen (strandsoner, elver, bekker). Selv om fosfor er det vi har valgt å vektlegge, må likevel nitrogen med i vurderingen. Avsetningen og tilgjengelighet av nitrogen økte gjennom perioden 1950 fram til 1970-tallet, men har endret seg lite i Norge etter 1980 (Skjellekvåle et al. 1996). Nitrat kan virke forsurende i vandig miljø på samme måte som sulfat, ved at det opptrer som et mobilt anion og trekker med seg bl.a. H^+ -ioner og aluminium ut i vassdragene (Reuss & Johnson 1987). Opptaket av fosfor og nitrogen i organismene vil variere gjennom sesongen, og forholdet mellom næringssaltene kan være avgjørende i konkurransen mellom arter og utvikling av algesamfunn.

I rapporten "Tålegrenser i fjellområder, Hva vet vi - og hva burde vi vite" (Henriksen 1999) ble det framholdt at gitt visse betingelser, er det en tendens til periodevis nitrogenbegrensning i norske vassdrag. I disse periodene vil en tilførsel av nitrogen kunne få en større effekt på mengden av begroingsalger enn en tilførsel av fosfor. På bakgrunn av dagens kunnskap ble det pekt på de to antatt viktigste årsakene til økt begroing/algevekst i norske vassdrag: økt tilgjengelighet av nitrogen gjennom hele vekstsesongen, og endret artssammensetning i retning av forsuringstilpassede alger som klarer å bygge opp organisk materiale ved ekstremt lave tilførsler av fosfor. En del forsuringstilpassede begroingsalger viser også lavt fosforinnhold i forhold til organisk karbon, og enkelte alger kan ha større variasjon i TOC/P forholdet enn i TOC/N forholdet. Våre målinger viser markert høyere tot-N/tot-P-forhold i våtavsetningen på Birkenes enn på Møsvatn, noe som trolig skyldes et høyere bidrag av langtransportert nitrogen på Birkenes. Målinger gjort av NILU på Birkenes, viser at nitrogenavsetningen i hovedsak består av nitrat og ammonium (kapittel 4.3). Dette indikerer at det er lite organisk nitrogen i nedbørprøvene fra Birkenes, og at avsatt nitrogen i vil være relativt lett tilgjengelig for opptak i alger.

Mange spørsmål om årsaken til den økte begroingen er ennå uavklarte. Økt tilgjengelighet av nitrogen spiller trolig en rolle. Fosfor må også være et vesentlig element her, men vi har for få målinger til å

tallfeste nedbørens bidrag til fosforbudsjettet for ulike typer av lokaliteter. Det vi ser, blant annet fra målingene ved Møsvatn, er at andelen av lett tilgjengelig fosfat i nedbøren kan være betydelig - opp mot 50-60 %.

5. Referanser

- Ahl T. 1988 Background yield of phosphorus from drainage area and atmosphere: An empirical approach. *Hydrobiologia* 170: 35-44.
- Berge D. (red.) 1983. Tyrifjorden. Tyrifjordundersøkelsen 1978-1981. Sammenfattende sluttrapport. ISBN 82-90356-31-5, 156 sider.
- Bratli J.L., Holtan H., Åstebøl S.O., Miljømål for vannforekomstene. Tilførselsberegning. Statens forurensningstilsyn 1995. Veiledning 95:02. ISBN-nummer 82-7655-258-7.
- Bækken T., Bratli J.L. 1996. Utredning om deposisjon og avrenning av fosfor og nitrogen fra bakgrunnsarealer og vurdering av antropogen herkomst. NIVA-lnr. 3525, 40 sider.
- Cole J.J., Caraco N.F., Likens, G.E. 1990. Short range atmospheric transport; A significant source of phosphorus to an oligotrophic lake. *Limnol. Oceanogr.* 35(6): 1230-1237.
- Ducastel G. 1994 Het Atmosferisch Aerosol in Zuidelijk Noorwegen en het arctisch gebied: Chemische samensetting, deeltjesgrootte, bronnen en brondgebieden. Doktorgradsavhandling avlagt på Universitetet i Gent.
- Hecky R.E. & Kilham P. 1988. Nutrient limitation of phytoplankton in freshwater and marine environments: A review of recent evidence on the effects of enrichment. *Limnol. Oceanogr.*, 33 (4, del 2): 796-822
- Henriksen A. 1999. Tålegrenser i fjellområder. Hva vet vi - og hva burde vi vite? NIVA-lnr. 4017. Naturens Tålegrenser fagrapport nr. 101.
- Lindstrøm E.A. 1993. Økende grønske i norske vassdrag. Resultater av en spørreundersøkelse. NIVA-lnr. 2859, 28 sider.
- Lindstrøm E.A., Bremnes T., Johansen S.W. 1994. Eksperimentelle undersøkelser for kontroll av begroing i regulerte vassdrag. NIVA-lnr. 3086, 150 sider.
- Lindstrøm E.A., Kjellberg G., Wright R.F. 2000. Tålegrensen for nitrogen som næringsstoff i norske fjellvann: økt "grønske"? NIVA-lnr. 4187, 39 sider. Naturens Tålegrenser fagrapport nr 104.
- Maenhaut M., Francois F., Cafmeyer J., 1994 Applied Research on Air Pollution using Nuclear-Related Analytical Techniques, NAHRES-19, IAEA, Vienna, pp 249-263
- Reuss, J.O. & Johnson D.W. 1986. Acid deposition and the acidification of soils and waters. Springer-Verlag, New York, 111 sider.
- Rognerud S., Berge D., Johannessen M. 1979. Telemarkvassdraget. Hovedrapport fra undersøkelsene i perioden 1975-1979. NIVA-lnr 1147, 82 sider.
- Schindler D.W. 1978. Factors regulating phytoplankton production and standing crop in world's freshwaters. *Limnol. Oceanogr.*, 23(3): 478-486.

