

NIVA



RAPPORT LNR 4459-2002

Økt plantevekst i uberørt fjellvann: et samspill mellom langtransporterte forurensninger og klima

NATURENS
TALEGRENSER

Miljøverndepartementet
Fagrapport nr. 112



*Ekperimentell næringstilsetning i elven
Ufysja i Hol kommune, Buskerud. August 2000.*

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
5005 Bergen
Telefon (47) 55 30 22 50
Telefax (47) 55 30 22 51

Akvaplan-niva

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

Tittel Økt algevekst i uberørt fjellvann: et samspill mellom langtransporterte forurensninger og klima	Løpenr. (for bestilling) 4459-2001	Dato November 2001
	Prosjektnr. Undernr. O-20115/E-21429	Sider Pris 41
Forfatter(e) Eli-Anne Lindstrøm	Fagområde Langtransporterte forurensninger	Distribusjon
	Geografisk område Buskerud	Trykket NIVA

Oppdragsgiver(e) DN Direktoratet for Naturforvaltning/SFT Statens forurensningstilsyn	Oppdragsreferanse
--	-------------------

Det er etter alt å dømme flere til dels sammenfallende årsaker til økt vekst av "grønnske" og annen vannvegetasjon i norske fjellområder de senere år. For å få mer kunnskap om dette har vi gjort eksperimentelle forsøk i en mindre fjellelv i Sør-Norge. I en næringsfattig elv nær Dagali i Buskerud ble det satt ut et eksperimentelt oppsett som gir mulighet for tilsetning av nærings-salter over tid. Forsøk i 2000 og 2001 viste at elva var *primært* nitrogenbegrenset i hele vekstperioden. Det viser at det er potensiale for økt vekst dersom tilførselen av biologisk tilgjengelig nitrogen øker. Hvis det er tilsvarende næringsbegrensninger i andre deler av Norge, kan økt tilførsel av NOx via langtransporterte forurensninger langt på vei forklare den økte grønnskeveksten de senere år. Ettersom forsøket er gjort i en elv med pH 7 er effektene ikke et resultat av forsuring som sådan.

Næringsbegrensningen er så utpreget i sommerhalvåret at den hindrer normal årstidsvariasjon: økt vekst i den varme årstiden. Derfor forventes økt N tilførsel (reduert næringsbegrensning) å ha særlig stor effekt i varme perioder. Alger som reagerer positivt på økende temperatur og dessuten er tilpasset svært næringsfattige forhold især lave P konsentrasjoner, vil trolig bli vinnere ved økt N tilførsel. Det kan forklare hvorfor særlig trådformede grønnalger har fått økt vekst de senere år. Undersøkelsen viser at en elv kan ha svært lavt P innhold og likevel være N begrenset. Videre ser det ut til at P utnyttes svært effektivt av en del alger og at grensen for hva som er N og hva som er P begrenset ligger ved lavere P konsentrasjoner enn tidligere antatt. Det kan derfor være behov for en revisjon når det gjelder å angi overgangen mellom P og N begrensning i rennende vann.

Fire norske emneord	Fire engelske emneord
1. nitrogen	1. nitrogen
2. vekstforsøk	2. growth experiment
3. fastsittende alger	3. attached algae
4. næringsbegrensning	4. nutrient limitation

Eli-Anne Lindstrøm
Eli-Anne Lindstrøm
Prosjektleder

Anne Eyche Solheim
Anne Eyche Solheim
Forskningsleder

Nils Roar Sælthun
Nils Roar Sælthun
Forskningsjef

Naturens Tålegrenser

Fagrapport nr. 112

**Økt algevekst i uberørt fjellvann: et samspill mellom
langtransporterte forurensninger og klima**

Eli-Anne Lindstrøm

Medarbeidere:
Stein W. Johansen
Randi Romstad

Forord

Denne undersøkelsen ble utført på oppdrag fra Direktoratet for Naturforvaltning og Statens Forurensningstilsyn i regi av Programmet Naturens Tålegrenser. Et utvidet forsøk i 2001 ble finansiert av NIVAs interne forskningsmidler. Randi Romstad ved NIVA har hatt ansvar for den praktiske gjennomføringen av prosjektet. Undertegnede har vært prosjektleder og har skrevet rapporten. Vi takker alle som har hjulpet til med feltarbeidet.

