

Området for miljø og utvikling



▶ **Forskningsprogram om  
nitrogen og bakkenært ozon  
NOBOZ**



**Norges  
forskningsråd**

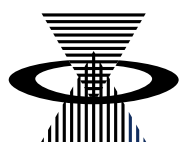
Området for miljø og utvikling

# Forskningsprogram om nitrogen og bakkenært ozon (NOBOZ)

Sluttrapport til Norges forskningsråd



1996–2000



**Norges  
forskningsråd**

© Norges forskningsråd 2002

Norges forskningsråd  
Postboks 2700 St. Hanshaugen  
0131 OSLO  
Telefon: 22 03 70 00  
Telefaks: 22 03 70 01  
Publikasjonen kan bestilles via internett:  
<http://www.forskningsradet.no/bibliotek/publikasjonsdatabase/>  
eller grønt nummer telefaks: 800 83 001

Internett: [bibliotek@forskningsradet.no](mailto:bibliotek@forskningsradet.no)  
X.400: S=bibliotek;PRMD=forskningsradet;ADMD=telemax;C=no;  
Hjemmeside: <http://www.forskningsradet.no/>

Grafisk design: [danas@c2i.net](mailto:danas@c2i.net)  
Foto omslagsside: Luth& Co.  
Trykk: GCS  
Opplag: 250

Oslo, juni 2002  
ISBN 82-12-01714-1

## Forord

Forskningsprogrammet ProFo – Forurensninger: kilder, spredning, effekter og tiltak, har hatt ansvaret for slutføring av Forskningsprogrammet om nitrogen og bakkenært ozon (NOBOZ) . Programplanen og forskningsresultatene fra NOBOZ har vært svært nyttig i den videre utvikling av program og handlingsplanen for ProFo. NOBOZ-programmet har, sammen med programmene om økotoksikologi, forurenset grunn og strålevern gitt en helhetlig forståelse av forurensninger i naturen og danner basis for ProFos videre arbeid.

NOBOZ-programmet med programstyre ble opprettet av Områdestyret for miljø og utvikling (MU) i Norges forskningsråd i 1996. Til grunn for Programstyrets arbeid lå et programnotat, utarbeidet av en arbeidsgruppe ledet av professor Anton Eliassen, datert februar 1996. Programmet ble opprettet med varighet fra 1996 til og med 2000.

Effektdelen av NOBOZ-programmet ble i 1998 slått sammen med tre andre forskningsprogrammer under MU til et nytt program, ProFo. ProFo fikk et programstyre med representanter fra alle de fire delprogrammene.

Den foreliggende rapporten representerer NOBOZ-programmets sluttrapport til Norges forskningsråd og til forvaltningen som har finansiert programmet. Rapporten er ført i pennen av Else Løbersli og Jan Mulder begge medlemmer av ProFos programstyre. Prosjektledere takkes for velvillig bistand i forbindelse med sluttrapporten fra NOBOZ-programmet.

Oslo mars 2002



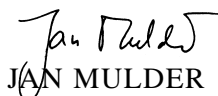
ELSE LØBERSLI

*Programstyremedlem NOBOZ/ProFo*



MERETE ULSTEIN

*Programstyreleder ProFo*



JAN MULDER

*Programstyremedlem ProFo*

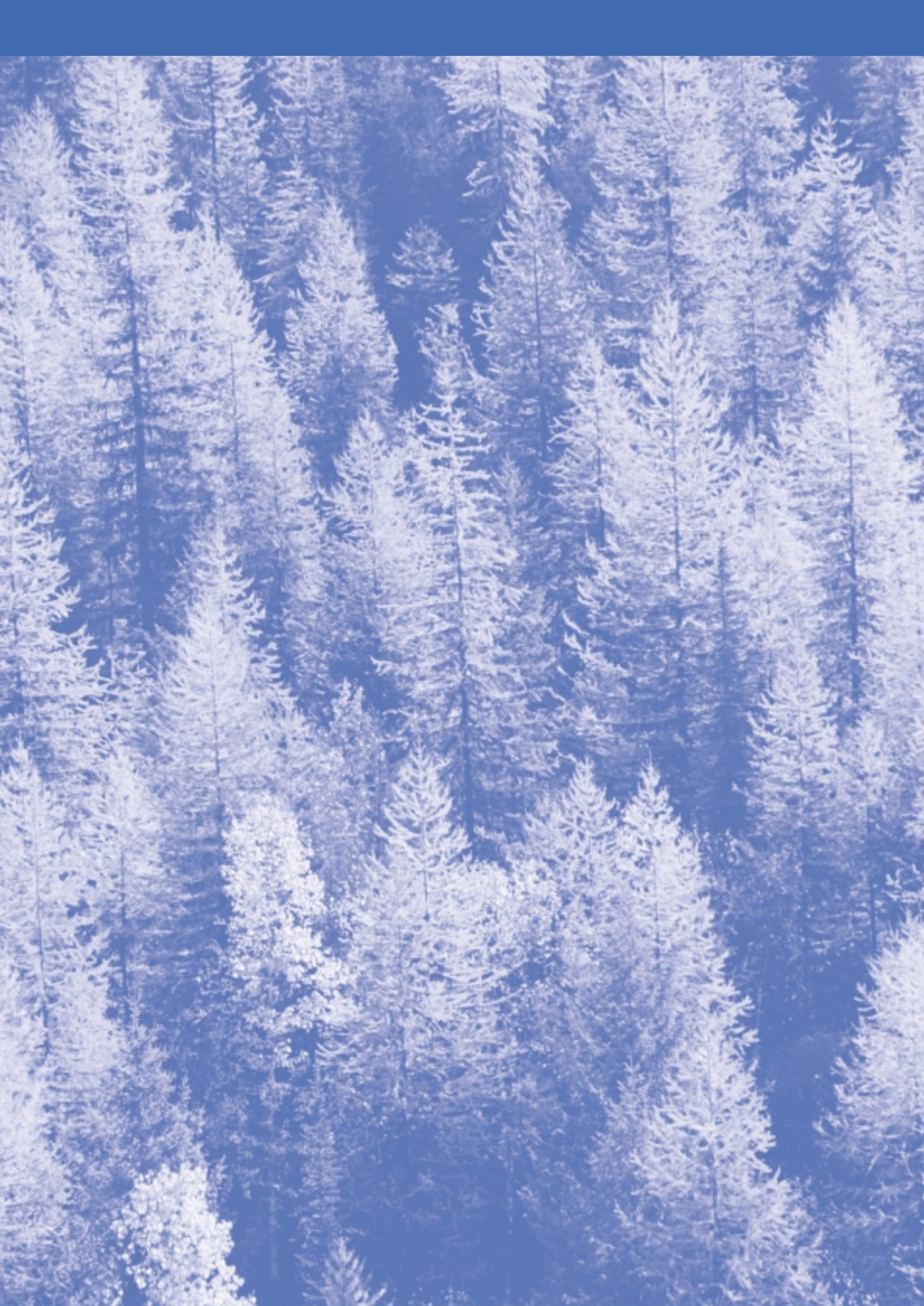
# Innholdsfortegnelse

|   |           |
|---|-----------|
| Forord  | 3         |
| Sammendrag  | 7         |
| <b>1 Bakgrunn og mål</b>                                    | <b>9</b>  |
| <b>2 Gjennomføring av programmet</b>                        | <b>10</b> |
| 2.1. Prosjektoversikt                                       | 11        |
| 2.2. Doktorander  | 11        |
| 2.3. Formidling fra prosjektene                             | 11        |
| 2.4. Sterke og svake sider i forhold til programnotat       | 11        |
| 2.5. Utvikling i programperioden                            | 13        |
| 2.6. Erfaringer fra programstyring                          | 13        |
| <b>3 NOBOZ-resultater i lys av problemstillinger og mål</b> | <b>14</b> |
| 3.1. Tilførsler av nitrogen                                 | 14        |
| 3.2. Tilførsler av ozon                                     | 14        |
| 3.3. Virkninger av nitrogen                                 | 14        |
| 3.4. Virkninger av ozon                                     | 17        |
| 3.5. Strategier for utslippsreduksjoner                     | 17        |
| <b>4 Behov for videre innsats</b>                           | <b>19</b> |
| Vedlegg 1 Programstyrenes sammensetning                     | 20        |
| Vedlegg 2 Prosjektportefølje                                | 21        |
| Vedlegg 3 Publikasjonsliste                                 | 23        |
| Vedlegg 4 Programplan                                       | 28        |

## Sammendrag

Forskningsprogram om nitrogen og bakkenært ozon (NOBOZ) (1996-2000) omhandlet tilførsel og effekter av nitrogen og bakkenært ozon i terrestriske økosystemer. Programmet ble satt i gang for å skaffe faglig grunnlagsmateriale til Konvensjonen om langtransporterte grenseoverskridende luftforurensninger. Den største delen av innsatsen ble konsentrert om effektforskning, spesielt av nitrogen. De fleste prosjektene omfattet studier i barskog, men også andre terrestriske økosystemer som f.eks. ombrotrof myr var inkludert. Mange av de viktigste resultatene er oppnådd på grunnlag av langsiktige eksperimentelle forsøk som til dels var startet lenge før programmet kom i gang, i regi av andre. Studier knyttet til jord, jordvann og vegetasjon har bedret kunnskapen om nitrogendynamikken i skogsjord, bidratt til kvantifisering av nitrogenkretsløpet i skog og bedret

grunnlaget for modellering av prosesser i skogøkosystemer. Denne kunnskapen har forbedret grunnlaget for vurdering av tålegrenser for nitrogen i norsk barskog. Det ble også gjennomført prosjekter på atmosfærekjemi og utvikling av modelleringsverktøy for lufttransport av nitrogen og ozon, der resultater har blitt utnyttet i det internasjonale arbeidet med å komme fram til kostnadseffektiv fordeling av utslippsreduksjoner. Gjennom programmet er det avdekket at ozonskader på vegetasjon kan opptre ved realistisk ozonbelastning i Norge, men på dette området har innsatsen vært begrenset sammenlignet med innsatsen på nitrogeneffekter. Programmets hovedinnsats har vært knyttet til skogøkosystemer. Etter gjennomføring av NOBOZ er det fortsatt store kunnskapsmangler knyttet til kvantifisering av nitrogenets kretsløp og effekter i fjell og hei.



# 1 Bakgrunn og mål

Etter avslutningen av forskningsprogrammet Tilførsler og virkninger av lufttransporterte forurensninger (TVLF) (1990-1995) nedsatte Forskningsrådet ved Området for Miljø og Utvikling ei arbeidsgruppe som skulle komme med forslag til videreføring av forskningen innen dette området. På grunnlag av innstillingen fra arbeidsgruppa ble Forskningsprogrammet om nitrogen og bakkenært ozon opprettet i 1996.

Faglig bakgrunn for programmet er grundig beskrevet i TVLF programmets sluttrapport, samt kort beskrevet i innstillingen fra arbeidsgruppa (fra 1996). I lys av mindre problemer med sur nedbør på grunn av reduserte utslipp og nye avtaler om ytterligere reduksjoner av svovel, var forvaltningens største utfordringer omkring 1995 knyttet til nitrogen og bakkenært ozon. Kunnskapsmangelen knyttet til nitrogen og bakkenært ozon var betydelig. Med bakgrunn i kunnskapsnivået omkring tilførsel og effekter av svovel, og nylig startet program i økotoksikologi (som tok seg av metaller og organiske miljøgifter), ble det nye programmet avgrenset til å omfatte tilførsler og virkninger av nitrogen og bakkenært ozon i terrestriske økosystemer. Programmet skulle gi faglig støtte for forhandlinger under Konvensjonen om langtransporterte grenseoverskridende luftforurensninger (LRTAP-konvensjonen). Nye avtaler om utslippsreduksjoner tar utgangspunkt i kritiske belastningsgrenser (engelsk: critical loads, norsk: naturens tålegrenser) og kostnadseffektiv fordeling av utslippsreduksjoner mellom land. Denne tilnærmingen stiller store krav til detaljering og kvantifisering av kunnskaper både på tilførsels- og effektsiden og utvikling av modeller for å analysere strategier for utslippsreduksjoner.

