

RAPPORT LNR 4078-99

Deposisjon av
fosfor i Norge – status,
vurdering av behovet
for kartlegging og forslag
til gjennomføring

FORPROSJEKT

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 A/S

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

Titel Deposisjon av fosfor i Norge – status, vurdering av behovet for kartlegging og forslag til gjennomføring. Forprosjekt.	Løpnr. (for bestilling) 4078-99	Dato 1.juli 1999
	Prosjektnr. Undernr. E-98418	Sider Pris 21
Forfatter(e) Anja Skiple og Anke Lükewille (NILU)	Fagområde	Distribusjon
	Geografisk område Norge	Trykket NIVA

Oppdragsgiver(e) NIVA og NILU	Oppdragsreferanse E-98418
---	-------------------------------------

Sammendrag I Norge blir det idag ikke gjennomført overvåkning av atmosfærisk fosfordeposisjon. De koeffisientene som brukes idag er basert på eldre målinger med variabel metodikk. Undersøkelser viser at der nedbørfeltet er lite i forhold til innsjøens overflate, kan P-deposisjonen spille en avgjørende betydning. Videre viser undersøkelser en klar årstidsvariasjon med høyest konsentrasjoner om sommeren og lavest konsentrasjoner om vinteren. De regionale koeffisientene som brukes idag ser ut til å ligge høyere enn det som er observert i andre skandinaviske land. Det anbefales å måle P-deposisjonen både for tørr- og våtdeposisjon på utvalgte steder i Norge gjennom en årssyklus. Det bør også studeres i hvilken grad deposisjonen av fosfor påvirker algeveksten i vassdrag og på land, og mer generelt hvordan forfordeposisjonen kan virke inn på både forsuring og eutrofiering i ferskvann.

Fire norske emneord 1. Deposisjon 2. Fosfor 3. Status 4. Prosjektbeskrivelse	Fire engelske emneord 1. Deposition 2. Phosphorus 3. Status 4. Project proposal
---	--

Anja Skiple
Anja Skiple

Prosjektleder

Jan Sørensen

Forskningsleder

ISBN 82-577-3684-8

Bente M. Wathne
Bente M. Wathne

Forskningsjef

Forprosjekt

Deposisjon av fosfor i Norge - status, vurdering av behovet for kartlegging og forslag til gjennomføring

Forord

NIVA og NILU bidro i 1998 med egenfinansiering av et forprosjekt på fosfordeposisjon i Norge for å kartlegge de målinger som har blitt utført i Norge og kunnskapsstatus på dette området. Ut i fra dette studiet, har SFT bevilget finansiering til en mer grundig kartlegging av fosfordeposisjon på enkelte stasjoner i Norge. Det blir oppstart på målinger av tørr- og våtavsetning av fosfor på to stasjoner i august 1999. Målingene skal i første omgang pågå gjennom en årssyklus, og prosjektet skal sluttrapporteres høsten 2000.

Oslo, 1. juni 1999

Anja Skiple

Innhold

Sammendrag	5
Summary	6
1. Innledning	7
2. Norske undersøkelser av fosfordeposisjon	9
2.1 1977-1978 i Telemark	9
2.2 SNSF-prosjektet	9
2.3 Total fosfor i snøsøyler	10
2.4 Tyrifjord-prosjektet	11
2.5 Skjervatjern, Sogn og Fjordane	11
2.6 Maridalsvannet	11
3. Utenlandske undersøkelser av fosfordeposisjon	12
4. Konklusjon og anbefalinger	15
5. Litteratur	17
Vedlegg A. Prosjektforslag for 1999/2000	20

Sammendrag

Formålet med denne rapporten er å sammenstille de målingene av fosfordeposisjon som er utført i Norge og land som det er naturlig å sammenligne seg med. Det blir i dag ikke gjennomført noen rutinemessige analyser av fosforinnholdet i atmosfærisk deposisjon i Norge, men enkelte målinger har sporadisk funnet sted. Steder eller prosjekter der måling av fosfordeposisjon har inngått har bl.a. vært Telemark, SNSF-prosjektet, Tyrifjord-prosjektet, HUMEX-prosjektet og Maridalsvannet. De fleste målinger ble utført på 1970-tallet. Disse resultatene er framkommet med ulike metodikk og viser stor variasjon fra sted til sted. Undersøkelsene fra Telemark i 1977-1978 viste høyeste verdier med en gjennomsnittlig P-koeffisient på 34 mg P/m²/år, mens målinger av fosfat i Sogn og Fjordane stort sett var under deteksjonsgrensa.