Oslo, november 2001

Eli-Anne Lindstrøm

Innhold

Sammendrag	5
Summary	6
1. Bakgrunn	7
2. Metoder og materiale	8
2.1 Valg av lokalitet	8
2.2 Eksperimentelt oppsett - næringstilsetning	9
2.3 Prøvetaking	11
3. Resultater og diskusjon	12
3.1 Vanntemperatur	12
3.2 Nedbør, vanddyb og strømhastighet	12
3.3 Vannkjemi	16
3.4 Trådformede alger "grønske" i Ufysja	17
3.5 Vekstforsøk	19
3.6 Alger på vekstsubstratene	25
4. Når er norske vassdrag P eventuelt N begrenset ?	26
5. Konklusjoner og videre arbeid	27
5.1 Konklusjoner	27
5.2 Videre arbeid	28
6. Litteratur	29
Vedlegg A.	32
Vedlegg B.	35

Sammendrag

Det er etter alt å dømme flere til dels sammenfallende årsaker til økt vekst av "grønske" og annen vannvegetasjon i norske fjellområder de senere år. For å få mer kunnskap om dette har vi gjort eksperimentelle forsøk i en mindre fjellelv i Sør-Norge.

Gjennomføring

I en mindre elv nær Dagali, Ufysja 1110 moh., ble det satt ut et forsøksoppsett; tunge stålkasser gravet ned i flukt med elvebunnen. Hver kasse har 20 separate vekstsubstrat som er i kontakt med agarfylte bokser tilsatt næringssalter. Det gir mulighet for tilsetning av næringssalter (diffusjon ut av agaboksene) over lengre tid. Kassene ble eksponert i 4 påfølgende 1 måneders perioder i vekstperioden (juni-oktober). Ved forsøkene i 2000 og 2001 ble agarboksene tilsatt fosfor og nitrogen i ulike konsentrasjoner og kombinasjoner. For hver tilsetning ble samlet 5 parallelle prøver, 4 til klorofyllanalyse og en til analyse av algesammensetning. Det ble også tatt vannprøver til kjemiske analyser. Den valgte elv viste seg som meget velegnet for denne type forsøk og den praktiske gjennomføringen har gått greit.

Resultater og konklusjoner

Både i 2000 og 2001 var det klart mer algevekst på nitrogentilsatte paralleller enn på kontrollene. P tilsetning alene ga ingen målbar vekstøkning i 2000, bare en liten økning sent i 2001. Kombinert N og P tilsetning ga størst økning. Samlet viser dette at forsøkselven var *primært* N begrenset og at det er potensiale for økt vekst ved tilførsel av biologisk tilgjengelig nitrogen. Hvis det er tilsvarende næringsbegrensninger i andre deler av Norge, kan økt tilførsel av NO_x via langtransporterte forurensninger langt på vei forklare den økte grønnskeveksten de senere år. Ettersom forsøket er gjort i en elv med pH 7, er effektene ikke et resultat av forsuring som sådan. Derved kan økt grønnskevekst med større sannsynlighet knyttes mer direkte til langtransporterte forurensninger.

Næringsbegrensningen er så utpreget i sommerhalvåret at den hindrer normal årstidsvariasjon: økt vekst i den varme årstiden. Derfor forventes økt N tilførsel (reduert næringsbegrensning) å ha særlig stor effekt i varme perioder. Alger som reagerer positivt på økende temperatur og dessuten er tilpasset svært næringsfattige forhold, især lave P konsentrasjoner, vil trolig bli vinnere ved økt N tilførsel. Det kan forklare hvorfor særlig trådformede grønnalger har fått økt forekomst de senere år. Undersøkelsen viser at en elv kan ha svært lavt P innhold og likevel være N begrenset. Videre ser det ut til at P utnyttes svært effektivt av en del alger og at overgangen fra N til P begrensning skjer ved lavere P konsentrasjoner enn tidligere antatt. Det kan være behov for en revisjon når det gjelder å fastsette grensen for hva som er N og hva som er P begrenset i rennende vann.