Programmet hadde som hovedmålsetting å øke kunnskapen omkring tilførsler, virkninger og kostnadseffektiv reduksjon av nitrogen og bakkenært ozon. Delmålene var:

- Belyse tilførsler av nitrogen og sentrale deler av nitrogenkretsløpet i terrestriske økosystem knyttet til virkningsmekanismer og økologiske effekter
- Belyse tilførselen av bakkenært ozon og mekanismene for ozonskader på vegetasjonen. Finne sammenhenger mellom ozonkonsentrasjoner, fysiske og biologiske parametre og graden av ozonskader
- Utvikle modellapparat for analyse av virkningsbaserte kostnadseffektive strategier for utslippsreduksjoner



## 2 Gjennomføring av programmet

Programmet ble styrt av programstyret for Forskningsprogrammet om nitrogen og bakkenært ozon fra 1996 til 1997 (se vedlegg 1). Fra og med 1998 har effekt delen av programmet vært en del av det nye programmet «Forurensninger, kilder, spredning, effekter og tiltak» (ProFo) (1998-2005), og styrt av et programstyre som ble oppnevnt for dette programmet. Den delen av NOBOZ som dreide seg om tilførsler og strategier for utslippsreduksjoner, ble overført til «Forskningsprogram om endringer i klima og ozonlag» (Klimaprogrammet) i 1998 og underlagt Programstyret for Klimaprogrammet. Fordeling av prosjekter mellom ProFo og Klimaprogrammet (se vedlegg 2) tilsvarte overføring av 75% av bevilgningene til NOBOZ for 1999 til ProFo og 25% til Klimaprogrammet. Programstyret for ProFo ble gitt ansvaret for sluttrapporteringen av både tilførsels- og effekt delen av NOBOZ.

Programmets totale økonomiske ramme var på kr 19.5 mill (Tabell 1). Av dette har 18.9 mill gått til faglige prosjekter. Driften av programmet, inkludert programadministrasjon og kostnader i forbindelse med to programkonferanser i regi av ProFo har kostet 0.5 mill kr.

Programmet har hatt et rimelig forhold mellom ambisjonsnivå og ressurstilgang, sett i lys av kapasiteten i fagmiljøene, noe som viser seg gjennom relativt høy andel innvilgete prosjekter i forhold til omsøkte prosjekter. 57% av omsøkte midler ble innvilget. Når det gjelder tildeling av prosjekter fordelt på delmål/delområder var det vanskeligst å fylle programmets behov under delmål/delområde 3. Bare ett prosjekt fokuserte direkte på kostnadseffektive strategier for utslippsreduksjoner og hadde et samfunnsfaglig perspektiv. Den største delen av budsjettet (kr 13.4 mill) har gått til å belyse ulike sider ved nitrogenproblematikken (delmål 1), noe som var naturlig ut fra kompleksiteten knyttet til ulike spørsmål ved tilførsel av nitrogen og nitrogenets skjebne og rolle i økosystemet, samt behovet for mer grunnleggende kunnskap for vurdering av tålegrenser for nitrogen i ulike økosystemer (Tabell 2). Med hensyn til fordeling mellom tilførsler og effekter så har man prioritert effekter høyere enn tilførsel (Tabell 3). Dette var meget bevisst fra programstyret sin side. Basert på den tilgjengelige kunnskap var den store kunnskapsmangelen på effektsiden vurdert som mye mer kritisk for bruk av den effektbaserte tålegrensetilnærmingen i internasjonale forhandlinger om utslippsreduksjoner, sammenlignet med de kunnskapsmanglene som var på tilførselsiden.

**Tabell 1.**

Programmets økonomiske ressurser fordelt på år og bidragsytere (Mkr)  
MD Miljøverndepartementet, LD Landbruksdepartementet, FIN Finansdepartementet

| Kilde/år | 1996 | 1997 | 1998 | 1999 | 2000* | Sum   |
|----------|------|------|------|------|-------|-------|
| MD       | 2.8  | 4.0  | 3.5  | 3.4  | 1.65  | 15.35 |
| LD       | 1.0  | 0.8  | 0.8  | 0.8  | 0.35  | 3.75  |
| FIN      | 0.35 | 0    | 0    | 0    | 0     | 0.35  |
| Sum      | 4.15 | 4.8  | 4.3  | 4.2  | 2.0   | 19.45 |

\* til avsluttende NOBOZ prosjekter i 2000. I tillegg ble det igangsatt nye prosjekter med «NOBOZ-problemstillinger» i regi av ProFo.

Tabell 2

Fordeling av midler mellom delmålene

| Delmål/delområde                            | Sum (Mkr) |
|---|-----------|
| (1) Nitrogen                                | 13.4      |
| (2) Ozon                                    | 4.4.      |
| (3) Strategier for utslippsreduksjoner 1.1. |           |

Tabell 3

Fordeling av midler mellom tilførsler, effekter og strategier for utslippsreduksjoner.

| Tema                               | Sum (Mkr) |
|------------------------------------|-----------|
| Tilførsler                         | 4.5       |
| Effekter                           | 13.3      |
| Strategier for utslippsreduksjoner | 1.1.      |

## 2.1 PROSJEKTOVERSIKT

Det har blitt satt i gang og gjennomført 27 prosjekter innenfor NOBOZ-programmet (Tabell 4). Programmets prosjektportefølje gjenspeiler i sterk grad de faglige prioriteringene og avgrensninger som er gjort i programnotatet. Programnotatet avgrenser programmet til terrestriske økosystemer, der skog er spesielt framhevet.

Prosjektporteføljen omfatter prosjekter knyttet til tilførsler av nitrogen og/eller ozon (6 prosjekter), effekter av nitrogen på jord, skog og annen vegetasjon (15 prosjekter), effekter av ozon på planter (5 prosjekter), samt utvikling av modellapparat for analyse av virknings-baserte kostnadseffektive strategier for utslippsreduksjoner (1 prosjekt).

Tabell 4

Oversikt over antall prosjekter og stipendiater fordelt på delmål/delområder

| Delmål/delområde                       | Ant.prosj | Dr.stip |
|--|-----------|---------|
| (1) Nitrogen                           | 19        | 5       |
| (2) Ozon                               | 7         | 0       |
| (3) Strategier for utslippsreduksjoner | 1         | 1       |

## 2.2 DOKTORANDER

Pr dato har det blitt avlagt 3 dr. grader gjennom prosjekter finansiert av programmet.

**Quing Qiao:** Nitrifying bacteria, isolation and physiological studies related to nitrous oxide and methane fluxes. 1997. Norges Landbrukshøgskole.

**Sheila Kvindesland:** Modelling nutrient cycling in forest ecosystems. Disputas 25.2.1998. Norsk institutt for skogforskning/Norges landbrukshøgskole.

**Live Semb Vestgarden:** Nitrogen and carbon turnover in a Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) forest influenced by different nitrogen inputs. Disputas 13.03 2001. Norges landbrukshøgskole.

I tillegg er 3 stipendiater i avslutningsfasen. Disse planlegges avsluttet i løpet av 2002/2003.

## 2.3 FORMIDLING FRA PROSJEKTENE

Programmet har resultert i omlag 100 publikasjoner og rapporter (vedlegg 3), hvorav ca 40 i internasjonale tidsskrifter, de øvrige er rapporter og internasjonale konferansebidrag. I tillegg kommer en rekke presentasjoner på nasjonale møter.

## 2.4 STERKE OG SVAKE SIDER I FORHOLD TIL PROGRAMNOTAT

### Sterke sider

Innenfor tilførselsdelen av programmet gjenspeiler prosjektene i meget stor grad prioriteringene i programnotatet og er rimelig dekkende tematisk for det som

etterspørres med hensyn til tilførselsmekanismer, modellering og transportprosesser for nitrogen, mens det har vært en mer begrenset aktivitet på ozon.

Prosjektporteføljen viser at den største satsingen har vært på effektforskning, noe som er i samsvar med prioriteringene i programnotat og programstyret for dette programmet. Når det gjelder effektforskningen, har man satset sterkest på å belyse spørsmål knyttet til nitrogen i barskog. Satsingen innen nitrogenproblematikken har vært målrettet og ulike prosjekter knyttet til jord, jordvann og vegetasjon supplerer hverandre. Flere store prosjekter lot seg realisere innenfor programmet. Disse er hovedsakelig basert på eksperimentelle langtidsstudier etter tilførsel av nitrogen, delvis i kombinasjon med langtidsstudier i områder med «naturlig sur nedbør». Noen av forsøkene var satt i gang lenge før NOBOZ-programmets start (f.eks. NITREX som har hatt 9 års vanning med nitrogen). Disse prosjektene har bedret kunnskapen om nitrogendynamikken i skogsjord, bidratt til kvantifisering av nitrogenkretsløpet i skog, bedret grunnlaget for modellering av prosesser i skogøkosystem og bedret grunnlaget for tålegrenser (kritiske belastningsgrenser) for nitrogen først og fremst for barskogøkosystemer. Prosjektene og resultatene illustrerer nødvendigheten av langsiktige forsøk for å belyse de komplekse problemstillingene som er knyttet til nitrogens skjebne og rolle i økosystemet.

Behovet for kompetanseoppbygging var bare spesielt påpekt i forbindelse med delmål 3, om utvikling av modellapparat for analyse av virkningsbaserte kostnads-effektive strategier for utslippsreduksjoner. Dette er fulgt opp i programmet gjennom et prosjekt med doktorgradsstipendiat som nå er i avslutningsfasen. Selv om behovet for kompetanseoppbygging ellers ikke var påpekt spesielt i programnotatet har tre dr. grader blitt avlagt gjennom prosjekter finansiert av programmet, mens ytterligere tre stipendiater er i avslutningsfasen.

### Svake sider

Det er ingen prosjekter som belyser hvordan eventuelle klimaendringer vil modifisere eller forsterke virkningene av langtransporterte luftforurensninger. Effekter av nitrogen på mykorrhizasopp er studert gjennom NITREX-prosjektet, men saprophyttosopp er ikke studert i programmet. Satsingen på å belyse mekanismer for ozonskader på vegetasjon og finne sammenhenger mellom ozonkonsentrasjoner og skader har vært betydelig mindre (mindre penger, færre prosjekter) enn satsingen på nitrogen, og bærer i større grad preg av å belyse mer fragmentariske deler av fagområdet. Selv om det gjennom prosjektene er avdekket at ozonskader (reduert biomasse) kan opptre ved realistisk ozonbelastning i Norge på en del arter, har ikke programmet identifisert mekanismene for ozonskader, og bare i begrenset grad bidratt til å finne sammenhenger mellom ozonkonsentrasjoner og grad av skader.

Når det gjelder programnotatets punkt om betydningen av god koordinering mellom forskning og overvåking, har programmet satset på en del mindre prosjekter med siktemål å utvikle indikatorer for overvåking av effekter av nitrogen og ozon i terrestriske økosystemer (terrestriske alger, lav og biokjemiske parametere som proteinmønster hos gran). Selv om disse prosjektene ikke kan sies å gi klare resultater som kan utnyttes direkte i overvåking, er det nå utviklet metodikk og kompetanse som grunnlag for videre arbeid med å finne fram til egnede overvåkingskriterier og -parametre. Med hensyn til utnytting av overvåkingsdata til å belyse langsiktige endringer var det med bakgrunn i bl.a. skogovervåkingen som har pågått siden 1986, skuffende få prosjekter basert på overvåkingsdata. Bare ett av prosjektene har hatt en slik tilnærming, nemlig prosjektet på vegetasjonsendringer i barskog, der til gjengjeld betydelige endringer er registrert gjennom en 5-års periode. I 2001 har det imidlertid kommet i gang et prosjekt basert på analyse av overvåkingsdata for å belyse effekter av luftforurensninger og klimaendringer på

skog (i regi av ProFo). Prosjektet på ombrotrof myr (Østfold) må også sies å være et bidrag til bedre koordinering av forskning og overvåking ved at det skaper grunnlag for en enestående tidsserie for vegetasjon på ombrotrof myr.