Undersøkelser fra Nord-Europa, Canada og USA viser også stor variasjon i koeffisientene av fosfor. I Sverige varierer koeffisientene mellom 5 og 13 mg P/m²/år, mens det i Nord-Tyskland er målt verdier opp til 120 mg P/m²/år. I innsjøer med lite nedbørfelt i forhold til innsjøarealet har atmosfæriske deposisjonen vist seg å være en viktig bidragsyter til fosfor i innsjøen.

Fleire undersøkelser viser at deposisjonen av fosfor varierer mye gjennom året, de høyeste konsentrasjoner sommer og høst og de laveste konsentrasjoner registreres om vinteren. Dette kan skyldes større aktivitet, både biologisk og jordbruksaktivitet, i sommerhalvåret.

Denne sammenstillingen viser at det er et behov for ytterligere kartlegging av fosfordeposisjonen i Norge og en næyere gjennomgang av hvilken betydning deposisjon av fosfor har i norske akvatiske økosystemer. Det ser også ut som om de koeffisientene som brukes i Norge i dag ligger noe høyt i forhold til målinger gjort i bl.a. Sverige og Finland.

Summary

Title: Phosphorus deposition in Norway - status, assessment of the need of mapping and proposal of an implementation plan

Year:1999

Author: Anja Skiple and Anke Lükewille

Source: Norwegian Institute for Water Research, ISBN No.: ISBN 82-577-3684-8

The study's main objective is to give an overview of measurements undertaken on phosphorus deposition in Norway and other comparable countries. Today, no measurements of phosphorus deposition are undertaken on a regular basis in Norway.

Earlier measurements, mostly performed in the 1970's, were linked to projects on acidification and eutrophication. Different methodologies were used and the results vary considerably from one place to another. The measurements from the County of Telemark in Central Norway in 1977 and 1978 show the highest values with an average P coefficient on 34 mg P/m²/year, while the measurements from the County of Sogn and Fjordane in Western Norway are mostly below the detection limit.

Measurements from North Europe, Canada and USA show large variations in the phosphorus coefficients. In Sweden, the coefficients vary from 5 to 13 mg P/m²/year, while in Northern Germany values up to 120 mg P/m²/year are recorded. In lakes with an relatively small catchment area compared to the lake surface area, the atmospheric deposition tends to be an important source of phosphorus to the lakes.

Many investigations show that phosphorus deposition varies a lot during a year, highest concentrations are normally observed in the summer and autumn, and lowest concentrations in the wintertime. This is probably due to more biological activity and higher agricultural activity in the summer.

This study shows that there is a need for further mapping of phosphorus deposition in Norway, as well as a closer study on what role deposition of phosphorus plays in Norwegian aquatic ecosystems. The regional coefficients used today seem to be somewhat higher than the results of measurements carried out in other Scandinavian countries like Sweden and Finland.

1. Innledning

Det blir i dag ikke gjennomført noen rutinemessige analyser av fosforinnholdet i atmosfærisk deposisjon i Norge, men enkelte målinger har sporadisk funnet sted. Litteraturen viser et stort spenn av koeffisienter avhengig av hvor målingene utføres i verden. Deposisjon av fosfor er i stor grad knyttet opp mot tørredeposisjon av partikler (støv, pollen o.l.) fra nærområdet, og det har derfor vært vanskelig å fastslå noen regionale tall.

Det atmosfæriske bidraget av fosfor varierer mye over året, siden det er nært knytt opp mot fordelingen av nedbør. I luft vil fosfor i hovedsak være bundet til aerosolpartikler. Endel av disse vil være uorganiske mineralpartikler fra forbrenning av kull (flyveaske), eller fra prosessindustrien bl.a. fra sementproduksjon og jern- og stålverk. Disse uorganiske mineralpartiklene utgjør 5-10 % av en samlet aerosol-konsentrasjon (ca. $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$), og det er omtrentlig det samme som jordskorpas gjennomsnittlige sammensetning. En annen viktig komponent er partikler av biologisk opprinnelse som pollen, sporer og fragmenter av planter og dyr. Slike biologiske partikler kan transporteres over lange avstander, men kan også ha lokalt opphav.

Generelle mønster for deposisjonen av fosfor har vist seg å være svært lave avsetninger over havområder og i polområdene, og svært høye avsetninger i nærheten av ørkenområder og urbane strøk. I jordbruksområder er det også generelt store avsetninger av fosfor.

I Danmark har det blitt målt orthofosfat på stasjonsnettet til Danmark Miljøundersøkelser (DMU-FOLU) siden 1991. Fosfor er riktignok kun ansett som en "støtte-parameter" i programmet, idet høye fosforverdier kan avsløre som prøvene er kontaminert med biologisk materiale. På 1970-tallet ble det gjennomført en rekke undersøkelser av P-deposisjon, for det meste i USA og Canada, som viste at fosfor som ble avsatt direkte på innsjøoverflata var en viktig kilde til innsjøenes fosforbudsjetter (Schindler og Nighswander 1970, Schindler et al. 1976, Dillon 1974, Armstrong og Schindler 1971 og Rigler 1974).