Videre arbeid

- Før en gjør tilsvarende forsøk i et annet område med økende grønnske, men et annet mønster mht. nedbør og avrenning, bør en teste betydningen av grunnleggende forskjeller i vannkjemi, nærmere bestemt vannets innhold av TOC. Derfor anbefales nytt forsøk lagt til en lokalitet med lavt TOC innhold og før øvrig liknende forhold som i nåværende lokalitet.
- Virkningen av UV bestråling på vekst av fastsittende alger i fjellet er en annen problemstilling dette forsøksoppsettet er velegnet til å belyse. Alternativt vil det derfor bli søkt om å utvide prosjektet med et UV- forsøk. Betingelser mht. næringstilsetning, eksponeringsperioder osv. vil i så fall bli nøyaktig som i det rapporterte forsøk. Vi er klar over at denne problemstillingen strengt tatt ikke hører inn under programmet; Naturens tålegrenser, men det vil egne seg svært godt å innpasse et slikt forsøk i dette eksperimentelle oppsettet.

Summary

Title: Increased algal growth in remote watercourses: an interaction between long range transboundary pollution and climate change.

Year: 2001

Author: Lindstrøm, Eli-Anne

Source: Norwegian Institute for Water Research, ISBN No.: ISBN 82-577-4105-1

Background: Increased growth of attached algae (particularly filamentous green algae) and other aquatic vegetation has been observed in Norwegian watercourses the last 20-30 years. Small waterbodies in remote mountain areas without any local pollution in the catchment are most affected. To get more knowledge about possible reasons for this, experimental studies were carried out in a river in South Norway.

Methods and material: Ufysja, a small river located 1110 m above sea level in Buskerud county was chosen for the experiments. The experimental design, a heavy steel cage constructed as 4 mini-throughs, each with 5 openings for growth substrate, was placed in the river. The substrates are in contact with boxes filled with nutrient-added agar. This makes it possible to add nutrients over a period of time. The boxes were added N and P in different concentrations and combinations. 5 parallel samples were collected, 4 for chlorophyll *a* analyses and 1 for analyses of species composition of algae. Watersamples for chemical analyses were collected as well. The selected river proved to be well suited for this type of experiment.

Results and discussion: Algal growth was markedly higher on nitrogen-added substrates than controls. Phosphorus-addition gave no growth increase in 2000 and only a minor increase in 2001, late in the growth season. Combined N and P addition caused the highest growth enhancement. This demonstrates the potential for increased algal growth by addition of bioavailable nitrogen, and it is suggested that increased input of NO_x from long range transboundary pollution has caused increased algal growth the last years. pH around 7 during the entire experiment in the selected river confirms that increasing algal growth is not a result of acidification as such.

Growth enhancement by N addition was most pronounced in periods with favourable climatic conditions, and least late in the growth season, after the terrestrial vegetation had terminated growing. It is expected that increased N addition will be most effective in the warm summer season. Algae adapted to nutrientpoor conditions, particularly low P content, and reacting positively to increased temperature will probably be the "winners". Many filamentous green algae seem able to grow under extremely low P concentrations and they react positively to increasing temperature, that may explain the pronounced proliferations of filamentous green algae in several watercourses the last 10-30 years.

This investigation demonstrates that a river/running water can have extremely low concentrations of P and still be N limited. Further, P seems to be utilised very effectively by certain filamentous algae and the transition from N to P limitation may in some cases be at lower P concentrations than previously anticipated. This calls for a revision of the generally accepted limits for what nutrient is primarily the limiting factor.