Gjennom programmets prosjekter er kunnskapsgrunnlaget om nitrogenkretsløpet i skog (barskog) vesentlig forbedret, noe som gir et mye bedre grunnlag for vurdering av tålegrenser for barskog (gran- og furuskog). Store deler av Sør Norge (som er mest utsatt for langtransportert nitrogen) består imidlertid av hei- og fjellområder uten skog, der nitrogenets kretsløp vil være vesentlig forskjellig fra kretsløpet i skog. Slike områder har ikke blitt studert i programmet med unntak av finansiering av sluttrapportering fra prosjektet «Nitrogen fra fjell til fjord» som i hovedsak var finansiert gjennom strategiske instituttprogrammer. Dette prosjektet har gitt et vesentlig bidrag til det vi i dag vet om nitrogen i slike områder. Etter gjennomføring av NOBOZ er det imidlertid fortsatt store kunnskapsmangler knyttet til kvantifisering av nitrogenets kretsløp i fjell og hei. Heller ikke når det gjelder undersøkelser av effekter av nitrogen på vegetasjon, var naturtyper som fjell og hei omfattet i programmet.

## 2.5. UTVIKLING I PROGRAMPERIODEN

Programnotatet fra 1996 har ligget til grunn for alle prosjekttildelinger. Det har ikke kommet inn nye føringer fra bidragsyterne til finansiering av programmet eller fra andre underveis i programmet. Programmets budsjett har vært på om lag kr 4 mill årlig (Tabell 1). Om lag halvparten av prosjektene (13) ble startet i 1996, noe som bandt opp det meste av budsjettet for de neste par årene. Dette gav rom for 7 nye prosjekter i 1997, 4 i 1998 og 3 i 1999. For år 2000 ble nye innvilgede prosjekter som omhandlet NOBOZ-relevante problemstillinger, tatt inn i ProFo (jfr programplanen, vedlegg 4).

## 2.6. ERFARINGER FRA PROGRAMSTYRING

### Prosjektutføring

Prosjektene har vært utført av fagmiljøer ved institutter og universitets- og høyskolemiljøer, til dels i samarbeid med utenlandske institusjoner. Et par av de største felteksperimentene på effekter av henholdsvis nitrogen og ozon har vært gjennomført i Sverige, i samarbeid med svenske forskningsmiljøer og bidragsytere.

### Finansiering

Programmet har bevilget kr 18,9 mill til prosjektene. I mange av prosjektene har det vært en betydelig andel finansiering også fra institusjonene selv eller fra andre kilder. Noen av prosjektene eller forløpene til dem har vært medfinansiert gjennom FoU programmet Naturens tålegrenser i regi av Miljøverndepartementet.

### Programstyring

Programstyret for NOBOZ som i meget sterk grad definerte programmets innhold gjennom prosjekttildelingene i 1996 og 1997, ble lagt ned i 1997, og oppfølging av prosjekter og igangsetting av et begrenset antall nye prosjekter ble overlatt to nye programstyrer med ansvar for hhv tilførsler (Klimaprogrammet) og effekter (ProFo). Denne ansvarsdelingen som har skjedd mellom mange programstyrer for iverksetting, gjennomføring og sluttrapportering av NOBOZ, er i utgangspunktet uheldig med tanke på optimal gjennomføring og utbytte av programmet. ProFo-programstyrets erfaringer er at den nødvendige koblingen mellom forskere på tilførsler og forskere på effekter er vanskelig å opprettholde med to separate program. Dette anses som et særlig viktig punkt i NOBOZ-programmet som er så knyttet til arbeidet med reduksjon av utslipp, basert på en effektorientert kostnadseffektiv tilnærming. Det anses imidlertid som en fordel å knytte effektforskning i NOBOZ sammen med økotoksikologiprogrammet for å samle effektforskningen knyttet til ulike forurensningspåvirkninger i samme program slik det ble gjort i ProFo.

## 3 NOBOZ resultater i lys av problemstillinger og mål

### 3.1 TILFØRSLER AV NITROGEN

Programmet prioriterte forskning som ville gi økt kunnskap om oksidasjonsmekanismer for NO<sub>2</sub> og om fordeling av nitrat mellom gass- og partikkelfase. Utvikling av modeller ble også prioritert, særlig modeller som kunne brukes ved tolking av måledata og som kunne beskrive effekter av globale utslippsprosesser på lokal atmosfærekjemi.

Unntatt forskning om oksidasjonsmekanismer for NO<sub>2</sub> ble det forsket på alle prioriterte problemstillinger innen tilførsler av nitrogen. Bl.a. ble det vist at nitrat binder seg til sjøsaltaerosoler, noe som fører til høyere konsentrasjoner av nitrat i luft enn tidligere beregninger viste. Inkludering av denne prosessen i modeller gir økte estimater for deponisjon av nitrat på bakken, men sammenliknet med målte verdier er estimatene fremdeles for lave. Videre ble det utarbeidet metodikk for å knytte sammen storskala modellberegninger av langtransporterte luftforurensinger i Europa med målinger av lokal eksponering av økosystemer. Metodikken har vært benyttet til støtte for det faglige arbeidet under Konvensjonen om langtransporterte grenseoverskridende luftforurensinger.

Målinger av nitrogenkomponenter foretatt ved en rekke stasjoner i Norge har vært analysert ved hjelp av sektoranalyse, basert på observerte vindfelter og beregninger av lufttrajektorier. Luftkonsentrasjonene av NO<sub>2</sub> ble typisk redusert med 40-60% fra midten av 1980-årene til slutten av 1990-årene. Nedgangen var størst i luftmasser med opphav i områder med betydelige antropogene utslipp.

### 3.2 TILFØRSLER AV OZON

Prioriterte oppgaver inkluderte løsning av spørsmål knyttet til atmosfærens oksidantkjemi som kan støtte opp under utvikling av optimale internasjonale strategier for utslippsreduksjon, samt forskning som klarlegger betydningen av ulike VOC-forbindelser for dannelse av fotokjemiske oksidanter. Som for nitrogen er det et stort behov for utvikling av modelleringsverktøy innen atmosfærekjemi og transport av ozon.

Innen området tilførsler av ozon har et fokus vært på kunnskap om utslipp av individuelle VOC-komponenter og ozonkjemi knyttet til dem. Beregninger viser at sekundært dannede aldehyder er godt egnet for validering av modellens utslipps- og fotokjemiantagelser. Videre har samspillet mellom prosesser på regional og lokal skala vært studert med ulike verktøy og tilnæringsmåter. Bl.a. har en 3-dimensjonal regional oksidasjonsmodell med 50 km oppløsning for Europa blitt videreutviklet til å inkludere nøsting ned til 15 km ruteoppløsning. I tillegg har den 3-dimensjonale modellen blitt koplet med en lokalskala modell med 5 km oppløsning i et integrert regional-lokal-skala modellsystem. Erfaringene fra modellutviklingen kan anvendes for beregning av ozonnivåer på byskala og i bakgrunnsområder.

### 3.3 VIRKNINGER AV NITROGEN

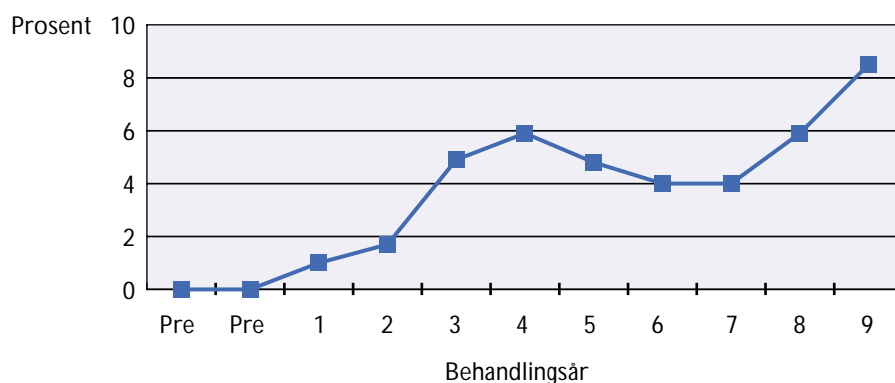
Fokus ble satt på terrestriske økosystemer, med et sterkt ønske om en flerfaglig angrepsmåte, ikke minst når det gjelder prosessmodellering. Prioriteringer inkluderte kvantifisering av prosesser som styrer omsetninger og utvasking av nitrogen i

økosystemer og hvordan disse prosesser påvirkes av nitrogentilførsler og klimatiske faktorer. Forskning om endringer i vegetasjon og mykorrhiza som følge av nitrogendeposisjon, samt eventuelle følger for dyr, ble også prioritert. Videre ble det prioritert forskning om identifisering av indikatorarter og biomarkører som kan brukes i overvåkingsprogrammer. Utvikling av biogeokjemiske modeller som kunne integrere ny kunnskap om effekter av nitrogen ble framhevet som et viktig satsingsfelt.

En av de viktigste konklusjoner er at langsiktighet og en flerfaglig angrepsmåte i feltforsøk er nøkkelen til en bedre forståelse av virkninger av nitrogen på terrestriske økosystemer. Dette underbygges av flere NOBOZ-prosjekter bl.a. NITREX. Denne nødvendige langsiktigheten i økosystemforskning er i konflikt med vanlig praksis hvor forskningsprosjekter vanligvis har blitt tildelt for tre år. En annen viktig konklusjon er at virkninger av nitrogen ser ut til å være avhengig av økosystemet (bl.a. type og alder skogbestand, mengde og kvalitet av det organiske materiale i jord, form og dosering av nitrogentilførsler). For eksempel, en økning av nitrogentilførsel fra dagens 12 kg ha<sup>-1</sup> år<sup>-1</sup> til 50 kg ha<sup>-1</sup> år<sup>-1</sup> tilsatt som løst NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub> i ukent-

lige doser til en 100 år gammel gran-furuskog ved Gårdsjön (ved Stenungsund i Sør Sverige), førte til en gradvis økning i nitrogenavrenning som nitrat. Økningen i nitrogenavrenning var fra 1% av det tilførte nitrogen i det første året til 9% i det niende året (Figur 1). Derimot førte 9 år med NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub> gjødsling av en yngre furubestand på Sørlandet (som årlige engangsdoser i mai) til betraktelig høyere nitrogenavrenning, først og fremst umiddelbart etter tilsetningen. Tilsetning av henholdsvis 0, 30 og 90 kg ha<sup>-1</sup> år<sup>-1</sup> nitrogen som NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub> (i tillegg til en atmosfærisk deposisjon av 10 kg nitrogen ha<sup>-1</sup> år<sup>-1</sup>) førte til en utvasking tilsvarende 1%, 15% og >30% av det tilførte nitrogen.

Det meste av det tilførte nitrogenet akkumuleres i trær og jord, men viktigheten av disse to sluk er forskjellig for de prosjekter som ble gjennomført i regi av NOBOZ. I tilfelle jevnlig tilførsel av løst NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub> (40 kg nitrogen ha<sup>-1</sup> år<sup>-1</sup>) i gammel gran-furuskog ble det ikke registrert signifikant økning i tilvekst. Selv om nitrogenmengder i strø og bar økte, skjedde det ikke før 6 til 7 år etter forsøkets initiering. Nitrogenakkumulering i jord var uten tvil det viktigste sluk i dette systemet. Gjødsling av furuskog med NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub> resulterte derimot i en kraftig



**Figur 1.** Andel (%) nitrogen i avrenningen av totalt tilført uorganisk nitrogen (50 kg/ha/år) i gran-furuskog ved Gårdsjön, 2 år før behandling og i løpet av 9 år med behandling. (Kilde: Richard Wright: Sluttrapport fra NITREX-prosjektet).

initial økning i tilvekst, men tilvekstens respons minsket med tiden. Akkumulering av nitrogen i trær var et mye viktigere sluk her, mens akkumulering i jorda spilte en mer underordnet rolle. Økt tilgang til nitrogen øker nedbrytningshastigheten av barnåler på bakken og i tillegg blir nitrogensyklusen mer åpen. Å bryte den (for eksempel ved hogst) kan føre til store tap av nitrogen (som nitrat) fra systemet og dermed til en kraftig forsurening.