Aktuelle problemstillinger der fosfordeposisjon inngår er som følger:

- Det er observert en generell økt algevekst i Norge (f.eks. på trær, veier, hus). Det er også en stor økning i algeveksten i uberørte vassdrag i mange av de norske fjellområdene. Atmosfærisk fosfor spiller trolig en avgjørende betydning.
- I forsurningsprosjekter har det blitt mer viktig å se på sammensetningen av plantenes næringsstoffer i nedbørfeltet og i vassdragene. Fosfor kan gi mindre avrenning av nitrat fra sure skog- og heiområder, og fordelingen av fosfor blir da en viktig parameter i tålegrensearbeidet.
- Ved kartlegging av ulike kilder av fosfor til havområder inngår direkte deposisjon på vannoverflater som en egen kilde. Tallene er imidlertid basert på unøyaktige estimater, og regionale forskjeller (nedbørfeltrelaterte) som er den geografiske oppløsningen det blir anbefalt å rapportere etter, kommer ikke fram i beregningene. Deposisjon er også utgangspunktet for beregning av bakgrunnsavrenning. I Norge utgjør denne delen ca. 35 % av de totale fosfortilførslene til Nordsjøen.
- I SFT's veileder (SFT 1995) på tilførselsberegning innen arbeidet med "Miljømål for vannforekomstene" blir det benyttet koeffisienter for P-deposisjon som er basert på grove estimater (Tabell 7).
- I tiltaksplanlegging for belastede innsjøer blir det vanskelig å lage et fullstendig fosforbudsjett, siden det atmosfæriske bidraget av fosfor er svært usikkert. P-deposisjon kan være spesielt viktig i innsjøer med lite nedbørfelt i forhold til innsjøarealet.

Formålet med denne rapporten er å sammenstille de målingene av fosfordeposisjon som er utført i Norge og land som det er naturlig å sammenligne seg med. Denne sammenstillingen blir brukt til å vurdere behovet for ytterligere undersøkelser i Norge. Regionale tall vil være svært nyttig ved vurdering av det atmosfæriske bidraget til eutrofiering av økosystemer i ferskvann og havområder.

2. Norske undersøkelser av fosfordeposisjon

2.1 1977-1978 i Telemark

Det ble målt fosfordeposisjoner og nedbør på 18 steder i Telemark fylke i perioden 1977-1978 i regi av NIVA (Rognerud et al. 1979). Deposisjonsraten varierte fra 20 til 86 kg P/km²/år med en middelvei på 34 kg P/km²/år. Fosforet besto av 54 % partikulært materiale, 24 % løselig ureaktivt og 22 % løselig reaktivt fosfor. Den årlige deposisjonen av fosfor viste ingen korrelasjon med hverken nedbør eller menneskelig aktivitet. Deposisjonen var høyest tidlig på sommeren og om høsten, og lavest gjennom den snødekte perioden om vinteren. Tidlig på sommeren oppstår det lett vinderosjon, det blir utført jordbearbeiding i jordbruksområder og i tillegg er det mye pollen i lufta, noe som kan forklare de høyeste verdiene på forsommeren. Høye verdier om høsten kan igjen forklares med jordbearbeiding. Siden fosfordeposisjonen ble drastisk lavere når snøen kom og forholdt seg lav hele vinteren, viste dette at det meste av den atmosfæriske avsetningen av fosfor ikke var langtransportert. Resultatene som framkom ble benyttet på fosforbudsjettene til noen store, norske innsjøer. Det atmosfæriske bidraget viste seg i denne framstillingen å variere fra 0,2 til 49 % avhengig av forholdet mellom innsjøareal og nedbørfeltareal.

Ved lange regnbyger er det nedbørsvannet i de første minuttene som inneholder mest fosfor. Det kan virke som om regnet vasker lufta rein for partikler. Deposisjon av fosfor har vist seg å være en følge av kontinuerlige resuspensjon- og sedimentasjonsprosesser. I Telemark-prosjektet, kunne det se ut som om fosforpartikler fra bratte skog- og fjellområder ble avsatt i bunnen av dalen ("funnel effekt"). Siden fosfordeposisjonen for det meste er av lokal opprinnelse, så bør ikke atmosfærisk fosfordeposisjon bli beregnet som en egen kilde ved estimering av fosfor input til terrestriske økosystemer. Den deposisjonen som kommer direkte på vannflata til en innsjø er det derimot nødvendig å ta med i beregningene.