1. Bakgrunn

En landsomfattende spørreundersøkelse i 1992 viste at det har skjedd en omfattende økning av "grønskeveksten" i norske vassdrag de senere år (Lindstrøm 1993). En undersøkelse av Mjøsas tilløpselver (Kjelberg m. fl. 1999) og i områder der økende grønnske er rapportert (Lindstrøm m. fl. 2000), viser at utviklingen har vedvart og nå er mer påfallende enn tidligere.

Hva kommer den økte veksten av? Hypotesen; økt/påfallende mye begroing i fjellbekker sammenfaller med høye NO_3 konsentrasjoner (og det motsatte: fjellbekker med lave NO_3 konsentrasjoner har lite begroing), ble testet i 1999 (Lindstrøm m. fl. 2000). Resultatet var noe overraskende. På det tidspunkt prøvene ble tatt var innholdet av uorganisk løst nitrogen i de fleste elver med økt/mye grønnske så lavt at nitrogen etter alt å dømme var begrensende for planteveksten. Selv om resultatene ikke bekreftet vår hypotese, samsvarer de med nyere undersøkelser som tilsier at det i perioder er underskudd på nitrogen i vassdrag som vi tidligere har ansett for å være primært fosforbegrenset (Cessman m. fl. 1992, Peterson & Grimm 1992, Axler m.fl. 1994, Lindstrøm & Johansen 1995, Lindstrøm 1996, Francoeur & Biggs 1999). Dette tilsier videre at det er potensiale for økt vekst dersom nitrogentilførslene øker.

De senere års klimaforhold med periodisk store nedbørmengder og gjennomgående økt lufttemperatur vil etter alt å dømme innvirke på planteveksten på kort og lang sikt (økt avrenning av næringsalter, høyere maks., middel og min. temperatur, mindre isdekke, lengre vekst periode, etc.). Dette kan muligens forklare de store variasjoner i grønnskeveksten som observeres fra år til år, samt bidra til å forklare den generelle økningen.

Det er etter alt å dømme flere til dels sammenfallende årsaker til økt vekst av "grønnske" og annen vannvegetasjon i norske fjellområder. For å få mer kunnskap om dette har vi gjort eksperimentelle forsøk i en mindre fjellelv i Sør-Norge. Vi har forsøkt å teste følgende hypoteser:

- Økt tilførsel av uorganisk nitrogen vil gi økt algevekst i vann der forholdet mellom uorganisk nitrogen og totalt fosfor er mindre enn 1,5 i deler av vekstperioden. I følge Axler m. fl. (1994) tilsier dette primær nitrogenbegrensning.
- Endrede klimaforhold med store vekslinger og generell økning i avrenning og temperatur, bidrar sammen med andre faktorer til store år til år variasjoner i algeveksten og til en generell økning av denne.