N-15 forsøk i gammel granskog viser at mye av nitrogenet som vaskes ut er «nytt». Det betyr at mye av det tilsatte nitrogen ikke blander seg med det store nitrogenlageret i jorda, men at det i stor grad blir forvandlet fra nedbør til avrenningsvann («by-pass» strømming). Dette er et viktig resultat for å kunne forbedre mulighetene til å modellere dynamikken i nitrogenutvasking fra terrestriske økosystemer.

Den positive vekstresponsen på nitrogen-tilførsel innebærer en økt binding av CO<sub>2</sub> og er derfor viktig med hensyn til det globale klimaspørsmålet. Et annet NOBOZ prosjekt viser at økte tilførsler av nitrogen har koplinger med flere klimagasser enn CO<sub>2</sub> i og med at det fører til en minskning av metanoksidasjon og en økning av lystgasseemisjon fra skogøkosystemer.

Mye av akkumuleringen av nitrogen skjer i humussjiktet. Resultater fra NITREX-forsøket ved Gårdsjön antyder at C/N forholdet i humussjiktet har minsket sterkest der hvor nitrogentilførsel fant sted. C/N forholdet i humussjiktet fra det behandlede felt har kommet ned til 27 (g/g), mens data fra Europa viser at en betydelig nitrogenutvasking kan forventes i granskog med C/N < 25 i humussjiktet. Dermed kan det konkluderes at det behandlede systemet er i en overgang fra nitrogen-begrenset til nitrogen-rikt og at det ikke er en akutt fare for en sterk økning i nitrogenutvasking fra gammel granskog de nærmeste 20 til 30 år (ved dagens nitrogendeposisjon). Fra gjødslingsforsøk i yngre gran- og furubestand,

som har en forholdsvis stor kapasitet til å lagre nitrogen i økt biomasse, ble det konkludert med at dagens atmosfæriske nitrogennedfall ikke synes å utgjøre noen potensiell fare for skogøkosystemet på lang sikt

Langsiktige forsøk er også påkrevet når det gjelder forskning om reversering av sterkt forsursingsbelastede områder. NOBOZ-finansiert forskning om endringer i jordas surhet, basert på skogsjord som var kunstig sterkt forsuret i perioden 1972-1978, viste at forsuringen var stort sett reversert på Nordmoen, mens det fortsatt kunne påvises svak effekt av forsuringen i Åmli. Denne ulike responsen, kan skyldes forskjeller i forvitningshastigheter, naturlig forsuring og dagens eksterne syrebelastning.

Forskning knyttet til vegetasjonsovervåking i barskog viste at antall og mengde karplanter (gaukesyre, fugletelg og teppe-rot) har minsket i løpet av 90-tallet i barskog i de sørlige deler av Norge i motsetning til områder lenger nord i landet. Dette kan tyde på en sammenheng med langtransportert luftforurensning, men klimatiske faktorer kan ikke utelukkes. At antall mosearter økte i to av områdene og mengden av mosene økte i alle områder kan ha sammenheng med milde vintre. Også i et prosjekt om vegetasjonsendringer i ombrotrof myr utsatt for naturlig og eksperimentelt nitrogen ble det påvist endringer i vegetasjonen, men betydningen av nitrogen i forhold til andre faktorer er foreløpig ikke klarlagt.

En jevn tilførsel av nitrogen gjennom året (NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub>, 40 kg nitrogen ha<sup>-1</sup> år<sup>-1</sup>) i gammel gran-furuskog ved Gårdsjön førte til en rask og betydelig nedgang i artsdiversitet og soppgegmeproduksjon for de fleste sopparter. Derimot var det ingen respons på underjordisk mykorrhiza, verken når det gjelder tetthet eller diversitet. NOBOZ har også støttet utvikling av kompetanse for å kunne dyrke fram lav og alger på agar slik at systemet kan brukes til vekstforsøk under kontrollerte forhold. Lav og alger kan muligens brukes som

indikatororganismer for nitrogenpåvirkning av terrestriske økosystemer.

Arbeid med modellering av nitrogendynamikk i terrestriske økosystemer har i all hovedsak begrenset seg til oppbygging av kompetanse hvor anvendelse og parametrisering av den eksisterende NuCM-modellen sto sentralt. Forskningen ble gjennomført i nært samarbeid med NuCMs utviklingsgruppe i USA (NuCM står for Nutrient cycling model). Modellering av nitrogendynamikk, både når det gjelder kortsiktige og langsiktige prosesser, er et meget vanskelig område, og betydelig større satsing må til for å komme i mål, særlig hvis også klimarelaerte effekter skal tas hensyn til.

### 3.4 VIRKNINGER AV OZON

Prioriterte oppgaver inkluderte en bedre forståelse av mekanismer som forårsaker ozonskader, og dose-respons relasjoner for diverse planter.

Programmet har bidratt i arbeidet med å finne fram til virkningsmekanismer for ozon gjennom utvikling av metodikk for å teste effekter av hydrogenperoksid, som antas blir laget i planter når de eksponeres for ozon, på mange molekyler bl.a. aminosyrer og askorbinsyre. Reaksjonen gir opphav til egne radikaler. Videre ble det utviklet metodikk for å finne proteiner i gran som kan brukes som bioindikator for ozon. Resultater fra felt viser at ozonnivået i Norge ikke er høyt nok til å finne endringer i proteiner slik de ble påvist i kontrollerte forsøk.

I dose-respons forsøk i åpen-topp kammer med hvitkløver førte eksponering med ca 11 ppm-t til en betydelig redusert biomasseproduksjon med ca 30%. Denne dosen er i overkant av hva som kan forventes i Norge. De fleste år ligger eksponeringsdosen i området 5-10 ppm-t i Sør-Norge og 2-5 ppm-t i Nord-Norge. Hundegras viser en mindre biomasseproduksjon, mens andre arter ikke viser noen respons selv ved høye doser. Ozon har en

større effekt ved 15 enn ved 22°C.

Et annet prosjekt med eksponering for ozon i åpen-topp kammer har vist at planter fra naturlig vegetasjon får skader og redusert biomasseproduksjon ved langtidseksponering med ozon i konsentrasjoner som er tilsvarende eller svakt høyere enn det som er bakgrunnsnivået i de nordiske land. For en del plantearter vil økt nitrogentilgjengelighet moderere ozonets negative effekt, men det vil også bety at disse plantene gis konkurransefordeler i forhold til andre plantearter. Plantenes ozonfølsomhet varierer fra art til art, men resultatene fra dette prosjektet antyder at planter som tilhører samme vekststrategigruppe også kan ha et overensstemmende responsmønster med hensyn til ozonbelastning. Det er et forhold som bør tas med i vurderingen av betydningen av luftforurensninger på den naturlige vegetasjonen.

### 3.5 STRATEGIER FOR UTSLIPPSREDUKSJONER

Programmet prioriterte modellutvikling av effektbaserte kostnadseffektive strategier for utslippsreduksjoner hvor flere miljøproblemer og utslippskomponenter skulle ses under ett. Det var behov for integrerte modellstudier som kunne analysere sammenhengen mellom ulike mål for miljøforbedringer og fordeling av utslippsreduksjoner mellom land. Programmet påpekte behovet for oppbygging av kompetanse på denne type modellapparat, samtidig som det var ønskelig med informasjon som kunne utnyttes direkte under forhandlinger under Konvensjonen for langtransporterte grenseoverskridende luftforurensninger (LRTAP-konvensjonen)

Det har blitt gjennomført bare ett prosjekt innenfor dette området. Prosjektet har fokusert på å finne egenskaper ved kostnadseffektive utslippsreduksjoner av SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, NH<sub>3</sub> og VOC i Europa, bl a ved bruk av RAINs-modellen som er sentral i forhandlingene under LRTAP-konvensjonen. Analyser av fordeling av renskostna-



der og miljøforbedring mellom land viser at miljøforbedringen blir størst i land som må ta de største rensekostnadene. Dette skyldes at nedfallstettheten for et bestemt utslipp av svovel eller nitrogen er mye større i utslippslandet enn utenfor. I arbeidet med RAINs-simuleringer under LRTAP-konvensjonen har resultater fra prosjektet hatt stor innflytelse på valg av miljømål for forsuring i norske økosystemer slik at disse skal kunne ha en viss innflytelse på den kostnadseffektive løsningen. Resultater fra prosjektet viser også at en kostnadseffektiv løsning for

NO<sub>x</sub>/VOC-utslipp alltid vil innebære rensing av VOC-utslippene, og som regel også rensing av NO<sub>x</sub>-utslippene (dette er mest vanlig, f.eks. i Norge der NO<sub>x</sub> er lavt). Optimale NO<sub>x</sub>-utslipp kan imidlertid i prinsippet være større enn urensset nivå. Dette er ikke aktuelt for Norge med lavt NO<sub>x</sub>-nivå, og lite aktuelt for Europa med de utslippsreduksjoner som anbefales, men er aktuelt for storbyer som New York, Los Angeles og Mexico City.

## 4 Behov for videre innsats

Miljøproblemer på grunn av langtransportert atmosfærisk nitrogen forventes å være betydelige også i årene framover. Norge har i europeisk sammenheng noen av de mest følsomme økosystemene i forhold til forurensning og nitrogeneffekter, og overvåkningsresultater viser at nitrat øker i avrenningen. Forskningen framover bør omfatte grunnleggende kunnskap for overvåking av effekter, spesielt innen forurensning og nitrogengjødsling, både på terrestriske og akvatiske økosystemer. En del av forskningen bør være av eksperimentell karakter.

Mye av innsatsen hittil har vært avgrenset til skogområder og har omfattet basale prosesser i skogsjord, studier av endringer i økosystemet over tid og geografiske trender. Det bør derfor gjennomføres studier omkring spredning og akkumulering av nitrogen i hei- og fjellområder og vassdrag og kystområder som representerer naturtyper og -områder som ikke har inngått i særlig grad i tidligere forskning på feltet og hvor det er mangel på kunnskap. Modellstudier vil være viktig som hjelpemiddel for forståelsen av ulike prosesser, reversibilitet og effekter av framtidige endringer i forurensningsbelastning.

Den nye multieffekt-protokollen under Langtransportkonvensjonen er basert på et «worst case scenario» som forutsetter at alt nitrat som tilføres økosystemet lekker ut. Resultater fra NOBOZ programmet viser at dette innen rimelige tidsforløp ikke vil være tilfelle for skog. Noen data fra fjell- og heiområder som er så typiske for Norge, viser imidlertid betydelig større nitrogenlekkasje. I forbindelse med bruk av den effektbaserte tålegrensetilnærmingen i reforhandlinger av protokollen, er det nødvendig med mer kunnskap om retensjon av nitrogen i disse systemene, samt mer kunnskap om tidsaspekt for en eventuell nitrogenlekkasje.

Det er også behov for mer kunnskap om følsomme parametere for effekter av nitrogen, effekter på høyere planter og kryptogamer i andre naturtyper enn skog, samt eventuelle effekter av endret arts sammensetning for andre deler av økosystemet. Det er videre behov for utvikling av overvåkingskriterier og (enklere) metodikk for overvåking av effekter av nitrogen på vegetasjon.

Det er nødvendig med mer kunnskap om samspill-effekter mellom nitrogen og ozon og samvirkninger med klimaendringer. Store deler av Norge har om sommeren perioder med ozonkonsentrasjoner i luft som er høye nok til å kunne gi skade på vegetasjon. Det mangler fortsatt kunnskap om effekter av bakkenær ozon på naturlig vegetasjon og hvilke faktorer som er bestemmende for biologisk opptak og sårbarhet. Forskningen bør i den sammenheng legge til grunn de natur- og lysforhold som er spesielle for nordiske/norske forhold.

Disse fagområdene er fulgt opp gjennom programplaner og handlingsplaner for ProFo.