2.2 SNSF-prosjektet

Innen SNSF-prosjektet (Sur Nedbørs virkning på Skog og Fisk) ble det målt på løselig reaktivt fosfor (SRP). SRP varierte fra 2 til 8 µg P/l på ulike stasjoner i Norge på 70-tallet, noe som er i samme størrelsesorden som målingene fra Telemark i 1977-1978. Feltmetoden innenfor SNSF-prosjektet var daglige nedbørsprøver. På dager med nedbør, ble det samlet totaldeposisjon ("bulk"), og på dager uten nedbør ble prøvesamlerne skyllet med destillert vann for å få med tørredeposisjonen. Dette var den samme prosedyren for innhenting av nedbør som ble gjennomført innen LRTAP-prosjektet (Long Range Transport of Air Pollutants) i regi av OECD.

SRP konsentrasjonene på Østlandet (Langtjern) viste høyere verdier enn på Vestlandet, men siden det regner mer på Vestlandet, blir depositionsratene omtrent jamstore. På de to svenske stasjonene (Tabell 1), er total P høyere enn SRP målt i Norge, noe som kan indikere at en god del av P blir deponert i andre former enn løselig orto-fosfat.

Tabell 1. Løselig reaktivt fosfor (SRP) målt innen SNSF-prosjektet.

Stasjon	Periode	SRP kg/km ² /år	Referanse
Langtjern	Nov 73 -Okt 76	4,5	Wright og Henriksen 1980
Birkenes	Juli 73-Jun 76	8,3	Gjessing et al. 1976 b
Treungen	Sept73-June 76	3,6	Johannessen og Joranger 1976
Fillefjell	Mai 73-April75	2,7	Dovland 1976
Fivelsdal	1974-1978	6,8	Skartveit et al. 1979
Stend	1974-1978	7,8	"
Kvamsdal	1974-1978	6,2	"
Voss	1977-1978	2,3	"
Skåldalen	1977-1978	5,0	"
Breidvikdal	1977-1978	5,9	"
Kunokkel, Sverige	1971-1975	5,6*	Jansson 1979
Storsjøen, Svergie	1971-1975	14*	Likens at al. 1977

* Total fosfor

2.3 Total fosfor i snøsøyler

I mars 1975 ble det samlet inn 121 prøver av snøsøyler i Sør-Norge (Dale et al. 1975 og Gjessing et al. 1976). 76 % av disse prøvene inneholdt total fosfor på 0-5 µg P/l og bare 7 % av prøvene hadde konsentrasjoner over 10 µg P/l. Disse prøvene er ikke antatt å inneholde P fra lokale kilder innen industri eller landbruk. For Langtjern-området viser snøprøvene en konsentrasjon av total P på 10 µg/l, samtidig som den løslige fraksjonen er målt til 6 µg/l innen SNSF-prosjektet.

2.4 Tyrifjord-prosjektet

I forbindelse med Tyrifjordundersøkelsen 1978-1981, ble det analysert på deponisjoner av fosfor (Berge 1983). Det ble plassert ut nedbørfeller på 4 stasjoner i nærheten av innsjøen. Analysene av blant annet fosfor ble foretatt på månedsblandprøver, og beregningene gjort ved å multiplisere konsentrasjon med oppsamlet volum. Det ble benyttet et filter på 95 μm nederst i trekten for å unngå insekter og blader å komme ned i oppsamlingstanken.

Tabell 2. Årlig atmosfærisk fosfor avsetning (nedbør + tørravsetning) nær Tyrifjorden, gitt som $\text{kg}/\text{km}^2/\text{år}$.

Hungerholdt		Ask		Fossum	Stubdal
1980	1981	1980	1981	1981	1981
19	17	30	22	13	13

Det at Hungerholdt og Ask hadde en høyere avsetning enn de andre stasjonene, kan forklares med at de er mer påvirket av jordbruk, og dermed er det mer jordstøv i lufta.

2.5 Skjervatjern, Sogn og Fjordane

I perioden januar-november 1995 ble det også målt ukentlige deponisjoner av fosfat i forbindelse med HUMEX-prosjektet ved Skjervatjern i Sogn og Fjordane (NIVA, upubl. materiale Espen Lydersen). De fleste av observasjonene var under deteksjonsgrensa, noe som kan tyde på svært lave deponisjonsrater av fosfor på Vestlandet. De høyeste konsentrasjonene ble målt i mai og juni, med maksimal observasjon på 0,016 mg/l .

2.6 Maridalsvannet

I 1989 ble det gjennomført en undersøkelse av bl.a. deponisjonen av fosfor ved og på Maridalsvannet ved Oslo (NIVA, upubl. materiale Gjertrud Holtan). Det ble hentet inn ukesblandprøver ved fire stasjoner, og analysert på total fosfor.

Tabell 3. Fosfordeponisjon på ulike stasjoner ved og på Maridalsvannet.