Skiple Anja & Lükewille A. 1999. Deposisjon av fosfor i Norge - status, vurdering av behovet for kartlegging og forslag til gjennomføring. Forprosjekt. NIVA-lnr. 4078, 21 sider.

Skjelkvåle B.L., Henriksen A., Faafeng B., Fjeld E., Traaen T., Lien L., Lydersen E., Buan A.K. 1996. Overvåking av langtransportert forurenset luft og nedbør. Regional innsjøundersøkelse 1995. En vannkjemisk undersøkelse av 1500 norske innsjøer. Statens forurensningstilsyn 1996. (SFT Rapport 677/96).

Tørseth K., Semb A, 1997 Deposition of major inorganic compounds in Norway 1992-1996. Norsk institutt for luftforskning, Kjeller NILU OR 67/97

Tørseth K., Berg T., Hanssen J. E. og Manø S. 1999 Overvåkning av langtransportert forurenset luft og nedbør. Årsrapport 1998. Statlig program for forurensningsovervåkning (SFT Rapport 797/00) Kjeller NILU OR 23/2000.

Aas W., Tørseth K., Solberg, S., Berg T. og Manø S. 2000. Overvåkning av langtransportert forurenset luft og nedbør. Årsrapport 1999. Statlig program for forurensningsovervåkning (SFT Rapport 797/00) Kjeller NILU OR 23/2000.

Vedlegg

Vedlegg A. (referanser til tabell nr. 1)

- 1 Faafeng B., Brettum P., Holtan G., Mjelde M. 1994. Forurensningstilførsler og vannkvalitet i 4 innsjøer på Dønna i Nordland. NIVA-lnr 3069, 52 sider.
- 2 Faafeng B., Holtan G. 1994. Kartlegging av tilførsler av forurensning til Grøttemsvassdraget og Daleelva i Nordland. NIVA-lnr 3001, 24 sider.
- 3 Holtan G., Holtan H. 1993. Avrenning fra jordbruksområder i Maridalen 1989-1991. NIVA-lnr 2839, 41 sider.
- 4 Aanes K.J., Brettum P., Bækken T., Hals B. 1992. Resipientundersøkelser i Loneelv-vassdraget, Osterøy kommune. NIVA-lnr. 2733, 65 sider.
- 5 Faafeng B., Brettum P., Grande M., Hessen D., Oredalen T.J. 1991. Stordammen på Konnerud. Vannkvalitet 1990 og forslag til tiltak. NIVA-lnr 2543, 59 sider.
- 6 Aanes K.J., Brettum P., Holtan G. 1990. Resipientundersøkelser for Eidfjord kommune i Isdalsvann med Isdøla. NIVA-lnr. 2387, 45 sider.
- 7 Berge D. (red.) 1983. Tyrifjorden. Tyrifjordundersøkelsen 1978-1981. Sammenfattende sluttrapport. ISBN 82-90356-31-5, 156 sider.
- 8 Rognerud S., Berge D., Johannessen M. 1979. Telemarkvassdraget. Hovedrapport fra undersøkelsene i perioden 1975-1979. NIVA-lnr 1147, 82 sider.
- 9 Faafeng B., Oredalen T.J. 1998. Gjersjøens utvikling 1972-97 og resultater fra sesongen 1997. NIVA-lnr 3881, 65 sider.
- 10 Faafeng B., Brettum P., Hessen D. 1990. Landsomfattende undersøkelse av trofilitstanden i 355 innsjøer i Norge. NIVA-lnr. 2355, 57 sider.

Vedlegg B. Analysemetoder

NIVA-metode nr.	Analysevariabel:	Måleenhet:	Labdatakode:
D 2-1	Totalfosfor	$\mu\text{g/l P}$	Tot-P/L
Tittel:			
Bestemmelse av totalfosfor i ferskvann og sjøvann med Skalar Autoanalysator etter oppslutning med peroksoedisulfat.			
Anvendelsesområde:			
Metoden gjelder for bestemmelse av totalfosfor i naturlig ferskvann og sjøvann med Skalar autoanalysator, og er ikke egnet for avløpsvann med høyt innhold av organisk materiale. Den maksimale fosforkonsentrasjon som bestemmes uten fortykning er 500 $\mu\text{g/l P}$. Prøver med høyere innhold av fosfor må fortynnes. Nedre bestemmelsesgrense er 1 $\mu\text{g/l P}$.			
Prinsipp:			
Komplekse, uorganiske fosfater og organisk bundet fosfor omdannes til ortofosfat ved oppslutning med peroksoedisulfat i surt miljø. Oppslutningen skjer ved koking i lukket teflon-beholder i autoklav. I en løsning med svovelsyre konsentrasjon ca. 0.1 mol/l reagerer ortofosfat med molybdat og treverdig antimon til en gul farget molybdofosforsyre. Denne reduseres av askorbinsyre til et blåfarget heteropolykompleks (molybdenblått). Absorbansen til komplekset måles ved 880 nm. For prøver med høyt innhold av organisk stoff må en kraftigere oksidasjonsmetode benyttes. Interferens fra fritt klor elimineres av askorbinsyren under den fargefrem-kallende reaksjon.			
Instrument(er):			
Skalar San Plus Autoanalysator, med Skalar Autosampler San System 1070, Skalar Module holder/pump San System 4000, Skalar Matrix photometric detector SA 6250-02, Skalar Controller San System 8600, Skalar Autodiluter SA 1091-02, Skalar 16 channel data processing package type 8600.			
Måleusikkerhet:			
44 målinger av en kaliumhydrogenfosfatløsning med konsentrasjon 4 $\mu\text{g/l}$ ga middelerdi 3,86 $\mu\text{g/l}$ og standardavvik 0,17 $\mu\text{g/l}$. Tilsvarende for 40 målinger av 40 $\mu\text{g/l}$ ga 39,6 og 0,46 $\mu\text{g/l}$, og 44 målinger av 400 $\mu\text{g/l}$ ga 401,4 og 3,2 $\mu\text{g/l}$.			
Referanser:			
Norsk Standard, NS 4725. Bestemmelse av totalfosfor – Oppslutning med peroksoedisulfat. 3. Utg. 1984. Modifisert ved at bestemmelsestrinnet er automatisert.			