2. Metoder og materiale

2.1 Valg av lokalitet

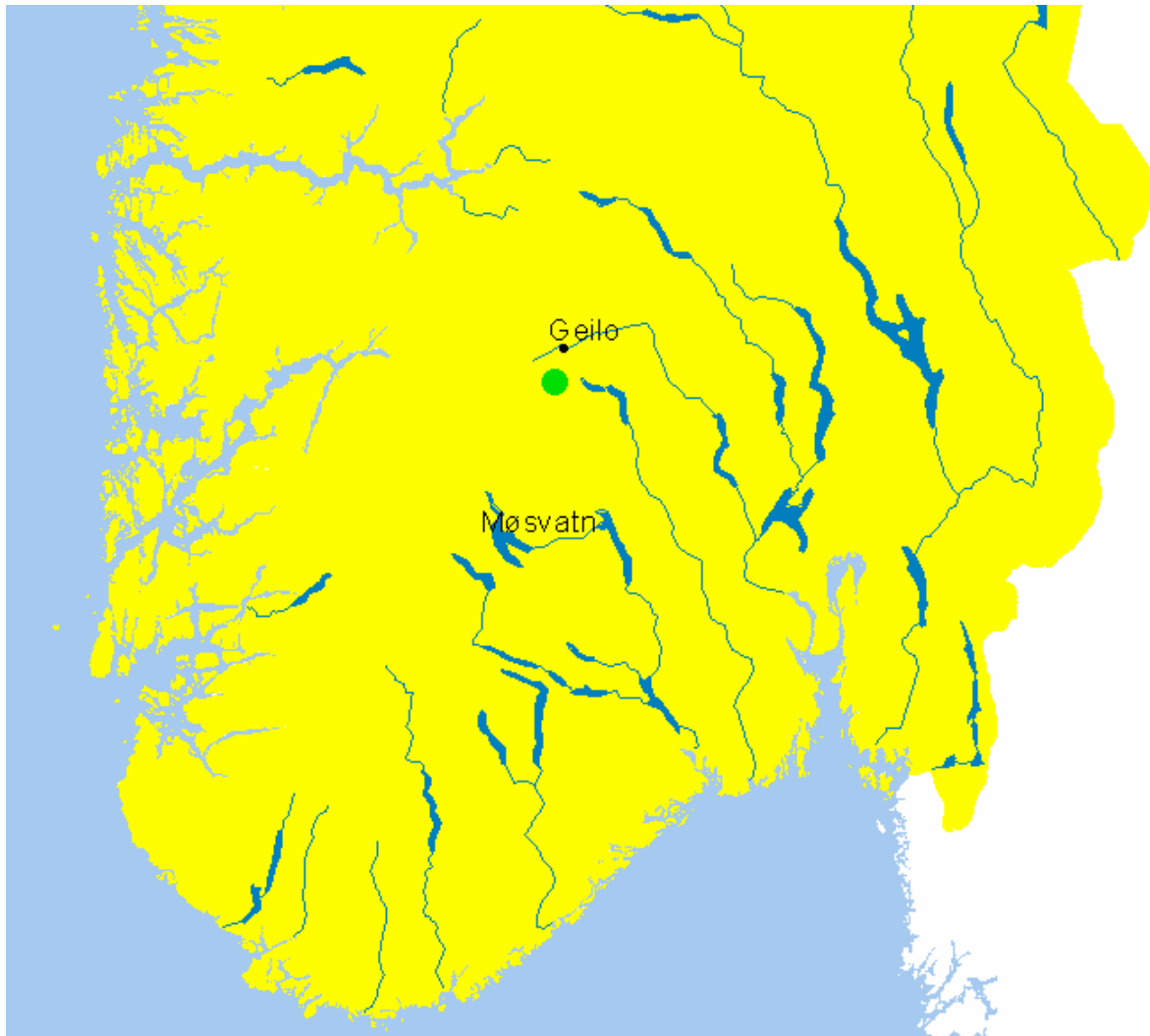
Erfaringer så langt tilsier at valg av forsøkslokalitet er viktig, derfor ble det gitt følgende kriterier for valg av forsøkslokalitet:

- det er særlig i en del fjellområder uten påviselige lokale forurensninger at det rapporteres om økende grønske, vi ønsket derfor å legge forsøket til et slikt område.
- det har vært hevdet at økt grønske skyldes redusert forekomst/beiting av bunndyr i surt vann. Vår undersøkelse i 1999 (Lindstrøm m fl. 2000) viste ingen sammenheng mellom pH og økt/mye grønske. Vi fant sogar at mange lokaliteter med økt/mye grønske hadde pH over 7. For å unngå å knytte problematikken opp mot forsuring, samt eventuelle effekter av beiting, valgte vi en godt bufret lokalitet med høy pH. Derved ble fokuseringen på forsuring mindre, mens den ble tydeligere på langtransporterte forurensninger.
- undersøkelsen i 1999 viste at lokaliteter med økt/mye grønske hadde lavt næringsinnhold, det gjaldt såvel fosfor som nitrogen. Vi søkte derfor en lokalitet med generelt lavt næringsinnhold. For å teste hypotesen om nitrogenbegrensning var det særlig viktig at innholdet av løst uorganisk nitrogen var lavt.
- undersøkelsen i 1999 viste at også innholdet av TOC (total organisk karbon) kan være av interesse. Vi fant ingen klar sammenheng mellom vannets innhold av TOC og mengde grønske, men alle lokaliteter med lite eller uten grønske (dekningsprosent i elveleiet under 10) hadde lavt innhold av TOC, under 0,7 mg/l. Alle lokaliteter med TOC over 3 mg/l hadde på den andre side mye grønske (dekningsprosent i elveleiet på 60 eller mer). For å unngå at liten tilgang på TOC eventuelt skulle virke begrensende på veksten, valgte vi en lokalitet med moderat høy TOC.
- av praktiske grunner måtte lokaliteten være lett tilgjengelig, men samtidig såpass avskjernet at vi unngikk hærverk.
- elven måtte være så stor at vi unngikk tørrlegging i tørkeperioder og ha fysisk så stabile forhold at forsøkskassen ikke risikerte å bli skyllet vekk av flom.
- det måtte være mulig å grave ned forsøkskassen slik at overflaten kom i tilnærmet samme nivå som dekkjiktet på elvebunnen.

Potensielle lokaliteter ble plukket ut. Kravet om lett tilgjengelighet gjorde at valget falt på Ufysja, utløpselven til Holværsvatn i Hol kommune, se **Tabell 1** og **Figur 1**. Denne lokaliteten, som ble undersøkt i forbindelse med kartlegging av grønske i 1999 (Lindstrøm m fl. 2000), går i et åpent noe myrlendt landskap. På forsøkslokaliteten er elven ca 6 m bred, rolig strømmende og dekkjiktet/-elvbunnen består av små stein (2-15 cm median diameter) og noe grus.

Tabell 1. Forsøkslokalitet med kartreferanser.

Lokalitet	Kommune	Kart	UTM		hoh m
			ØV	NS	
Ufysja	Hol	1515-1	4543	67025	1110

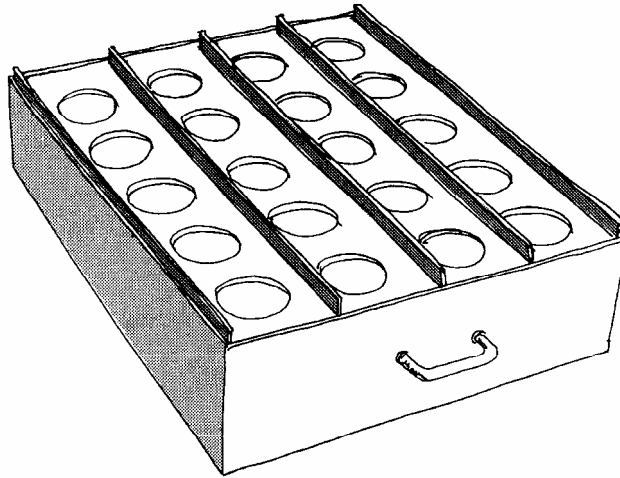


Figur 1. Kart over Sør-Norge med forsøkslokaliteten Ufysja, Hol kommune Buskerud.

2.2 Eksperimentelt oppsett - næringstilsetning

Til eksperimentene ble benyttet tunge stålkasser, **Figur 2**. I hver kasse er det plass til 20, 1/2 liters plastbokser. Under forsøket er disse helt fylt med agar tilsatt næringssalter. Boksåpningene er dekket med et overtrekk som tjener som vekstsubstrat, se nedenfor om valg av substrat. Boksene holdes på plass i stålkassen av et lokk som har 20 hull med nøyaktig samme diameter som boksåpningene. Når lokket festes vil boksåpninger med vekstsubstrat, være i samme nivå som kasselokket. Under forsøket vil næringssaltene diffundere fra agaren ut i vannet, gjennom boksåpningene. Lokket er inndelt i fire langsgående seksjoner, disse fungerer som vekstrenner, som hver gir mulighet for 5 parallelle prøver. Høsting skjer ved at den del av substratet som er eksponert gjennom åpningene i lokket skjæres ut med skalpell. Det eksperimentelle oppsettet er også beskrevet i Biggs & Lowe (1994).