Stasjon	Tot P $\text{Kg}/\text{km}^2/\text{år}$	Antall uker
Sør	14	29 (med regn)
	10	39 (totalt)
Vest	21	30 (med regn)
	16	40 (totalt)
Øst	14	29 (med regn)
	10	39 (totalt)
På innsjøen	12	30 (med regn)
	9	40 (totalt)

3. Utenlandske undersøkelser av fosfordeposisjon

Undersøkelser fra Nord-Europa, Canada og USA viser også stor variasjon i deposisjonen av fosfor. I Sverige varierer koeffisientene mellom 5 og 13 mg P/m²/år, mens det i Nord-Tyskland er målt verdier opp til 120 mg P/m²/år. I Finland og i Danmark er det observert verdier i samme størrelseorden mellom 6 og 24 mg P/m²/år. En rekke undersøkelser fra Holland viser koeffisienter under 10 mg P/m²/år. Canada har verdier mellom 5 og 35 mg P/m²/år med laveste verdier i nord og høyeste verdier i sentrale og østlige deler av landet. Det er observert verdier opp mot 90 mg P/m²/år i USA, men stort sett viser undersøkelsene koeffisienter under 30 mg P/m²/år (Tabell 4).

Tabell 4. Fosfordeposisjon målt som "bulk-deposisjon" i en rekke utenlandske undersøkelser.

Område	Periode	mg P/m ² /år	Referanse
Sørlige Sverige		13	Ahl 1988
Laholm, Sverige		13	MST 1988
Sverige		6-10	Løfgren og Olson 1990
Stugsjøen, Sverige		5,5	Jansson 1979
Gårdsjøen, Sverige		8	Jansson et al. 1986
Finland		6-22	Happala 1977
Nordlige Holland	1978-1984	10	KNMI/RIVM 1986
Nordlige Holland	1984	6,5	KNMI/RIVM 1986
Nordlige Holland	1983-1987	7,7	KNMI/RIVN 1990
Nordlige Holland	1988	4,6 ¹	KNMI/RIVN 1990
Holland		4	Draaijers 1993
Nord-Tyskland	1980-1985	20-120	Bredemeier 1987
Nord-Tyskland	1989-1990	8-53	Spranger 1992
Midt-Tyskland	1969-1985	10-100	Matzner 1988
Midtjylland, Danmark	1987-1988	8	Grundahl og Grønbech 1990
Fyn, Danmark	1991	9-17	Fyns Amt 1992
Vestjylland, Danmark	1987	24	Andersen 1989
Polen		4,2 (sommer)	Kowalczewski og Rybak 1981
Østerrike		1,3 (sommer)	Psenner 1984
Narrow Lake, Canada	1983-1986	20	Shaw et al. 1989
Canada, nord		4,6	Schindler et al. 1973
Canada, sentral		24-35	Schindler et al. 1976

¹ Innsamling med "Wet only sampler"

Canada, øst	30	Schindler og Nighswander 1970
Nord-Amerika	20-90	Graham og Duce 1979
USA, New Hampshire	5 (SRP-våt) ²	Likens et al. 1985
USA, New Hampshire	2,4-2,8 (sommer)	Cole et al. 1990
USA, Colorado	1,9-15 (sommer)	Lewis et al. 1985
USA, California	2-6 (SRP-våt) ²	Jassby et al. 1994
USA, California	13-18 (SRP-tot) ²	Jassby et al. 1994
USA, California	32	Jassby et al. 1994

Tallene fra Tyskland og Nord-Amerika viser at koeffisientene for fosfordeposisjon kan variere mye på den samme lokaliteten (Tabell 4). Dette er for det meste forårsaket av årstidsvariasjoner. En annen undersøkelse fra Nord-Tyskland viser at variasjonen gjennom året kan være stor, med de høyeste konsentrasjoner sommer/høst, og de laveste konsentrasjoner om vinteren (Tabell 5).

Tabell 5. Fosfordeposisjon i Nord-Tyskland om sommeren og vinteren (løvskog; Spranger 1992)

	P-deposisjon kg/km ² /år
Sommer 1989	7-13
Vinter 1989	2-10
Sommer 1990	14-49
Vinter 1990	4-7

Avrenning av fosfor fra skogøkosystemer i sentral-Europa er ofte så lav at det er vanskelig å kvantifisere flukser. Den interne fluksen i strølaget er mye større enn det fosforet som kommer fra atmosfærisk deposisjon (Tabell 6). Men atmosfærisk deposisjon kan likevel være en viktig fosforkilde til åpne vannflater.