NIVA-metode nr. D 1-1	Analysevariabel: Fosfat	Måleenhet: $\mu\text{g/l P}$	Labdatakode: PO4-P
Tittel: Bestemmelse av fosfat med Skalar Autoanalysator.			
Anvendelsesområde: Metoden gjelder for bestemmelse av fosfat i naturlig ferskvann og sjøvann. Den maksimale fosforkonsentrasjon som kan bestemmes uten fortynning er 500 $\mu\text{g/l P}$. Prøver med høyere innhold av fosfor må fortynnes. Nedre bestemmelsesgrense er 1 $\mu\text{g/l P}$. Silisium og arsen kan interferere, men ved de betingelser som brukes her interfererer ikke 5 mg/l SiO_2 .			
Prinsipp: I en løsning med svovelsyrekonsentrasjon ca. 0,1 mol/l reagerer ortofosfat med molybdat og treverdig antimon til en gulfarget molybdofosforsyre. Denne reduseres av askorbinsyre til et blåfarget heteropolykompleks (molybdenblått). Absorbansen til komplekset måles ved 880 nm. Metoden utføres automatisert med autoanalysator.			
Instrument(er): Skalar San Plus Autoanalysator, med Skalar Autosampler San System 1070, Skalar Module holder/pump San System 4000, Skalar Matrix photometric detector SA 6250-02, Skalar Controller San System 8600, Skalar Autodiluter SA 1091-02, Skalar 16 channel data processing package type 8600.			
Måleusikkerhet: 43 målinger av en syntetisk fosfatløsning med konsentrasjon 4 $\mu\text{g/l}$ ga som middelverdi 4,03 $\mu\text{g/l}$ og standardavvik 0,14 $\mu\text{g/l}$. Tilsvarende for 41 målinger av 40 $\mu\text{g/l}$ ga 40,0 og 0,41 $\mu\text{g/l}$, og 42 målinger av 400 $\mu\text{g/l}$ ga 400,2 og 2,7 $\mu\text{g/l}$.			
Referanser: Norsk Standard NS 4724. Bestemmelse av fosfat. 2. Utg. 1984. Modifisert ved at metoden er automatisert.			

NIVA-metode nr.	Analysevariabel:	Måleenhet:	Labdatakode:
D 6-1	Totalnitrogen	$\mu\text{g/l N}$	Tot-N/L
<p>Tittel:</p> <p>Bestemmelse av nitrogen i ferskvann og sjøvann etter oppslutning med peroksidisulfat, sluttbestemmelse med Skalar Autoanalysator.</p>			
<p>Anvendelsesområde:</p> <p>Metoden gjelder for bestemmelse av "totalnitrogen" i ferskvann og sjøvann etter oppslutning med peroksidisulfat. Metoden er tilpasset syrekonserverte prøver. Den maksimale nitrogenkonsent-rasjon som kan bestemmes uten fortynning av prøven er 1500 $\mu\text{g/l}$, og nedre bestemmelsesgrense settes da til 10 $\mu\text{g/l}$. Prøvene fortynnes maksimalt 1:4. Prøver med høyere nitrogeninnhold sendes til bestemmelse av TOT-N/H.</p>			
<p>Prinsipp:</p> <p>Metodebeskrivelsen angir en automatisert metode som gjelder for analysesystemer der det anvendes luftsegmentering. Organiske og uorganiske nitrogenforbindelser oksideres til nitrat ved oppslutning med kaliumperoksidisulfat i alkalisk miljø. Nitrat bestemmes som nitritt etter reduksjon i en kobberbelagt kadmiumkolonne i en bufret løsning med pH = 8.0 - 8.5. Nitritt reagerer i sur løsning (pH = 1.5 - 2.0) med sulfanilamid til en diazoforbindelse, som kobles med N-(1-naftyl)etylendiamin til et azofargestoff. Absorbansen til dette måles spektrofotometrisk ved bølglengden 540 nm.</p>			
<p>Instrument(er):</p> <p>Skalar San Plus Autoanalysator, med Skalar Autosampler San System 1070, Skalar Module holder/pump San System 4000, Skalar Matrix photometric detector SA 6250-02, Skalar Controller San System 8600, Skalar Autodiluter SA 1091-02, Skalar 16 channel data processing package type 8600.</p>			
<p>Målesikkerhet:</p> <p>45 målinger av en kaliumnitratløsning med konsentrasjon 400 $\mu\text{g/l}$ ga middelverdien 405 $\mu\text{g/l}$ og standardavviket 7,9 $\mu\text{g/l}$. 45 målinger av en EDTA-løsning med 400 $\mu\text{g/l N}$ ga tilsvarende 405 og 7,2 $\mu\text{g/l}$.</p>			
<p>Referanser:</p> <p>Norsk Standard, NS 4743. Vannundersøkelse – Bestemmelse av nitrogen etter oksidasjon med peroksidisulfat.</p>			