## VEDLEGG 1 PROGRAMSTYRENE SAMMENSETNING

Følgende programstyrer har hatt ansvaret for hele eller deler av NOBOZ-programmet:

*Programstyret for Forskningsprogram om nitrogen og bakkenært ozon (1996-1997):*

Professor **Anton Eliassen**, DNMI (leder)  
Professor **Trond Iversen**, UiO  
Førsteamanuensis **Eli Fremstad**, NTNU  
Professor **Arne Stuanes**, NLH  
Rådgiver **Else Løbersli**, DN  
Overingeniør **Tor Johannessen**, SFT

Programkoordinator og forskningsrådets kontaktperson: Rådgiver **Tom Skyrud**

*Programstyret for Forskningsprogram om forurensninger, kilder, spredning, effekter og tiltak (ProFo) (tildelt effektdelen fra NOBOZ fom 1998, og gitt ansvaret for slutt-rapportering)*

Forskningsdirektør **Merete Johannessen Ulstein**, Norsk institutt for vannforskning (leder)  
Rådgiver **Else Marie Løbersli**, Direktoratet for naturforvaltning  
Professor **Frode Fønnum**, Forsvarets forskningsinstitutt  
Forsker **Jarle Klungsoyr**, Havforskningsinstituttet  
Forskningsdirektør **Agnes Skarholt**, SINTEF Kjemi  
Seksjonssjef **Tone D. Bergan**, Statens strålevern  
Konsernspecialist **Erle Grieg Astrup**, Elkem ASA  
Professor **Tor Kihlman**, Institut for teknisk akustikk, Chalmers Tekniska Högskola, Göteborg  
Fagrådgiver **Marit Kjeldby**, Statens forurensningstilsyn  
Seniorgeolog **Tor Løken**, Norges Geotekniske Institutt  
Professor **Jan Mulder**, Institutt for jord- og vannfag, NLH  
Professor **Einar Sagstuen**, Fysisk institutt, Universitetet i Oslo

Programkoordinator: forsker **Hartvig Christie**, Norsk institutt for naturforskning  
Forskningsrådets kontaktperson: rådgiver **Tom Skyrud**

*Programstyret for Forskningsprogram om endringer i klima og ozonlag (tildelt tilførselsdelen fom 1998)*

Professor **Anton Eliassen**, Det norske meteorologiske institutt, (leder)  
Universitetslektor **Ulla Hammarstrand**, Meteorologiska institutionen, Stockholm  
Professor **Peter Mosby Haugan**, Geofysisk institutt, Universitetet i Oslo  
Professor **Ivar Isaksen**, Geofysisk institutt, Universitetet i Oslo  
Førsteamanuensis **Berit Kjeldstad**, Fysisk institutt, NTNU,  
Forsker **Nalan Koc**, Norsk Polarinstitut, Statens forurensningstilsyn,  
Seksjonssjef **Audun Rosland**, Statens forurensningstilsyn,

Programkoordinator/Forskningsrådets kontaktperson: **Terje Mørland**

## VEDLEGG 2 PROSJEKTPORTEFØLJE

For nærmere opplysninger om prosjektene henvises til nettsiden [www.nsd.uib.no/nfi/soek/](http://www.nsd.uib.no/nfi/soek/) (søk på prosjektleder og stikkord fra prosjektittel).

Oversikt over prosjekter innen tilførsler og strategier for utslippsreduksjoner (disse ble overført til Klimaprogrammet fom 1998).

| Prosjektnr. (NFR) | Prosjektittel  | Prosjektleder     | Ansvarlig institusjon                          | Total Bevilgning.(kkkr) |
|-------------------|--|-------------------|--|-------------------------|
| 112202/720        | Improvement of chemical schemes for modelling long range transport of nitrogen species and ozone | Jonsson, Jan Eiof | Meteorologiske institutt                       | 2225                    |
| 112212/720        | Kostnadseffektive strategier for reduksjon av utslipp i Europa                                   | Førsund, Finn     | Frischsenteret for samfunnsøkonomisk forskning | 1080                    |
| 113850/720        | Overvåking av luftforurensende utslipp i Europa  | Høst, Gudmund     | Norsk regnesentral                             | 200                     |
| 122264/720        | Statistiske metoder for langtransporterte luftforurensninger i Europa                            | Høst, Gudmund     | Norsk regnesentral                             | 600                     |
| 122265/720        | Calculations of regional ozone distribution using a multiscale model                             | Stordal, Frode    | Norsk institutt for luftforskning              | 750                     |
| 127884/720        | The partitioning of nitrogen species in background aerosols                                      | Stordal, Frode    | Norsk institutt for luftforskning              | 500                     |
| 112252/720        | Måling av opptak av ozon og tap av ozon ved bakken   | Stordal, Frode    | Norsk institutt for luftforskning              | 207                     |

Oversikt over prosjekter innen effektdelen av NOBOZ (ozon)

|            |  |                      |                                       |      |
|------------|--|----------------------|---------------------------------------|------|
| 112196/720 | Ozon og radikaler  | Aarness, Halvor      | Univ. i Oslo, Biologisk institutt     | 53   |
| 112209/720 | Effects of ozone and nitrogen on vegetation                          | Eriksen, Aud Berglen | Univ. Oslo, Biologisk institutt       | 939  |
| 112232/720 | Ozoneksponering og DNA skader i planteceller                         | Jakobsen, Kjetil     | Univ. Oslo, Biologisk institutt       | 100  |
| 112238/720 | Skadelige ozondoser hos noen viktige grasarter og kløver i Norge     | Mortensen, Leiv      | Planteforsk, Særheim forskningscenter | 500  |
| 112249/720 | Virkning av forhøyede konsentrasjoner av bakkenært ozon på skogstrær | Ogner, Gunnar        | Norsk institutt for skogforskning     | 1230 |

Oversikt over prosjekter innen effektdelen av NOBOZ (nitrogen)

| Prosjektnr. (NFR) | Prosjekttittel   | Prosjektleder          | Ansvarlig institusjon                        | Total Bevilgning. (kkr) |
|-------------------|--|------------------------|--|-------------------------|
| 112197/720        | Effekt av nitrogen på skogøkosystemet  | Abrahamsen, Gunnar     | NLH, Inst. for jord- og vannfag              | 2000                    |
| 112199/720        | Nitrifikasjon og metanoksidasjon i skogsjord: N-tilførsel, forsuring og vegetasjon                                     | Bakken, Lars           | NLH, Inst. for jord- og vannfag              | 467                     |
| 112204/720        | Vekst og utvikling hos lav utsett for ulik nitrogen-tilførsel under kontrollerte forhold                               | Bruteig, Inga          | ALLFORSK                                     | 300                     |
| 112221/720        | Vegetasjonsendringer relatert til nitrogen og andre luftforurensninger   | Hobbelstad, Kåre       | Norsk institutt for jord- og skogkartlegging | 200                     |
| 112241/720        | Modellering av skogsnærings-syklus, med vekt på nitrogen dynamikk og etsimering av tålegrenser                         | Mulder, Jan            | Norsk institutt for skogforskning            | 56                      |
| 112250/720        | Virkninger av nitrogentilførsler på vegetasjon i akvatiske, forsurete økosystemer                                      | Skjelkvåle, Brit Lisa  | Norsk institutt for vannforskning            | 100                     |
| 112255/720        | Jordforsuring – langtidseffekter   | Stuanes, Arne O.       | Norsk institutt for skogforskning            | 822                     |
| 112263/720        | NITREX- Nitrogen saturation experiments  | Wright, Richard F.     | Norsk institutt for vannforskning            | 1500                    |
| 113839/720        | Nitrogen fra fjell til fjord. Trykkingsutgifter til sluttrapportering i spesialnummer av AMBIO                         | Henriksen, Arne        | Norsk institutt for vannforskning            | 200                     |
| 113843/720        | Modelling biogeochemical processes in forest ecosystems  | Kvindesland, S.        | Norsk institutt for skogforskning            | 331                     |
| 113853/720        | Nitrogentilgangens betydning for struktur og funksjon i myr-økosystem  | Økland, Rune Halvorsen | Univ. Oslo, Biologisk institutt              | 1170                    |
| 114645/720        | Nitrogen- og karbonomsetning i skogsjord under ulik nitrogenbelastning   | Stuanes, Arne O.       | Norsk institutt for skogforskning            | 1064                    |
| 122277/720        | Effektar av nitrogen på framvekst av frittlevande epifyttiske algar  | Bruteig, Inga          | ALLFORSK                                     | 500                     |
| 127521/720        | Virkning av økt nitrogentilførsel på prosesser som styrer økosystemets evne til å binde nitrogen. Oppfølging av NITREX | Wright, Richard        | Norsk institutt for vannforskning            | 1050                    |
| 127524/720        | Konkurransen om nitrogen i skog – vinner vegetasjonen, jorda eller sivevannet?   | Abrahamsen, Gunnar     | Norsk institutt for skogforskning            | 778                     |

## VEDLEGG 3 PUBLIKASJONSLISTE

- Berge, E., Walker, S.-E., Sorteberg, A., Eqastwood, S., Kristiansen, J. & Tønnesen, D. 2000. Utvikling og testing av pilotmodell for luftkvaliteten i Oslo. DNMI Rep 99/2000
- Berge, E., Walker, Walker, S.-E.; Sorteberg, A., Lenkopane, M., Eastwood, S., Jablonska, H.J., Ødegård, M., 2000. Evaluering av prognosemodell for meteorologi og luftkvalitet for 22 vinterdager i Oslo. DNMI Rep 100/2000.
- Frigessi, A and Høst, G. 1998. Spatial models with covariates in environmental applications. XXXIX Riunione Scientifica della Societa' Italiana di Statistica. 14-17 April 1998.
- Hirst, D. and Aldrin, M. 1999. Simulating gas prices using both historical time series and future market prices. Notat, nr. SAMBA/13/99, p. 30.
- Hirst, D. and Kåresen, K.F. 1999. Estimating the exceedance of acidification critical loads in Europe. Notat, nr. SAMBA/05/99, p. 14.
- Hirst, D. 1999. Estimating the exceedance of critical loads in Europe by accounting for local variability in deposition. CCI workshop on critical loads, Prague, June, 1999.
- Hirst, D. 1999. Estimating the exceedance of critical loads in Europe by accounting for local variability in deposition. EMEP workshop on data analysis, Dubrovnik. October, 1999.
- Hirst, D., Kåresen, K., Høst, G. and Posch, M. 2000. Estimating the exceedance of critical loads in Europe by considering local variability in deposition. In: Atmospheric Environment. Vol. 34, (2000) pp. 3789-3800. ISSN 1352-2310.
- Høst, G. 2000. Statistics and the Environmental Sciences: Approaches to Model Combination. TIES/SPRUCE 2000. 4-8 september 2000.
- Høst, G. 1999. Bayesian estimation of European sulphur emissions using monitoring data and an acid deposition model. Environmental and Ecological Statistics, vol. 6, nr. 4, p. 381-399.
- Jakobsen, H., Jonsson, J.E. and Berge, E. 1997. Source receptor relationships for sulphur and nitrogen compounds in Europe for 1992 calculated by use of the multi-layer Eulerian model. Norwegian Meteorological Institute. Report. No. 2, 1997. 43 p. ISSN 0332-9897.
- Jonson, J.E., Semb, A., Barrett, K., Grini, A. & Tsyro, S: 2000. On the distribution of sea salt and sodium nitrate particles in Europe. Norwegian Meteorological Institute. EMEP report. No. 2, 2000. Transboundary photo-oxidants in Europe. EMEP Summary report.
- Jonsson, J.E., Sundet, J.K. and Tarrasøn, L.E. 2000. Model calculations of present and future levels of ozone and ozone precursors with a global and regional model. In: Atmospheric Environment. (2000). ISSN 1352-2310.
- Jonsson, J.E. et al.: EMEP Eulerian model for atmospheric transport and deposition of nitrogen species over Europe. Elsevier Science, 1998. pp. 289-298. ISBN 0080432018. Environmental Pollution. Proceedings from Nitrogen Conference, Noordwijkerhout, Netherlands, March 1998.
- Jonsson, J.E., Tarrasøn, L.E. and Sundet, J.K. 1998. The Eulerian 3-D oxidant model: Status and evaluation for summer 1996 result and case studies. In transboundary photooxidant air pollution in Europe. Norwegian Meteorological Institute. EMEP/MS-CW Status Report. No. 2, 1998.
- Jonsson, J.E., Tarrasøn L.E. and Sundet, J.K. 1999. Calculation of ozone and other pollutants for the summer 1996. In: Environmental Management and Health. Vol. 10, (1999) No. 4. pp. 245-258. ISSN 0956-6163.
- Jonsson J.E. et al. 2000 Chemical effects of UV fluctuations inferred from total ozone and tropospheric aerosol variations. In: Journal of Geophysical Research. (2000). ISSN 0022-1406.
- Jonsson, J.E., Jakobsen, H. and Berge, E. 1997. Status of the development of the regional scale photo-chemical multilayer Eulerian model. Norwegian Meteorological Institute. Note. No. 2, 1997. 32 p. ISSN 0332-9897.
- Kåresen, K. and Hirst, D. 1999. Mean preserving smoothing. Notat, nr. SAMBA/10/99, p. 22.
- Kåresen, K.F. 1999. Statistical estimation of long-range air pollution in Europe by combining atmospheric dispersion models and observations. Notat, nr. SAMBA/07/99, p. 21.
- Kåresen, K.F. and Hirst, D. 1999. Estimating the exceedance of nutrient nitrogen critical loads in Europe. Notat, nr. SAMBA/01/99, p. 20.