Tabell 6. Årlige fosfor koeffisienter i strølaget i ulike skogstyper, gjennomsnittlig (Bredemeier 1987)

kg P/km ² /år			
Bøk	Gran	Eik	Furu
400	390	660	210

² SRP angir løst reaktivt fosfor

I en undersøkelse av deponisjon av fosfor rundt Narrow Lake i Canada (Shaw et al. 1989; se Tabell 4) var det ingen signifikante forskjeller i deponisjonsratene over innsjøen, ved strandlinja og 18 km inn på land. I den samme undersøkelsen økte total fosfor i epilimnion som følge av deponisjon i større grad enn som følge av avrenning fra nedbørsfeltet. Generelt kan det sies at i innsjøer med stort areal i forhold til nedbørsfeltet, kan atmosfærisk deponisjon være en viktig bidragsyter til fosfor i innsjøen.

4. Konklusjon og anbefalinger

Hvordan atmosfærisk tilførsel av fosfor varierer fra region til region, mellom ulike høydesoner og gjennom året, er uavklarte variabler. I luft vil fosfor i hovedsak være bundet til aerosolpartikler. Endel av disse vil være uorganiske mineralpartikler fra forbrenning av kull (flyveaske), eller fra prosessindustrien bl.a. fra sementproduksjon og jern- og stålverk. En annen viktig komponent er partikler av biologisk opprinnelse som pollen, sporer og fragmenter av planter og dyr. Slike biologiske partikler kan transporteres over lange avstander, men kan også ha lokalt opphav.

De fleste målinger som er utført i Norge ble gjennomført på 1970-tallet. Disse resultatene er framkommet med ulik metodikk, og viser stor variasjon fra sted til sted. Undersøkelsene fra Telemark i 1977-1978 viste høyeste verdier med en gjennomsnittlig P-koeffisient på 34 mg P/m²/år, mens målinger av fosfat i Sogn og Fjordane stort sett var under deteksjonsgrensa.

Undersøkelser fra Nord-Europa, Canada og USA viser også stor variasjon i koeffisientene av fosfor. I Sverige varierer koeffisientene mellom 5-13 mg P/m²/år, mens det i Nord-Tyskland er målt verdier opp til 120 mg P/m²/år. Deposisjon av fosfor har vist seg å være en viktig P-kilde til innsjøer som har relativt lite nedbørfelt i forhold til innsjøens areal.

På bakgrunn av de spredte målingene i Norge, blir det idag benyttet estimater på fosfordeposisjonen i Norge i forbindelse med beregning av naturlige bakgrunntilførsler av fosfor (Tabell 7, SFT 1995).

Tabell 7. Regionale estimater på fosfordeposisjon i Norge.

Region	Fosfor koeffisient, kg/km ² /år
Nord-Norge og nordlige Østlandsområde	10
Midt-Norge og Vestlandet	10-20
Sørlandet og sydlige Østlandsområde	20-35

Disse regionale estimatene er svært usikre, noe som dette forprosjektet viser. Målingene fra de andre skandinaviske landene kan tyde på at de eksisterende koeffisientene er noe overestimert. Målingene fra Maridalsvannet ved Oslo kan også tyde på at koeffisientene for Sørlandet og sydlige Østlandsområde er i høyeste laget.

Flere målinger av P-deposisjon med sammenlignbar metodikk er nødvendig for å bedre estimere P-deposisjon på regional basis i Norge. Det blir derfor anbefalt å måle P-deposisjon på utvalgte steder i Norge, og å benytte metodikk som måler både våt- og tørravsetningen (se prosjektforslag i vedlegg A).

Flere målinger er også nødvendig for å kunne si noe mer sikkert om observert algevekst i uberørte vassdrag har sammenheng med deposisjon av fosfor. Med et sikrere tallgrunnlag vil det også bli lettere å fastslå hvordan fosfor virker inn på forureningsutviklingen og tålegrensene for forurening.