NIVA-metode nr.	Analysevariabel:	Måleenhet:	Labdatakode:
G 6	Totalt karbon og nitrogen	mg/l	TC/F, TN/F
Tittel:			
Bestemmelse av karbon og nitrogen i fast stoff med Carlo Erba elementanalysator.			
Anvendelsesområde:			
Metoden gjelder for bestemmelse av nitrogen og karbon i tørt stoff og i ikke-flyktige, tungt-flytende væsker, samt frafiltrert materiale på glassfiberfiltre. Konsentrasjonsområdet for bestemmelsen er 0.1 % - 100 %. Tørkede prøver må kunne homogeniseres til pulverform da uttaket pr. prøve er fra 0.5 mg til 10 mg. Deteksjonsgrenser : 0.1% nitrogen - 1.0 µg/mg N, 0.1% karbon - 1.0 µg/mg C.			
Prinsipp:			
Tørr prøve veies inn i tinnkapsler som forbrennes i oksygenmettet heliumgass ved ca. 1800 °C. Ved hjelp av katalysatorer vil forbrenningen bli fullstendig. Overskudd av oksygen fjernes ved hjelp av kobber ved ca. 650 °C. Her reduseres også nitrogenoksyder til N ₂ -gass. Forbrenningsgassene passerer deretter en kromatografisk kolonne, og N ₂ - og CO ₂ -gassene detekteres i en varmetrådsdetektor. Arealet under toppene integreres, og integralverdiene behandles av et PC-program. Resultatene regnes ut i prosent, skrives ut og lagres på diskett.			
Instrument(er):			
Carlo Erba Elementanalysator 1106, med prøveveksler AS 400 LS.			
Måleusikkerhet:			
84 målinger av sulfanilamid med teoretisk verdi 41.84 % C ga middelvei 41.66 % og standardavvik 0.22 % C. For nitrogen er teoretisk verdi 16.27 %, og 84 målinger ga her 16.37 og 0.36 % N.			
Referanser:			
CARLO ERBA STRUMENTAZIONE, ELEMENTAL ANALYZER 1106. Instruction manual. APPLICATION LAB REPORTS, Elemental analysis lab, Carlo Erba. January 1987.			

Naturens Tålegrenser - Oversikt over utgitte rapporter

- 1 Nygaard, P. H., 1989. Forurensningers effekt på naturlig vegetasjon en litteraturstudie. Norsk institutt for skogforskning (NISK), Ås.
- Uten nr. Jaworowski, Z., 1989. Pollution of the Norwegian Arctic: A review. Norsk polarinstitutt (NP), rapportserie nr. 55. Oslo.
- 2 Henriksen, A., Lien, L. & Traaen, T.S. 1990. Tålegrenser for overflatevann. Kjemiske kriterier for tilførsler av sterke syrer. Norsk institutt for vannforskning (NIVA), O-89210.
- 3 Lien, L., Henriksen, A., Raddum, G. & Fjellheim, A. 1989. Tålegrenser for overflatevann. Fisk og evertebrater. Foreløpige vurderinger og videre planer. Norsk institutt for vannforskning (NIVA), O-89185.
- 4 Bølviken, B. & medarbeidere, 1990. Jordforsuringsstatus og forsuringfølsomhet i naturlig jord i Norge. Norges geologiske undersøkelse (NGU), NGU-rapport 90.156. 2 bind (Bind I: Tekst, Bind II: Vedlegg og bilag).
- 5 Pedersen, H. C. & Nybø, S. 1990. Effekter av langtransporterte forurensninger på terrestriske dyr i Norge. En statusrapport med vekt på SO₂, NO_x og tungmetaller. Norsk institutt for naturforskning (NINA), Utredning 005.
- 6 Frisvoll, A. A., 1990. Moseskader i skog i Sør-Norge. Norsk institutt for naturforskning (NINA), Oppdragsmelding 018.
- 7 Muniz, I. P. & Aagaard, K. 1990. Effekter av langtransportert forurensning på ferskvannsdyr i Norge - virkninger av en del sporelementer og aluminium. Norsk institutt for naturforskning (NINA), Utredning 013.
- 8 Hesthagen, T., Berger, H. M. & Kvenild, L. 1992. Fiskestatus i relasjon til forsuring av innsjøer. Norsk institutt for naturforskning (NINA), Forskningsrapport 032.
- 9 Pedersen, U., Walker, S.E. & Kibsgaard, A. 1990. Kart over atmosfærisk avsetning av svovel- og nitrogenforbindelser i Norge. Norsk institutt for luftforskning (NILU), OR 28/90.
- 10 Pedersen, U. 1990. Ozonkonsentrasjoner i Norge. Norsk institutt for luftforskning (NILU), OR 28/90.
- 11 Wright, R. F., Stuanes, A. Reuss, J.O. & Flaten, M.B. 1990. Critical loads for soils in Norway. Preliminary assessment based on data from 9 calibrated catchments. Norsk institutt for vannforskning (NIVA), O-89153.
- 11b Reuss, J. O., 1990. Critical loads for soils in Norway. Analysis of soils data from eight Norwegian catchments. Norsk institutt for vannforskning (NIVA), O-89153.
- 12 Amundsen, C. E., 1990. Bufferprosent som parameter for kartlegging av forsuringfølsomhet i naturlig jord. Universitetet i Trondheim, AVH (stensil).
- 13 Flatberg, K.I, Foss, B., Løken, A. & Saastad, S.M. 1990. Moseskader i barskog. Direktoratet for naturforvaltning (DN), notat.
- 14 Frisvoll, A.A., & Flatberg, K.I., 1990. Moseskader i Sør-Varanger. Norsk institutt for naturforskning (NINA), Oppdragsmelding 55.
- 15 Flatberg, K.I., Bakken, S., Frisvoll, A.A., & Odasz, A.M. 1990. Moser og luftforurensninger. Norsk institutt for naturforskning (NINA), Oppdragsmelding 69.
- 16 Mortensen, L.M. 1991. Ozonforurensning og effekter på vegetasjonen i Norge. Norsk landbruksforsk. 5:235-264.
- 17 Wright, R.F., Stuanes, A.O. & Frogner, T. 1991. Critical Loads for Soils in Norway Nordmoen. Norsk institutt for vannforskning (NIVA), O-89153.
- 18 Pedersen, H.C., Nygård, T., Myklebust, I. og Sæther, M. 1991. Metallbelastninger i liryne. Norsk institutt for naturforskning (NINA), Oppdragsmelding 71.
- 19 Lien, L., Raddum, G.G. & Fjellheim, A. 1991. Tålegrenser for overflatevann evertebrater og fisk. Norsk institutt for vannforskning (NIVA), Rapport 0-89185,2.