Stålkassen ble plassert i et strykparti i elva. Den ble gravet så langt ned i dekk sjiktet at lokket bare stakk litt opp over elvebunnen. Dette ble gjort for å unngå at kassen fanger opp gjenstander som driver i elva, blir ustabil og rives med av strømmen ved høy vannføring, eller tørkes ut ved lav vannføring. Det er også viktig å unngå turbulens og ujevn vannføring over kasselokket, noe som lett kan oppstå hvis kassen stikker opp over elvebunnen.



Figur 2. Kasse brukt i eksperimentelt oppsett med næringstilsetning.

Næringstilsetning

For å studere effekter av næringstilsetning ble boksene i kassene fylt med agar tilsatt næringssalter. Da nitrogen ble ansett som viktigste studieobjekt i denne undersøkelsen, ble det valgt å teste NO₃- og NH₄-tilsetning i hver sin forsøksrenne. I den tredje rennen ble det tilsatt PO₄, mens den fjerde tjente som kontroll: agar uten næringstilsetning. Ved tillaging ble det autoklavert 2,5 l dest. vann og 60 g agar. Næringstilsetninger ble løst i 0,5 l dest. vann og tilsatt etter autoklaving.

På grunnlag av tidligere erfaringer (Fairchild og Lowe 1984, Lindstrøm 1996, m.m.) ble følgende konsentrasjoner valgt i 2000:

- 0,5 molar NO₃ - (127,5 g NaNO₃ (1.3412-5 puris) til 3 l dest. vann og 60 g agar)
- 0,1 molar NH₄ - (39,64 g (NH₄)₂SO₄ (nr. 12 17) til 3 l dest. vann og 60 g agar)
- 0,05 molar PO₄ - (21,29g NaHPO₄ (nr. 6586) til 3 l dest. vann og 60 g agar)
- kontroll - (3 l dest.vann og 60 g agar)

Tidligere forsøk har vist at næringssaltene diffunderer ut av agaren i opptil 2 måneder. For å unngå ulik eller markert synkende diffusjon av næringssalter ut av boksene i de 4 eksponeringsperiodene ble næringstilsetningene fornyet etter hver høsting. For å få helt like forhold ble også kontrollene fornyet.

I 2001 ble ytterligere en kasse satt ut gjennom hele forsøket, 4 tilsetninger/konsentrasjoner ble testet:

- 0,5 molar NO₃ i kombinasjon med 0,05 molar PO₄
- 0,1 molar NH₄ i kombinasjon med 0,05 molar PO₄
- 1 molar NO₃
- 1 molar NO₃ i kombinasjon med 0,05 molar PO₄

Begrunnelsen for å teste P i kombinasjon med N var bl.a. manglende respons på P tilsetning i 2000. Ville P i kombinasjon med ulike former og konsentrasjoner av N gi et annet resultat? Vi ønsket også å teste om økt NO₃ konsentrasjon, 1 molar, ville øke veksten ytterligere.

Før forsøkene i 2001 ble det gjort et enkelt utlekkingsforsøk i laboratoriet for å se om P virkelig lekker ut av agarboksene. En agarboks fylt med 0,05 molar PO₄ ble satt i en beholder med 1 liter destillert

vann, og beholderen ble dekket til. Tot-P innholdet i vannet ble målt ved start, etter 1 uke og etter 2 uker.

Resultatene viser helt klart at det lekker P ut av agarboksene, **Tabell 2**. Etter 2 uker var det 46 mg P i vannbeholderen. Manglende respons på P tilsetning kan derfor ikke skyldes manglende P lekkasje ut av agarboksene.