5. Litteratur

- Berge, D. 1983. Tyrifjordundersøkelsen 1978-1981. Sammenfattende sluttrapport. Tyrifjordutvalget 1983. Redaktør Dag Berge. ss. 35-36.
- Berge, D. og Holtan, G. (upubl. Mat.) Reg. Koeffisienter for beregning av atmosfærisk tilførsel (P, N og TOC) bl.a for Maridalsvannet. NIVA-prosjekt E-89485.
- Bredemeier, M. (1987): Stoffbilanzen, interne Protonenproduktion und Gesamtsäurebelastung des Bodens in verschiedenen Waldökosystemen Norddeutschlands.- Berichte des Forschungszentrums Waldökosysteme/Waldsterben, Reihe A, Bd. 33, 192 S.
- Bækken, T. og Bratli, J.L. 1996. Utredning om deponisjon og avrenning av fosfor og nitrogen fra bakgrunnsarealer og vurdering av antropogen herkomst. NIVA-rapport 3525-96, 40 s.
- Cole, J.J., Caraco, N.F. and Likens, G.E. 1990. Short range atmospheric transport; A significant source of phosphorus to an oligotrophic lake. *Limnol. Oceanogr.* 35 (6): 1230-1237.
- Dovland, H. 1976. Vann- og nedbørkjemiske data fra Fillefjell. SNSF-prosjektet. TN 23/76, 31 s.
- Gjessing, E., Johannssen, M. og Sukke, T. 1976b. Vann- og nedbørkjemiske studier i Birkenes-feltet for perioden 1/5-1973 til 1/7-1975. SNSF-prosjektet TN 29/76, 73 s.
- Happala, K. 1977. Luftburen föroreningstillförsel - Vattenstyrelsens observationer 1971-1976. I: Diffuse vannforuresninger, Nordforsk, Helsinki, 2: 151-160.
- Hovmand, M.F, Grundahl, L, Runge, E.H., Kemp, K. og Aistrup, W. 1993. Atmosfærisk deposition af kvælstof og fosfor. Vandmiljøplanens Overvågningsprogram 1992. Faglig rapport fra DMU, nr. 91, Miljøministeriet, ss. 49-55.
- Jansson, M. 1979. Nutrient budgets and the regulation of nutrient concentrations in a small sub-arctic lake in northern Sweden. *Freshwater Biol.* 9: 213-231.

- Jansson, M., Persson, G. and Broberg, O. 1986. Phosphorus in acidified lakes: The example of Lake Gårdsjön, Sweden.-Hydrobiologia 139: 81-96.
- Jassby, A.D., Reuter, J.E., Axler, R.P., Goldman, C.R. and Hackley, S.H. 1994. Atmospheric deposition of nitrogen and phosphorus in the annual nutrient load of Lake Tahoe (California-Nevada). Water Resources Res. 30 (7): 2207-2216.
- Johannessen, M. og Joranger, E. 1976. Vann- og nedbørkjemiske undersøkelser i Fyresdal/Nissedal-feltene 1/4 1973-30/6 1975. SNSF-prosjekt TN 30/76, 95 s.
- Kowalczewski, A. and Rybak, J.I. 1981. Atmospheric fallout as a source of phosphorus for Lake Warniak. Ekol. Pol. 29: 63-71.
- Likens, G.E., Bormann, F.H., Pierce, R.S., Eaton, J.S. og Johnson, N.M. 1977. Biogeochemistry of a Forested Ecosystem. Springer-Verlag, New York, 146 p.
- Likens, G.E., Eaton, J.S., Johnson, N.M. and Pierce, R.S. 1985. Flux and balance of water and chemicals. In: An ecosystem approach to aquatic ecology. Mirror lake and its environments. Ed. Likens, G.E. Springer - Verlag.
- Lewis, W.M. Grant, M.C. and Hamilton, S.K. 1985. Evidence that filterable phosphorus is a significant atmospheric link in the phosphorus cycle. Oikos. 45: 428-432.
- Løfgren, S. og Olsson, H. 1990. Tilførsel av kväve och fosfor til vattendrag i Svergies inland. Statens Naturvårdsverk Rapport 3692.
- Matzner, E. 1988. Der Stoffumsatz zweier Waldökosysteme im Solling.- Berichte des Forschungszentrums Waldökosysteme/Waldsterben, Reihe A, Bd. 40, 217 s.
- Psenner, R. 1984. The proportion of empneuston and total atmospheric inputs of carbon, nitrogen and phosphorus of a small mesotrophic lake (Piburger See, Austria). Int. Rev. Gesamten Hydrobiol. 69: 23-39.
- Rognerud, S., Berge, D. og Johannessen, M. 1979. Telemarksvassdraget. Hovedrapport fra undersøkelsene i perioden 1975-1979. NIVA-rapport L. nr. 1147, 82 s.