-
- 20 Amundsen, C.E. 1992. Sammenlingning av parametre for å bestemme forsuringfølsomhet i jord. NGU-rapport 91.265.
- 21 Bølviken, B., R. Nilsen, J. Romundstad & O. Wolden. 1992. Surhet, forsuringfølsomhet og lettløselige basekationer i naturlig jord fra Nord-Trøndelag og sammenligning med tilsvarende data fra Sør Norge. NGU-rapport 91.250.
- 22 Sivertsen, T. & medarbeidere. 1992. Opptak av tungmetaller i dyr i Sør-Varanger. Direktoratet for naturforvaltning, DN-notat 1991-15.
- 23 Lien, L., Raddum, G.G. & A. Fjellheim. 1992. Critical loads of acidity to freshwater. Fish and invertebrates. Norwegian Institute for Water Research (NIVA), Rapport O-89185,3.
- 24 Fremstad, E. 1992. Virkninger av nitrogen på heivegetasjon. En litteraturstudie. Norsk institutt for naturforskning (NINA), Oppdragsmelding 124.
- 25 Fremstad, E. 1992. Heivegetasjon i Norge, utbredelseskart. Norsk institutt for naturforskning (NINA), Oppdragsmelding 188.
- 26 Flatberg, K.I. & Frisvoll, A. 1992. Undersøkelser av skader hos to sigdmoser i Agder. Norsk institutt for naturforskning (NINA), Oppdragsmelding 134.
- 27 Lindstrøm, E.A. 1992. Tålegrenser for overflatevann. Fastsittende alger. Norsk institutt for vannforskning (NIVA), O-90137/E-90440, rapport-2.
- 28 Brettum, P. 1992. Tålegrenser for overflatevann. Planteplankton. Norsk institutt for vannforskning (NIVA), O-90137/E-90440, rapport-3.
- 29 Brandrud, T.E., Mjelde, M. 1992. Tålegrenser for overflatevann. Makrovegetasjon. Norsk institutt for vannforskning (NIVA), O-90137/E-90440, rapport-1.
- 30 Mortensen, L.M. & Nilsen, J. 1992. Effects of ozone and temperature on growth of several wild plant species. Norwegian Journal of Agricultural Sciences 6: 195-204.
- 31 Pedersen, H.C., Myklebust, I., Nygård, T. & Sæther, M. 1992. Akkumulering og effekter av kadmium i lirype. Norsk institutt for naturforskning (NINA), Oppdragsmelding 152.
- 32 Amundsen, C.E. 1992. Sammenligning av relativ forsuringfølsomhet med tålegrenser beregnet med modeller, i jord. Norges geologiske undersøkelse. NGU-rapport 92.294.
- 33 Frogner, T., Wright, R.F., Cosby, B.J., Esser, J.M., Håøya, A.-O. & Rudi, G. 1992. Map of critical loads for coniferous forest soils in Norway. Norsk institutt for vannforskning (NIVA), O-91147.
- 34 Henriksen, A., Lien, L., Traaen, T.S. & Taubøll, S. 1992. Tålegrenser for overflatevann - Kartlegging av tålegrenser og overskridelser av tålegrenser for tilførsler av sterke syrer. Norsk institutt for vannforskning (NIVA), O-89210.
- 35 Lien, L., Henriksen, A. & Traaen, T.S. 1993. Tålegrenser for sterke syrer på overflatevann -Svalbard. Norsk institutt for vannforskning (NIVA), O-90102.
- 36 Henriksen, A., Hesthagen, T., Berger, H.M., Kvenild, L., Taubøll, S. 1993. Tålegrenser for overflatevann - Sammenheng mellom kjemisk kriterier og fiskestatus. Norsk institutt for vannforskning (NIVA), O-92122.
- 37 Odasz, A.M., Øiesvold, S., & Vange, V. 1993. Nitrate nutrition in *Racomitrium lanuginosum* (Hedw.)Brd., a bioindicator of nitrogen deposition in Norway. Direktoratet for naturforvaltning. Utredning for DN 1993-2.
- 38 Espelien, I.S. 1993. Genetiske effekter av tungmetaller på pattedyr. En kunnskapsoversikt. Norsk institutt for naturforskning (NINA), Utredning 051.
- 39 Økland, J. & Økland, K.A. 1993. Database for bioindikatorer i ferskvann - et forprosjekt . Laboratorium for ferskvannøkologi og innlandsfiske (LFI), Zoologisk Museum, Oslo, Rapport 144, 1993.
- 40 Aamlid, D. & Skogheim, I. 1993. Nikkel, kopper og andre metaller i multer og blåbær fra Sør-Varanger, 1992. Rapport Gkogforsk 14/93. 14/93.
-