Notholt, J. et al. 1997. Seasonal variations of atmospheric trace gases in the high arctic at 79 degrees N. In: *Journal of Geophysical Research*. Vol. 102, (1997) No. 11D. ISSN 0022-1406.

Semb, A. 1998. Etablering av måleprogram for bestemmelse av utvekslingsprosesser mellom skogbestand og luft. NILU TR 1/98

Slørdal, L.H. & Tønnesen, D. 1999. Framskrivningsberegninger av NO<sub>2</sub> og PM<sub>10</sub> for Oslo for 2005 og 2010. En sensitivitets- og tiltaksstudie. NILU OR 56/99

Solberg, S., Dye, C., Walker, S.-E. & Simpson, D. 2000. Long-term measurements and model calculations of formaldehyde at rural European monitoring sites. In: *Atmospheric Environment*. Vol. 1, (2000) No. 1. ISSN 1352-2310.

Solberg, S., Lindskog, A. 1998. Evaluation of VOC emissions in Europe. A contribution to sub-project GLOREAM. Southampton: WITpress, 1999. Proceedings: EUROTRAC Symposium 1998.

Solberg, S. and Lindskog, A. 1998. Transboundary photooxidant air pollution in Europe. Calculations of tropospheric ozone and comparison with observations. EMEP/MSC-W report. No. 2:98, 1998. 130 p. ISSN 0332-9897.

Tørseth, K., Aas, W. and Solberg, S. 2001. Trends in airborne sulphur and nitrogen compounds in Norway during 1985-1996 in relation to air mass origin. *Water, Air Soil Pollut.*, vol. 130, no. 1-4, 1493-1498 (2001).

Wolfgang, O. 2001. Eco-Correlation in Acidification Scenarios. Department of Economics, University of Oslo. Memorandum No. 23/2001. ISSN 0801-1117

Wolfgang, O. 2001. Cost-effective abatement of ground-level ozone in cities and for larger regions : implications of non-monotonicity. Department of Economics, University of Oslo. Memorandum; no. 30/2001

Wolfgang, O. 1999. Reflections on abatement modelling. Department of Economics, University of Oslo. Memorandum. No. 34/99, 1999. ISSN 0801-1117.

## VIRKNINGER AV NITROGEN OG OZON

Abrahamsen, G and Nilsen, P. 2001. Scots pine and Norway spruce stands responses to annual N, P and Mg fertilization. *Forest Ecology and Management* 139: (ISSN:0378-1127)

Abrahamsen G., Stuanes A.O., Vestgarden L. 2001. Soil solution response of nitrogen and magnesium application in a Scots pine forest. *Soil Science Society of America Journal* 65:1812-1823.

Abrahamsen, G. & Stuanes, A.O. 2000. Sur nedbør – en miljøkatastrofe? *Fagnytt. Inst. for jord- og vannfag, NLH.*

Abrahamsen, G & Stuanes, A.O. 1998. Retention and leaching of N in Norwegian coniferous forests. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 52:171-178

Abrahamsen G., Sogn T., Stuanes A. 1999. The capacity of forest soil to absorb anthropogenic N. *Ambio* 28:346-349.

*Ambio* (1997). Special issue. Nitrogen from mountains to fjords. *AMBIO* 26:1-325.

Bakken LR and Bleken (1998) Temporal aspects of N-enrichment and emission of N<sub>2</sub>O to the atmosphere. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*. 52:107-121.

Brandrud, T. E. 1998. Ectomycorrhizal fungus flora in a roof-covered catchment at Gårdsjön: changes following the removal of acid rain, p.307-316, In: Hultberg, H. and Skeffington, R. A., *Experimental Reversal of Acid Rain Effects*. The Gårdsjön Roof Project, Wiley and Sons, Chichester, UK.

Brandrud, T. E. and Timmermann, V. 1998. Ectomycorrhizal fungi in the NITREX site at Gårdsjön, Sweden; below and above-ground responses to experimentally-changed nitrogen inputs 1990-1995. *For. Ecol. Manage.* 101: 207-214.

Bredemeier, M., Blanck, K., Tietema, A., Boxman, A. D., Emmett, B. A., Kjønaas, O. J., Moldan, F., Gundersen, P., Schleppe, P., and Wright, R. F. 1998. Input-output budgets at the NITREX sites. *For. Ecol. Manage.* 101: 57-64.

Eilertsen, O. Økland, T. & Hølen, G. 2000. Norwegian monitoring of pollution effects on forests. In: Simpson I., & Parr, T. (eds). *NoLIMITS Workshop Synthesis report* . – NoLIMITS Report 7: 50.

Emmett, B. A., Boxman, A. D., Bredemeier, M., Moldan, F., Gundersen, P., Kjønaas, O. J., Schleppe, P., Tietema, A., and Wright, R. F. 1998. Predicting the effects of atmospheric nitrogen deposition in conifer stands: evidence from the NITREX project. *Ecosystems* 1: 352-360.

Emmett, B. A., Kjønaas, O. J., Gundersen, P., Koopmans, C. J., Tietema, A., and Sleep, D. 1998. Natural abundance of  $\delta^{15}\text{N}$  in forests along a nitrogen deposition gradient. *For. Ecol. Manage.* 101: 9-18.

Giesler, R., Stuanes, A. O., Lundström, U., Kjønaas, O. J., and Moldan, F. 1998. Changes in soil solution chemistry after exclusion of acid deposition, p.137-156, In: Hultberg, H. and Skeffington, R. A., *Experimental Reversal of Acid Rain Effects. The Gardsjon Roof Project*, Wiley and Sons, Chichester, UK.

Gundersen, P., Emmett, B. A., Kjønaas, O. J., Koopmans, C. J., and Tietema, A. 1998. Impact of nitrogen deposition on nitrogen cycling in forests: a synthesis of NITREX data. *For. Ecol. Manage.* 101: 37-56.

Helmen, S. 2001. Virkningen av bakkenært ozon og økt nitrogenilgjengelighet på naturlig vegetasjon. Planters respons i relasjon til plantestrategi. Hovedfagsoppgave. Biologisk institutt. Univ. Oslo. 117s

Husa, S. 2000. Virkningen av bakkenært ozon og økt nitrogenilgjengelighet på antioksidantstatus hos naturlig vegetasjon. Planters respons i relasjon til plantestrategi. Hovedfagsoppgave. Biologisk institutt, Univ. Oslo. 146s

Høgåsen, T. 2001. Effects of ozone and increased nitrogen availability on nine herbaceous and gramineous species from natural populations in Scandinavia. Hovedfagsoppgave. Biologisk institutt. Univ. Oslo. 326s.

Jensen S, Prieme A, Bakken LR (1998) Methanol improves methane uptake in starved methanotrophic microorganisms. *Applied and Environmental Microbiology* 64:1143-1146.

Jiang QQ, Bakken LR (1999) Nitrous oxide production and methane oxidation by different ammonium oxidizing bacteria. *Applied and Environmental Microbiology* 65:2679-2648).

Johnson, D.W., Sogn, T.A. & Kvindesland, S. 1999. The Nutrient Cycling Model (NuCM): Lessons learned. *Forest Ecology and management* (1999). ISSN 0378-1127.

Kjønaas O.J. and Vestgarden, L.S. 2001.



- Potential nitrogen transformations in mineral soils of two coniferous forests exposed to different N inputs. *Forest Ecology and Management* Årg. 139 (2001) (ISSN:0378-1127)
- Kjønaas, O. J. 1999. Factors affecting the stability and efficiency of ion exchange resins in studies of soil nitrogen transformation. *Comm. Soil Sci. Plant Anal.* 30: 2377-2397.
- Kjønaas, O. J. 1999. In situ efficiency of ion exchange resins in studies of nitrogen transformation. *Soil Sci. Soc. Amer. J.* 63: 399-409.
- Kjønaas, O. J. and Wright, R. F. 1998. Predicting possibilities of N leaching from N-limited forest ecosystems: the MERLIN model applied to Gårdsjön, Sweden. *Hydrol. Earth System Sci.* 2: 415-429.
- Kjønaas, O. J., Stuanes, A. O., and Huse, M. 1998. Effects of chronic nitrogen addition on N cycling in a coniferous forest catchment, Gårdsjön, Sweden. *For. Ecol. Manage.* 101: 227-250.
- Kjønaas, O. J., Wright, R. F., and Cosby, B. J. 1997. MERLIN model applied to NITREX Gårdsjön. *Acid Rain Research Report 46/1997*, Norwegian Institute for Water Research, Oslo. 38 pp.
- Klemedtsson L, Jiang QQ, Klemedtsson ÅK Bakken LR (1999) Ammonium oxidizing bacteria in acid forest humus. *Soil Biology and Biochemistry* 31:839-847.
- Kvindesland, S. Modelling nutrient cycling in forest ecosystems. *Agric. Univ. Norway. Dr. scient. thesis No. 35.* 1997. 155p. ISBN 8257503339.
- Kvindesland, S.H.S.B. 1997. The nutrient cycling model (NuCM) User Manual. Report No. 3/97 (53) 40pp. *Agric. Univ. Norway. Dept. of Soil and Water Sciences.* ISSN 0805-7214
- Nilsen, P. & Abrahamsen, G. 1999. *Skoggjødsling. Gjødning aktuelt 1999.*
- Nordbakken, J.-F. 2000. Persistence of boreal bog vegetation. *J. Veg. Sci.* 11: 269-276.
- Paulsen, B. 2001. Virkningen av bakkenært ozon på det oksidative forsvarssystemet hos planter. Planters respons i relasjon til plantestrategi. Hovedfagsoppgave. *Biologisk institutt. Univ. Oslo.* 68s.
- Qiao, Qing. 1997. Dr. thesis: Nitrifying bacteria, isolation and physiological studies related to nitrous oxide and methane fluxes. *Norges Landbrukshøgskole*
- Stuanes, A.O., Abrahamsen, G., Strand, L.T., and Vestgarden, L.S. 2000. Forest soil recovery nearly 20 years after addition of elevated acid rain deposition. 2000. BSSS Eurosoil 2000 Conference. Reading, UK, 3.- 6. September 2000.
- Stuanes, A.O., Huse, M., Kjønaas, O. J., and Nygaard, P. H. 1998. Forest health responses in the Gårdsjön catchments, p.327-334. In: Hultberg, H. and Skeffington, R. A., *Experimental Reversal of Acid Rain Effects. The Gårdsjön Roof Project*, Wiley and Sons, Chichester, UK.
- Stuanes, A.O. and Kjønaas, O. J. 1998. Soil solution chemistry during four years of NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub> addition to a forested catchment at Gårdsjön, Sweden. *For. Ecol. Manage.* 101: 215-226.
- Tietema, A., Beier, C., de Visser, P. H. B., Emmett, B. A., Gundersen, P., Kjønaas, O. J., and Koopmans, C. J. 1997. Nitrate leaching in coniferous forest ecosystems: the European fieldscale manipulation experiments NITREX (nitrogen saturation experiments) and EXMAN (experimental manipulation of forest ecosystems). *Global Biogeochemical Cycles* 11: 617-626.
- Tietema, A., Boxman, A. D., Bredemeier, M., Emmett, B. A., Moldan, F., Gundersen, P., Schleppe, P., and Wright, R. F. 1998. Nitrogen saturation experiments (NITREX) in coniferous forest ecosystems in Europe: a summary of results. *Environ. Pollut.* 102 SI: 433-437.
- Tietema, A., Emmett, B. A., Gundersen, P., Kjønaas, O. J., and Koopmans, C. J. 1998. The fate of <sup>15</sup>N - labeled nitrogen deposition in coniferous forests. *For. Ecol. Manage.* 101: 19-28.
- Vestad, Tor Arne. Cand scient oppgave våren 1998. *Univ. Oslo*
- Vestgarden, L.S. 2000. Nitrogen and carbon turnover in a Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) forest influenced by different nitrogen inputs. *Agricultural University of Norway. Dr. scient. thesis 2000:31* ISSN 0802-3220.
- Vestgarden, L.S. 2001. Carbon and nitrogen turnover in the early stage of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) needle litter decomposition: effects of internal and external nitrogen. *Soil Biolgy and Biochemistry* 33:465-474.
- Vestgarden, L.S., Nilsen, P. and Abrahamsen, G. Nitrogen cycling in a Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) forest influenced by different N inputs.