- Schindler, D.W., Kling, H., Schmidt, R.V., Prokopowich, I., Frost, V.E., Reid, R.A., and Chapel, M.A. 1973. Eutrophication of lake 227 by phosphate and nitrite: the second, third and fourth years of enrichment, 1970, 1971, and 1972. *J. Fish. Res. Bd. Can.* 30: 1415-1440.
- Schindler, D.W., Newbury, J.E., Beaty, K.G. and Campbell, P.J. 1976. Natural water and chemical budgets for a small precambrian lake basin in Central Canada. *J. Fish. Res. Bd. Can.* 33: 2526-2543.
- Schindler, D.W. and Nighswander, J.E. 1970. Nutrient supply and primary production in Clear Lake, eastern Ontario. *J. Fish. Res. Bd. Canada* 27: 2009-2036.
- SFT 1995. Miljømål for vannforekomstene. Tilførselsberegning. SFT veiledning 95:02.
- Shaw, R.D., Trimbee, A.M., Minty, A., Fricker, H. and Prepas, E.E. 1989. Atmospheric deposition of phosphorus and nitrogen in central Alberta with emphasis on Narrow Lake. *Water Air Soil Pollut.* Vol. 43, no, 1-2, pp. 119-134.
- Skartveit, A., Halsvik, B. og Meisingset, E. 1979. Nedbørkjemi og kjemisk materialbalanse i nedbørfelter på Vestlandet. SNSF-prosjekt IR /79.
- Spranger, T. (1992): Erfassung und ökosystemare Bewertung der atmosphärischen Deposition und weiterer oberirdischer Stoffflüsse im Bereich der Bomhöveder Seenkette.- *EcoSys, Beiträge zur Ökosystemforschung, Suppl. Bd. 4, 173 S.*
- Wright, R. og Henriksen, A. 1980. Hydrological and chemical studies at Langtjern. Sur Nedbørs Virkning på Skog og Fisk. IR/71/80. Intern rapport. 108 s.

Vedlegg A. Prosjektforslag for 1999/2000

Målsetting

Fase 1 - 1999: Prøvetaking av både våt- og tørravsetning av fosfor på noen få stasjoner for å teste ut metodene, og sammenligne med resultatene fra den pågående målingen av nedbørkjemi. Resultatene skal kunne gi informasjon om årstidsvariasjoner og hvordan ulike høydelag påvirker P-deposisjonen. De eksisterende koeffisientene i Norge skal vurderes og evt. justeres, samtidig skal det foretas en vurdering av hvilken betydning P-avsetning har innen eutrofiering og forsuring.

Evt. fase 2: Dersom analysene fra fase 1, samt resultatet av nordiske litteraturstudier, ikke viser seg å være tilstrekkelig for å kartlegge deposisjonen av fosfor i Norge, kan det tenkes en fase 2 med en større regional kartlegging av P-avsetningen i Sør-Norge fra år 2000.

Gjennomføring

Feltmetode

Siden fosfor er av både lokal og langtransportert opprinnelse, er det viktig å kvantifisere alle typer deposisjoner. NILU anbefaler prøvetaking av nedbør med wet-only prøvetakere og av luft med filterprøvetaker (filter $<2,5 \mu\text{m}$ og $2,5-10 \mu\text{m}$). Dette for å sammenligne de to metodene, og å få med seg både våt- og tørravsetning. Grunnet høye kostnader blir det ikke lagt opp til å størrelsefordele partiklene.

Prøvetakingssted

Stasjoner innen det eksisterende nettet til NILU kan brukes. Det blir lagt opp til ukentlig prøvetaking fra et par stasjonene med ulik høyde over havet, med pågående analyser av nedbør og som er lite påvirket av punktkilder. Aktuelle stasjoner er Birkenes (190 m o.h.) og Møsvatn (940 m o.h.).

Analyser

Følgende parameter analyseres på NIVA: total fosfor, fosfat, total nitrogen, kalsium (ca. 350 kr pr. prøve). Fosfat bør analyseres for å anslå andelen lett-tilgjengelig næringsstoff for alger og andre planter. Nitrogen bør analyseres for å kunne si noe om P/N-forholdet i den direkte deposisjonen over

året. For en stasjon med prøver av både nedbør og luft, vil ukentlig prøvetaking føre til en årlig kostnad til analyser på 36 000 kr.

Rapportering

NIVA skal utrede følgende (for kr 50 000, 80 timer);

om de målte konsentrasjonene er i samsvar med de estimatene som blir benyttet idag
effekten av de målte konsentrasjonene på vann og vassdrag, sett i lys av både eutrofiering- og
forsuringsproblematikk

NILU skal utrede følgende (for kr 30 000, 50 timer);

evaluering av metodene og hvilken type avsetninger som blir fanget opp
vurdering av fosforkildene, fosfor sett i sammenheng med annen atmosfærisk deposisjon
vurdering tørr- og våtavsetning

Budsjett for 1999 – fase 1

Utførende institusjon	Aktiviteter	Kostnader, 1000 kr
NILU	Feltkostnader for 2 stasjoner:	
	Planlegging, forberedelser	20
	Utstyr for luftmålinger	30
	Feltarbeid, timekostnader	30
	Lokal prøvetaker	4
	Administrasjon	16
	Wet-only-prøvetakere	50
NIVA	Analyser, 2 stasjoner	70
NIVA	Prosjektadministrasjon, trykking	20
NILU og NIVA	Evaluering, rapportering:	
	NILU	30
	NIVA	50
Sum kostnader 1999		320
Egenfinansiering fra NIVA		70
Søkes SFT for 1999		250