- 41 Kålås, J.A., Ringsby, T.H. & Lierhagen, S. 1993. Metals and radiocesium in wild animals from the Sør-Varanger area, north Norway. Norsk institutt for naturforskning (NINA), Oppdragsmelding 212.
- 42 Fløisand, I. & Løbersli, E. (red.) 1993. Tilførsler og virkninger av lufttransporterte forurensninger (TVLF) og Naturens tålegrenser. Sammendrag av foredrag og postere fra møte i Stjørdal, 15.-17.februar 1993. Norsk institutt for luftforskning (NILU), OR 17/93.
- 43 Henriksen, A. & Hesthagen, T. 1993. Critical load exceedance and damage to fish populations. Norsk institutt for vannforskning (NIVA), O-89210.
- 44 Lien, L., Henriksen, A. & Traaen, T.S. 1993. Critical loads of acidity to surface waters, Svalbard. Norsk institutt for vannforskning (NIVA), O-90102.
- 45 Løbersli, E., Johannessen, T. & Olsen, K.V (red.) 1993. Naturens tålegrenser. Referat fra seminar i 1991 og 1992. Direktoratet for naturforvaltning, DN-notat 1993-6.
- 46 Bakken, S. 1993. Nitrogenforurensning og variasjon i nitrogen, protein og klorofyllinnhold hos barskogsmosen blanksigd (*Dicranum majus*). Direktoratet for naturforvaltning (DN). Utredning for DN 994-1.
- 47 Krøkje, Å. 1993. Genotoksisk belastning i jord . Effekstudier, med mål å komme fram til akseptable grenser for genotoksisk belastning fra langtransportert luftforurensning. Direktoratet for naturforvaltning (DN). Utredning for DN 1994-2.
- 48 Fremstad, E. 1993. Heigråmose (*Racomitrium lanuginosum*) som indikator på nitrogenbelastning. Norsk i nstitutt for naturforskning (NINA) Oppdragsmelding 239.
- 49 Nygaard, P.H. & Ødegaard, T.H. 1993. Effekter av nitrogen gjødsling på vegetasjon og jord i skog. Rapport Skogforsk 26/93.
- 50 Fløisand, I. og Johannessen, T. (red.) 1994. Langtransporterte luftforurensninger. Tilførsler, virkninger og tålegrenser. Sammendrag av foredrag og postere fra møte i Grimstad, 7.-9.3.94. Norsk institutt for luftforskning NILU OR: 17/94
- 51 Kleivane, L. Skåre, J.U. & Wiig, Ø. 1994. Klorerte organiske miljøgifter i isbjørn. Forekomst, nivå og mulige effekter. Norsk Polarinstitutt Meddelelse nr. 132.
- 52 Lydersen, E., Fjeld, E. & Andersen, T. 1994. Fiskestatus og vannkjemi i norske innsjøer. Norsk institutt for vannforskning (NIVA) O-93172
- 53 Schartau, A.K.L. (red.) 1994. Effekter av lavdose kadmium-belastning på littorale ferskvanns-populasjoner og -samfunn. Norsk institutt for naturforskning (NINA) Forskningsrapport 055.
- 54 Mortensen, L. (1994). Variation in ozone sensitivity of *Betula pubescens* Erh. from different sites in South Norway. Direktoratet for naturforvaltning (DN). Utredning for DN, Nr. 1994-6.
- 55 Mortensen, L. (1994). Ozone sensitivity of *Phleum alpinum* L. from different locations in South Norway. Direktoratet for naturforvaltning (DN). Utredning for DN, Nr. 1994-7.
- 56 Frogner, T., Wright, R.F., Cosby, J.B. and Esser, J.M. (1994). Maps of critical loads and exceedance for sulfur and nitrogen to forest soils in Norway. Norsk institutt for vannforskning (NIVA) O-91147.
- 57 Flatberg, K.I. & Frisvoll, A.A. 1994. Moseskader i Agder 1989-92 (1994). Norsk institutt for naturforskning (NINA), Oppdragsmelding 298.
- 58 Hesthagen, T. & Henriksen, A. (1994). En analyse av sammenhengen mellom overskridelser av tålegrenser for overflatevann og skader på fiskebestander. Norsk institutt for naturforskning (NINA), Oppdragsmelding 288.
- 59 Skåre, J.U., Wiig, Ø. & Bernhoft, A. (1994). Klorerte organiske miljøgifter; nivåer og effekter på isbjørn. Norsk Polarinstitutt Rapport nr. 86 - 1994.