Submitted to Forest Ecology and Management.

Vestgarden, L.S., Selle L.T. and Stuanes, A.O. In situ soil nitrogen mineralisation in a Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) stand: effects of increased nitrogen input. Submitted to Forest Ecology and Management.

Wright, R. F. and Rasmussen, L. 1998. Introduction to the NITREX and EXMAN projects. For. Ecol. Manage. 101: 1-8.

Økland, R. H. & Økland, T. 1999. Har langtransporterte luftforurensninger ført til endringer i vegetasjon i Norge, og kan endringer i vegetasjon i norske fjellområder ventes som følge av økte nitrogentilførsler? – Norsk Inst. Vannforsk. Rapp. 4017: 58-61.

Økland, R.H., Økland, T. & Eilertsen, O. 2000. Monitoring effects on boreal coniferous forest vegetation in Norway, 1988-2000. In: Kondo, J. (ed.). Acid Rain 2000, 6th International conference on acidic deposition: 179.

Økland, T. & Økland, R.H. 2000. Effekter av forurensning på barskogsvegetasjon. - pH-Status 6: 1: 2-3.

Økland, T. 1998. Five-year changes in plant diversity and abundance in Norwegian boreal spruce forest. - Stud. Pl. Ecol. 20: 21.

Økland, T. 1999. Intensivovervåking i granskog: Endringer i undervegetasjonen i fem overvåkingsområder i løpet av en fem-års-periode. – Norsk Institutt for Jord- og Skogkartlegging. 1999: 19: 1-33.

## VEDLEGG 4 PROGRAMPLAN

Området for Miljø og utvikling

### FORSKNINGSPROGRAM OM NITROGEN OG BAKKENÆRT OZON

Innstilling fra arbeidsgruppen

#### Arbeidsgruppens forord

Områdestyret for miljø og utvikling nedsatte i februar 1996 en arbeidsgruppe for å utarbeide et forslag til faglige mål for videreføring av en forskningssatsing om tilførsler og virkninger av lufttransporterte forurensninger. Arbeidsgruppen avgir med dette sin innstilling.

Arbeidsgruppen har i februar 1996 hatt ett møte.  
Innstillingen er enstemmig

*Oslo, februar 1996*

**Anton Eliassen**

*Gruppens leder*

**Frode Stordal**

**Else M. Løbersli**

**Mari Sæther**

**Arne Stuanes**

**Tor Johannessen**

## I. OPPNEVNING OG MANDAT

Norges forskningsråd nedsatte 8. februar en arbeidsgruppe for å utarbeide et forslag til faglige mål for videreføring av en forskningssatsing om tilførsler og virkninger av lufttransporterte forurensninger.

Forskningsrådet oppnevnte:

Professor **Anton Eliassen**, Det norske meteorologiske institutt, *Leder*

Professor **Frode Stordal**, Norsk institutt for luftforskning

Rådgiver **Else Marie Løbersli**, Direktoratet for naturforvaltning

Førstekonsulent **Mari Sæther**, Miljøverndepartementet

Professor **Arne Stuanes**, Norges Landbrukshøgskole

Rådgiver **Tor Johannessen**, Statens forurensningstilsyn

Forsker **Inga Fløisand** fungerte som programutviklingsgruppens sekretær.

## Gruppens mandat har vært:

Gruppen skal innen 23. februar 1996 ha utarbeidet et forslag til faglige mål som gjenspeiler de tilgjengelige midlene for en videreføring av forskningsprogram om tilførsler og virkninger av lufttransporterte forurensninger (TVLF). De temaer som videreføres fra TVLF er tilførsler og virkninger av nitrogen og bakkenært ozon. Dessuten skal gruppen vurdere behovet for kunnskap om sammenhengen mellom tilførsler og virkninger, og om kostnadseffektive forurensnings-begrensende tiltak.

Programmet må være rettet mot forvaltningens forskningsbehov, men det må også sikre den nødvendige teoretiske og metodiske plattformen for denne forskningen.

Programmet må avgrenses i forhold til internasjonal og nasjonal forskning på området.

Arbeidet med programforslaget må to utgangspunkt i de to dokumentene som er utarbeidet av TVLF: Kunnskapsstatus og forskningsbehov (1991) og Rammeprogram (1993). Det forutsettes en nær kontakt og kommunikasjon med relevante forskningsprogrammer i Miljø og utvikling, spesielt økotoksikologi, klima og ozon og strålevern.

I programforslaget bør følgende forhold tas opp:

- a. En begrunnet gjennomgang av hvilke problemstillinger som er aktuelle.
- b. En kortfattet oppsummering av kunnskapsstatus ( i et nasjonalt og internasjonalt perspektiv) innenfor de fagområder som er relevant for arbeidet med en ny NOx-avtale.
- c. Utredningen bør munne ut i et programforslag med klart definert målsetting og begrunnet prioritering av prosjektområder innenfor en økonomisk ramme på 4-6 millioner kroner pr. år i 5 år.

## 2. MÅL FOR PROGRAMMET

### Hovedmål

Øke kunnskapen omkring tilførsler, virkninger og kostnadseffektiv reduksjon av nitrogen og bakkenært ozon.

### Delmål

- Belyse tilførsler av nitrogen og sentrale deler av nitrogenkretsløpet i terrestriske økosystem knyttet til virkningsmekanismer og økologiske effekter
- Belyse tilførselen av bakkenært ozon og mekanismene for ozonskader på vegetasjon. Finne sammenhenger mellom ozonkonsentrasjoner, fysiske og biologiske parametre og graden av ozonskader
- Utvikle modellapparat for analyse av virknings-baserte kostnadseffektive strategier for utslippsreduksjoner

## 3. PROBLEMETS OMFANG

Sur nedbør som følge av utslipp av oksider av svovel og nitrogen forblir et omfattende miljøproblem i Europa og Nord-Amerika. Problemet er økende i sørøst Asia. I de samme områdene er dannelse av bakkenært ozon et regionalt miljøproblem. I tillegg kommer betydelige utslipp av skadelige stoffer som tungmetaller og persistente organiske forbindelser. Svovelutslippene i Europa er redusert med rundt 40 % siden 1980. Utslippene av oksidert og redusert nitrogen har vært nokså stabile over samme periode, med en svakt synkende tendens siden 1989. Svovelavsetningen i Norge har avtatt siden midten av 1980-årene. Elver og innsjøer i Norge er imidlertid fortsatt sterkt forsuret. Langtransporterte forurensninger kan virke direkte på de biologiske elementene i et økosystem, men viktigere for norske forhold er de langsiktige endringer av jordsmonn og vannkvalitet. Det kan gå 50-100 år før slike endringer gir seg utslag i åpenbare skader. De registrerte skadene på akvatiske systemer i Norge er store, mens skadeomfanget på terrestriske

systemer er mindre enn i de store utslippsområdene i Europa. Likevel er det stort behov for økt kunnskap om effekter på norsk natur fordi de geologiske forholdene gjør at tålegrensene for sur nedbør over store deler av Norge er svært lave sammenliknet med ellers i Europa. Til tross for at europeiske og nordamerikanske utslipp av svovel, nitrogenoksider og VOC (flyktige organiske forbindelser) nå blir regulert gjennom internasjonale avtaler, utgjør langtransporterte forurensninger en langsiktig trussel mot norsk natur. Nitrogen står i en særstilling fordi det er så sterkt koblet til biologiske prosesser. Nitrogen kan akkumuleres i biomasse eller jord og på den maten påvirke de terrestriske økosystemene. Hvis nitrogenet ikke akkumuleres, kan det vaskes ut som nitrat og følgelig bidra til forsurening. Nye avtaler om utslippsreduksjoner tar utgangspunkt i bl.a. kritiske belastningsgrenser («naturens tålegrenser») og kostnadseffektiv fordeling av utslippsreduksjoner mellom land. Denne tilnærmingen stiller økte krav til detaljering og kvantifisering av kunnskaper både på tilførsels- og effektsiden og til utvikling av modeller for å analysere strategier for utslippsreduksjoner.

#### 4. PROGRAMMETS AVGRENSNINGER

Det er fremdeles mangler ved vår kunnskap om tilførsler og virkninger av lufttransportert svovel. En avtale om ytterligere reduksjon av svovelutslippene ble imidlertid undertegnet i 1994. De videre forhandlinger under langtransportkonvensjonen i tiden framover vil i stedet dreie seg om utslipp av nitrogen, flyktige organiske forbindelser, tungmetaller og persistente organiske forbindelser, slik at forvaltningens behov for ytterligere kunnskap om svovelets rolle ikke er særlig stort nå. Forskning omkring svovel vil derfor falle utenfor dette forskningsprogrammet. Forskning omkring tungmetaller og persistente organiske forbindelser er tatt vare på gjennom Forskningsprogrammet om økotoksikologi, og faller

derfor også utenfor dette program.

Kunnskapsmangelen når det gjelder tilførsler og virkninger av nitrogen og bakkenært ozon er betydelige. I tiden framover vil vi trenge mer kunnskap på disse områder, som støtte for de videre forhandlingene under langtransportkonvensjonen. Forskning omkring disse spørsmål omfattes av dette programmet. I tillegg er det også viktig å utvikle metoder for hvordan denne kunnskapen kan kombineres med kostnadene ved forskjellige typer utslippsreduksjoner, slik at mest mulig kostnadseffektive avtaler kan utarbeides. Slik forskning vil også omfattes av dette programmet.

## 5. KUNNSKAPSSTATUS

### 5.1 TILFØRSLER

Utslipp av nitrogenoksider til luft stammer i hovedsak fra forbrenningsprosesser. Biltrafikken står for en vesentlig del av utslippet i Europa. Målt som N avsettes det omtrent like mye ammoniakk/ammonium og nitrogenoksider. Årlig nedfall over Norge er omtrent 100 000 tonn for både svovel og nitrogen. Det meste stammer fra utslipp i Tyskland, Storbritannia, Polen og det tidligere Sovjet. Norske utslipp bidrar med bare ca. 3 % av nedfallet av svovel, ca. 10 % av nedfallet av oksidert nitrogen, og ca. 40 % av nedfallet av ammoniakk.

Fotokjemiske oksidanter (viktigst er ozon, O<sub>3</sub>) dannes i atmosfæren ved kjemiske reaksjoner mellom nitrogenoksider og VOC under påvirkning av sollys. Hovedkildene for VOC er bruk og håndtering av petroleumsprodukter og fordampning av løsemidler. NO<sub>x</sub> deltar i ozonproduksjonen som katalysator. Produksjonen finner sted på tidsskalaer fra noen få timer til flere måneder. I Europa har konsentrasjonen av bakkenært ozon økt fra ca. 10 til ca. 25 ppb i løpet av de siste 100 år. Langt høyere konsentrasjoner av ozon opptrer i episoder i store deler av Europa. Ozonnivået i Europa økte gjennom 1980-

tallet (ca. 1% økning pr. år utenfor bystrøk), både ved bakken og i de høyere luftlag i troposfæren. Ozon, og noen andre oksidanter, kan transporteres over store avstander. I Norge har vi derfor ozon-episoder p.g.a. transport av ozon og kjemiske forløpere fra andre europeiske land.

## 5.2 VIRKNINGER

Direkte virkninger av  $SO_2$  og  $NO_x$  på skog og annen vegetasjon er de fleste steder i Norge (Øst-Finnmark og andre lokale kilder unntatt) ubetydelige fordi konsentrasjonene i luft er lave. De indirekte virkningene på økosystemet er viktigere. I løpet av de siste 20 årene er det gjort betydelig innsats for å klarlegge den sure nedbørens virkning på jordas syre/base-tilstand. Problemet er dels angrepet ved eksperimentelle undersøkelser (forsøk med kunstig sur nedbør), dels ved landsomfattende og regionale undersøkelser for å kartlegge syre/base forholdene i jord. Undersøkelsene viser at den sure nedbøren fører til økt utvasking av basekationer fra jord, og dermed til en økt forsuring av jorda. På lengre sikt kan dette føre til næringsmangel med redusert vekst og skogskader som resultat. Nitrogenfallet kan forsterke en slik næringsmangeffekt, ved at en økt utvasking av nitrat forsterker utvasking av basekationer som allerede har startet p.g.a. sulfat. Det er påvist skader på trær, andre høyere planter og moser i Norge, men det er fortsatt uvisst i hvilken grad disse skadene skyldes langtransporterte forurensninger. Man vet fortsatt heller ikke hvorvidt det finner sted langtidsendringer i artssammensetningen i våre viktigste terrestriske økosystemer (skog, myr, hei, subalpine og alpine systemer), men også i slike sammenhenger må fokus settes på nitrogen. Alle de 32 land som deltok i den europeiske skogskadeundersøkelsen i 1994 (UNECE) rapporterte om skadet skog på sitt territorium. I noen av landene ble luftforurensning regnet som en essensiell destabiliserende faktor for skogens sunnhetsstilstand, mens luftforurensning ble regnet som medvirkende til

en svekket sunnhetsstilstand for skogen i de fleste av de resterende land.

Beregninger viser at naturens tålegrense for vannforsuring er overskredet for 80 000 km<sup>2</sup> (25 %) av Norges areal. Skader på og tap av fiskebestander i Sør-Norge har økt gjennom 1980-årene. Laksebestandene i sørlandselvene er utryddet. Pr. 1996 er det registrert forurensningsskader på bestander innenfor ca. 84 000 km<sup>2</sup>; sterkt skadde ørretbestander finnes innenfor ca. 36 000 km<sup>2</sup>.

Store ozonkonsentrasjoner nær bakken har negativ virkning på helsen (kan gi irritasjoner i øyne og åndedretsorganer), og kan skade vegetasjon og materialer. Høye ozonmengder har vært antydnet som medvirkende årsak til de skogskadene som har vært observert i Mellom-Europa.

Ozonbetingede skader og redusert vekst er påvist hos flere følsomme matplanter, som poteter, tomater, hvete, spinat og soyabønner. I Norge er bl.a. bjørk, timotei og fjelltimotei funnet å være følsomme for ozon, men skader er foreløpig ikke påvist under naturlige forhold. Skadene på planter er som regel små for ozonkonsentrasjoner under 40 ppb, selv om denne grensen er litt usikker. Over 40 ppb øker skadene jevnt med eksponeringen. Vekstsesongen er spesielt viktig. Ozon angriper dessuten en rekke materialer (gummi, en del typer plast og måling). Store deler av Norge har om sommeren perioder med ozonkonsentrasjoner i luft som er høye nok til å kunne gi skade på vegetasjonen.

## 5.3 STRATEGIER FOR UTSLIPPS-REDUKSJONER

Det viktigste tiltaket for å begrense tilførselene og virkningene av langtransporterte luftforurensninger er reduksjon av utslippene. Under konvensjonen om langtransportert grenseoverskridende luftforurensning er det nå akseptert at nye avtaler om reduksjon av utslipp av svovel, nitrogen og flyktige organiske forbindelser (VOC) skal baseres på prinsippet om kritiske belastningsgrenser («the critical loads

approach»). På norsk brukes begrepet «naturens tålegrenser»; definert som den høyeste forurensningsbelastning som ut fra dagens kunnskapsnivå ikke gir skadevirkninger i økosystemet. Målet er at utslippene av langtransporterte luftforurensninger på lang sikt reduseres slik at tålegrensene i Europa ikke overskrides, og på en mest mulig kostnadseffektiv måte. Dermed må forhandlinger om reduksjon av utslippene, både nasjonalt og internasjonalt, basere seg på kunnskap om forurensningseffekter som funksjon av forurensningsbelastning, og kunnskap om kostnadseffektive måter å redusere utslippene.

## 6. PROGRAM OG PRIORITERING

### 6.1 TILFØRSLER

Til tross for at kunnskapsnivået på tilførselssiden har økt betydelig de siste 20 år, er det fortsatt en rekke ubesvarte spørsmål vedrørende utslipp, transport og avsetning av følgende stoffer:

- a) Nitrogen;
  - i) de forskjellige oksidasjonsmekanismer for  $\text{NO}_2$ ,
  - ii) fordeling av nitrat mellom gass- og partikkelfase.
- b) Bakkenært ozon;
  - i) uløste spørsmål i atmosfærens oksidantkjemi som er av betydning for utarbeidelse av optimale internasjonale strategier for utslippsreduksjoner,
  - ii) betydningen av ulike VOC-forbindelser for dannelsen av fotokjemiske oksidanter.

Det er behov for spesielle målinger av komponenter som fører til sur nedbør og oksidantdannelse, for å bedre kjennskapen til tilførselsmekanismene for stoffene nevnt ovenfor. Målingene bør tolkes ved hjelp av modeller.

For bedre å kunne forutsi virkninger av europeiske utslippsreduksjoner er det behov for økt forståelse av hvordan kje-

miske reaksjoner og transportprosesser på global skala påvirker atmosfæren over Europa.

### 6.2 VIRKNINGER

For bedre å kunne forutsi virkninger av langtransporterte forurensninger trengs det kunnskap om

- i) viktige økosystemers sammensetning, dynamikk og funksjon,
- ii) de naturlige forandringer i økosystemene over lang tid, og
- iii) de viktigste økosystemenes dynamiske stabilitet, evne til å motstå stress og evne til å vende tilbake til en likevekts-situasjon.

Det er behov for økt kunnskap om hvordan eventuelle klimaendringer vil modifisere eller forsterke virkningene av langtransporterte luftforurensninger.

#### 6.2.1 JORD.

Bedre kunnskap om hvordan forurensninger virker på de basale prosessene i jord er nødvendig for å forstå forurensningenes effekt på terrestriske planter, vannkjemi og organismer i vann.

Vi vet alt for lite om nitrogendynamikken i skogsjord, spesielt på lang sikt. Nøkkelspørsmål her er omfanget av nitrogenimmobilisering, hvor stabile produktene som dannes er og hva som skjer ved økt nitrogentilførsel. Temperatur og fuktighet er styrende for nitrogenmineraliseringen. Senere års forskning gir grunn til å fokusere mer på hva som skjer ved temperaturer nær null. God innsikt i variasjoner i nitrogendynamikken mellom årstider og mellom år gir grunnlag for også å vurdere effekter av klimaendringer. Systematiske og vel funderte langsiktige forsøk kan avklare viktige forhold knyttet til nitrogendynamikken i skogsjord. på den jordbunnsbiologiske siden er det også nødvendig å bedre kunnskapene om nitrogenets effekter på mykorrhiza og saprofyttopp.

Ny forskning med formål å øke våre kunnskaper om forurensningens virkninger på jord, bør foregå gjennom tverrfaglig modellarbeid der jordbunnsforskere og modellører arbeider sammen. Dagens modeller lider under for dårlig kunnskap om grunnleggende prosesser i jord, slike som

- i. den naturlige forsuringshastigheten i våre jordsmonn,
- ii. vannets bevegelsesveier og oppholdstider i jorda,
- iii. den aktuelle forvittringshastighet og virkningen av jordas surhet, og
- iv. utbyttingsselektivitet av ulike ioner i jorda.

### 6.2.2 SKOG OG ANNEN VEGETASJON.

En primær oppgave er å fastslå i hvilken grad endringer i terrestriske økosystemer, som følge av langtransporterte forurensninger, finner sted (endringsrater og geografiske trender). Hertil kreves kunnskap om endringsrater i naturlige økosystemer. God koordinering mellom forskning og overvåking er derfor av stor betydning. Forskning må legge det faglige grunnlaget for overvåkingen, med hensyn til valg av overvåkningskriterier generelt og identifi- sering av indikatorarter og biomarkører spesielt. Selv om det er usikkerheter med hensyn til N-avsetningens skjebne i jord- plantesystemet, er det sannsynlig at N-tilførslene i første omgang øker primærproduksjonen. På lengre sikt kan økt primærproduksjon sammen med økt utvasking av basekationer føre til ubalanse i næringstilgangen, f.eks. på Mg, noe som kan påvirke konkurranseforholdet mellom ulike planterarter. Økning i nitrogen og ozon kan også gi effekter på mose og lav, f.eks. gjennom endrete konkurranseforhold. Når det gjelder ozonskader på vegetasjon, er det viktig å avdekke mekanismer som forårsaker slike skader, og finne sammenhenger mellom ozonkonsentrasjoner, fysiske og biologiske parametre og graden av ozonskader.

### 6.2.3 ANDRE VIRKNINGSSTUDIER

Gjennom endringer i skog og vegetasjon kan næringstilgang (kvalitet og mengde) og leveområder for dyr bli endret på lengre sikt. Modellstudier av jord og vann er viktig som hjelpemiddel for forståelsen av ulike prosesser og for vurderinger av reversibilitet og effekter av framtidige endringer i forurensningsbelastning.

### 6.3 STRATEGIER FOR UTSLIPPSREDUKSJONER

Svovelprotokollen av 1994 er den første avtale som har tatt utgangspunkt i modellberegninger som integrerer kunnskap om utslipp, kostnader ved utslippsreduksjoner, atmosfærisk transport og omdanning og talegrenser. Denne avtalen retter seg mot en forurensningskomponent ( $SO_2$ ) og ett miljøproblem (forsuring), og det ble beregnet en fordeling av utslippsreduksjoner mellom de europeiske land som skulle sikre en bestemt forbedring av miljøsituasjonen til lavest mulig kostnad totalt. For framtidige avtaler tas det sikte på at problemer som henger sammen (et stoff bidrar til flere miljøproblemer, eller et miljøproblem er skapt av flere stoffer) skal angripes med en helhetlig strategi. For å utvikle en slik strategi må det gjøres modellstudier som analyserer sammenhengen mellom ulike mål for miljøforbedring (med hensyn til flere miljøproblemer) og fordelingen av utslippsreduksjoner (med hensyn til flere utslippskomponenter) mellom europeiske land.

Det er behov for modeller som kan analysere effektbaserte kostnadseffektive strategier for utslippsreduksjoner hvor flere miljøproblemer og utslippskomponenter ses under ett. Modellutviklingen må ta sikte på å muliggjøre analyser av fullstendig integrerte og optimaliserte scenarier for europeiske strategier for utslippsreduksjoner. Dette innebærer at f.eks. de regionale miljøproblemene forsuring, overgjødning og bakkenært ozon, og helst også luftkvalitet i tettsteder, skal kunne håndteres simultant i modellapparatet. Videre skal modellapparatet gjøre det