- 60 Tørseth, K. & Pedersen, U. 1994. Deposition of sulphur and nitrogen components in Norway. 1988-1992. Norsk institutt for luftforskning (NILU): OR 16/94.
- 61 Nygaard, P.H. 1994. Virkning av ozon på blåbær (*Vaccinium myrtillus*), etasjehusmose (*Hylocomium splendens*), furumose (*Pleurozium schreberi*) og krussigd (*Dicranum polysetum*). Rapport Skogforsk 9/94.
- 62 Henriksen, A. & Lien, L. 1994. Tålegrenser for overflatevann: Metode og usikkerheter. Norsk institutt for vannforskning (NIVA), O-94122.
- 63 Hilmo, O. & Larssen, H.C. 1994. Morfologi hos epifyttisk lav i områder med ulik luftkvalitet. ALLFORSK Rapport 2.
- 64 Wright, R.F. 1994. Bruk av dynamiske modeller for vurdering av vann- og jordforsuring som følge av redusert tilførsel av sur nedbør. Norsk institutt for vannforskning (NIVA), O-94112.
- 65 Hesthagen, T., A. Henriksen & Kvenild, L. 1994. Overskridelser av tålegrenser for overflatevann og skader på fiskebestander i norske innsjøer med spesiell vekt på Troms og Finnmark. Norsk institutt for naturforskning (NINA), Oppdragsmelding 298.
- 66 Sagmo Solli, I.M, Flatberg, K.I.F., Söderström, L., Bakken S. & Pedersen, B. 1996. Blanksigd og luftforurensningsstudier. NTNU. Vitenskapsmuseet. Rapport botanisk serie 1996-1.
- 67 Stuanes, A. & Abrahamsen, G. 1996. Tålegrenser for nitrogen i skog - en vurdering av kunnskapsgrunnlaget. Aktuelt fra Skogforsk 7-96.
- 68 Ognér, G. 1995. Tålegrenser for skog i Norge med hensyn til ozon. Aktuelt fra Skogforsk 3-95.
- 69 Thomsen, M., Nellemann, C. Frogner, T., Henriksen A., Tomter, S. & Mulder, J. 1995. Tilvekst og vitalitet for granskog sett i relasjon til tålegrenser og forurensning. Rapport fra Skogforsk 22-95.
- 70 Tomter, S. M. & Esser, J. 1995. Kartlegging av tålegrenser for nitrogen basert på en empirisk metode. Norsk institutt for jord- og skogkartlegging (NIJOS). Rapport nr 10/95.
- 71 Pedersen, H.Chr. (red.). 1995. Kadmium og bly i lirype: akkumulering og cellulære effekter. Stiftelsen for naturforskning og kulturminneforskning (NINA-NIKU) Oppdragsmelding 387
- 72 Bakken, S. & Flatberg, K.I.F. 1995. Effekter av økt nitrogendeposisjon på ombrotrof myrvegetasjon. En litteraturstudie. ALLFORSK Rapport 3.
- 73 Sogn, T.A., Stuanes, A.O. & Abrahamsen, G. 1995. Akkumulering av nitrogen - en kritisk parameter for beregning av tålegrenser for nitrogen i skog. Rapport fra Skogforsk 21/95.
- 74 Nygaard, P.H. & Eldhuset, T. 1996. Forholdet mellom basekationer og aluminium i jordløsning som kriterium for tålegrenser i skogsjord. Norsk institutt for skogforskning (NISK). Rapport fra Skogforsk 1/96
- 75 Mortensen, L. 1993. Effects of ozone on growth of several subalpine plant species. *Norw. J. Agric. Sci.* 7: 129-138.
- 76 Mortensen, L. 1994. Further studies on the effects of ozone concentration on growth of subalpine plant species. *Norw. J. Agric. Sciences* 8:91-97.
- 77 Fløisand, I. & Løbersli, E. (red.) 1996. Lufttransporterte forurensninger - tilførsler, virkninger og tålegrenser. Norsk institutt for luftforskning (NILU) OR 2/96.
- 78 Thomsen, M.G., Esser, J., Venn, K. & Aamlid, D. 1996. Sammenheng mellom træs vitalitet og næringsstatus i nåler og humus på skogovervåkingsflater i Sørøst-Norge (in prep).
- 79 Tørseth, K., Mortensen, L. & Hjellbrekke, A.-G. 1996. Kartlegging av bakkenær ozon etter tålegrenser basert på akkumulert dose over 40 ppb. Norsk institutt for luftforskning (NILU) OR 12/96.
- 80 Esser, J.M. & Tomter, S.M. 1996. Reviderte kart for tålegrenser for nitrogen basert på empiriske verdier for ulike vegetasjonstyper. Norsk institutt for jord- og skogkartlegging (NIJOS).

- 81 Henriksen, A., Hindar, A., Styve, H., Fjeld, E. & Lien, L. 1996. Forsuring av overflatevann, beregningsmetodikk, trender og motiltak. Norsk institutt for vannforskning (NIVA). Rapport LNR 3528-96.
- 82 Henriksen, A., Hesthagen, T. & Fjeld, E. 1996. Overskridelser av tålegrenser for overflatevann og skader på fiskebestander. Norsk institutt for vannforskning (NIVA). Rapport LNR 3565-96.
- 83 Wright, R. F., Raastad, I.A., & Kaste, Ø. 1996. Atmospheric deposition of nitrogen, runoff of organic nitrogen, and critical loads for soils and waters. Norsk institutt for vannforskning (NIVA) Report SNO 3592-97
- 84 Mortensen, L.M. 1995. The influence of ozone pollution on growth of young plants of *Betula pubescens* Ehrh. And *Phleum alpinum* L. Dose-response relations. *Norw. J. Agr. Sci.* 9:249-262
- 85 Mortensen, L.M. 1996. Ozone sensitivity of *Betula pubescens* at different growth stages after budburst in spring. *Norw. J. Agr. Sci.* 10:187-196.
- 86 Tørseth, K., Rosendahl, K.E., Hansen, A.C., Høie, H. & Mortensen, L.M. 1997. Avlingstap som følge av bakkenært ozon. Vurderinger for perioden 1989-1993. SFT-rapport.
- 87 Rognerud, S, Hognve, D. & Fjeld, E. 1997. Naturlige bakgrunnskonsentrasjoner av metaller. Kan atmosfæriske avsetninger påvirke metall-konsentrasjoner slik at det ikke reflekterer berggrunnens geokjemi? Norsk institutt for vannforskning (NIVA) Rapport LNR 3670-97
- 88 Skjelkvåle, B.L., Wright, R.F. & Tjomsland, T. 1997. Vannkjemi, forsuringsstatus og tålegrenser i nasjonalparker; Femundsmarka og Rondane. Norsk institutt for vannforskning (NIVA) Rapport LNR 3646-97
- 89 Nordbakken; J.-F. 1997. Småskalaendringer i ombrotrof myrvegetasjon i SØ-Norge 1990/91-96. Botanisk Hage og Museum, Univ. Oslo Rapp. 1
- 90 Sogn, T.A., Kjønås, J., Stuanes, A.O., & Abrahamsen, G. 1997. Akkumulering av nitrogen - variasjoner avhengig av bestandsutvikling, nitrogen tilførsel og simulert snødekke. Norges Landbrukskøleskole, Institutt for jord- og vannfag, Rapport nr. 10/97.
- 91 Nygaard, P.H., Ødegård, T. & Flatberg, K.I.F. Vegetasjonsendringer over 60 år i fattig skog- og myrvegetasjon i Karlshaugen skogreservat. Skogforsk (in prep)
- 92 Knutzen, J., Gabrielsen, G.W., Henriksen, O.E., Hylland, K., Källqvist, T., Nygård, T., Pacyna, J.S. Skjeggstad, N. & Steinnes, E. 1997. Assessment of the applicability for pollution authorities of the concept "critical load" of long-range transported micropollutants in relation to aquatic and terrestrial ecosystems. Norsk institutt for vannforskning (NIVA) Report SNO 3751-97.
- 93 Tørseth, K. & Semb, A. 1997. Deposition of major inorganic components in Norway 1992-1996. Norsk institutt for luftforskning (NILU), OR 67/97.
- 94 Henriksen, A. 1998. Application of the first order acidity balance (FAB) model to Norwegian surface waters. Norsk institutt for vannforskning (NIVA) Report SNO 3809-98
- 95 Sogn, T.A. & Wright, R.F. 1998. The model MERLIN applied to Nordmoen, Norway. Norsk institutt for vannforskning (NIVA) Report SNO 3844-98
- 96 Skjelkvåle, B.L. & A. Henriksen, 1998. Vannkjemi, forsuringsstatus og tålegrenser i nasjonalparker; Hardangervidda. Norsk institutt for vannforskning (NIVA). Report SNO 3895-98
- 97 Henriksen, A. 1998. Binding grid cells – Norway. An evaluation. Norsk institutt for vannforskning (NIVA) Report SNO 3942-98
- 98 Lükewille, A. & A. Semb. 1998. Deposition in Norwegian Mountain areas. Norsk institutt for luftforskning (NILU) OR 66/97
- 99 Strand, L.T., Stuanes, A.O. & G. Abrahamsen. 1998. Akkumulering av karbon og nitrogen i unge jordsmonn. Institutt for jord og vannfag, rapport nr 9/98.

- 100 Wright, R.F. & Henriksen, A. 1999. Gap closure; use of MAGIC model to predict time required to achieve steady-state following implementation of the Oslo protocol. Norsk institutt for vannforskning (NIVA) Report SNO 4012-99
- 101 Henriksen, A. 1999. Tålegrenser i fjellområder. Hva vet vi og hva bør vi vite? Rapport fra seminar 16.-17. Februar 1999. Rondablikk Føyfjellshotell. Norsk institutt for vannforskning (NIVA) Rapport LNR 4017-99
- 102 Wright, R.F. 1999. Risk of N leaching from forests to surface waters in Norway. Norsk institutt for vannforskning (NIVA) Report SNO 4038-99
- 103 Wright, R.F., Mulder, J. & Esser, J.M., 1999. Soils in mountain uplands regions of southwestern Norway: nitrogen leaching and critical loads. Norsk institutt for vannforskning (NIV) Report SNO 4130-99
- 104 Lindstrøm, E.A., Kjellberg, G. & Wright, R.F. 1999. Tålegrensen for nitrogen som næringsstoff i norske fjellvann: økt "grønske"? Norsk institutt for vannforskning (NIVA) Rapport LNR 4187-2000
- 105 Thomsen, M.G. & Nellemann, Chr. 2000. Mortalitet og tilvekst i relasjon til forurensningsbelastningen i Sør Norge 1920-2000 (under trykking)
- 106 Henriksen, A & Buan, A.K. 2000. Tålegrenser og overskridelse av tålegrenser for overflatevann, skogsjord og vegetasjon i Norge. Norsk institutt for vannforskning (NIVA. Rapport LNR 4179-2000
- 107 Aarrestad, P.A. & Vandvik, V. 2000. Vegetasjonsendringer i vestnorsk kystlynghei - effekter av skjøtselsformene brann og sauebeite ved rehabilitering av gammel lynghei på Lurekalven i Hordaland. - NINA fagrapport 044.

Henvendelser vedrørende rapportene rettes til utførende institusjon