Tabell 2. Konsentrasjoner av P i 1 liter destillert vann før, etter 1 og etter 2 ukers tilsetning av P tilsatt agarboks.

Tidspunkt	Tot-P µg/l P
Start	<1
1 uke	13775
2 uker	46914

Valg av substrat

I tidligere forsøk ble papirfiltre benyttet som vekstsubstrat for begroingen. Disse hadde en tendens til å gå i oppløsning etter lang eksponering eller ved kraftig vekst (Lindstrøm og Johansen 1995). I første eksponeringsperiode i 2000 ble det derfor satt ut 2 kasser. I den ene ble det gjort forsøk med ulike typer vekstsubstrat. Til dette ble det laget 10 parallelle bokser med NO₃-tilsetning og 10 kontroller.

Det ble forsøkt 4 typer substrat:

- G = vanlig gassklut, den type som brukes i kjøkkenet (2 parallelle)
- GA= tynn vevet gardin, tidligere brukt i vekstforsøk i NIVAs laboratorier (3 parallelle)
- L = tynn linklut (2 parallelle)
- F = fiberduk, brukes i gartnerier (3 parallelle). Denne er merket som følger av leverandøren: "Acryl - evergreen fiberduk, P17: Polypropylenfilter - uten kjemisk tilsetning, lett gjennomtrengelig for lys, vann og luft".

Den andre kassen ble tilsatt næringssalter som angitt ovenfor (5 parallelle av hver). I første periode ble det, som i tidligere forsøk, brukt papirfilter (PF) som vekstsubstrat.

2.3 Prøvetaking

Forsøk i 2000

Forsøket ble startet opp den 13. juni, så snart veien opp til lokaliteten var kjørbare etter vinteren. Tidligere forsøk har vist at 1 måneds eksponering er lenge nok til å få målbare mengder klorofyll på forsøksfiltrene (Lindstrøm og Johansen 1995). Det ble derfor lagt opp til 1 måneds eksponering i 4 påfølgende perioder.

Begge kasser ble "høstet" etter periode 1 (13.06-11.07), 20 prøver fra hver. Ettersom det ble klart allerede etter første prøvetaking at fiberduken (F) var best egnet som vekstsubstrat (se pkt. 3.5), ble denne brukt i de restende tre vekstperioder.

Da kassene skulle høstes i periode 2 (11.07-16.08) var vannstanden så lav at kassen med tre typer næringstilsetning og kontroll var delvis tørrlagt. Denne ble derfor gravet lenger ned i dekkjiktet i elvebunnen og eksponert 1 måned til. Til periode 2 var det dessuten laget til en ekstra kasse dersom ytterligere forsøk med ulike typer substrat skulle være nødvendig. Denne hadde som i periode 1, 10 NO₃-parallelle og 10 kontroller. Alle boksene i denne kassen var dekket med det best egnede substrat, fiberduk (F). Denne kassen var ikke tørrlagt og ble høstet ved avslutning av periode 2.

I periode 3 (16.08-14.09) og 4 (14.09-11.10) ble det bare eksponert en kasse. Denne hadde de regulære næringstilsetninger og fiberduk som substrat.

Av 5 paralleller ble 4 frosset og senere analysert for innhold av klorofyll *a*, metode Norsk Standard NS 4767. Den 5. ble fiksert i formalin og analysert under mikroskop for innhold av alger.

Forsøk i 2001

I 2001 ble det bare anvendt fiberduk som substrat. Det ble satt ut 2 kasser, den ene var som hovedkassen i 2000, den andre hadde kombinasjoner av N og P som angitt ovenfor under "Næringstilsetning". Kassene ble eksponert i 4 perioder, på omtrent de samme tidspunkt som i 2000.

Andre målte variable

Vanntemperaturen ble målt med en temperaturlogger som lå i elva i hele forsøksperioden. Opplysninger om nedbør i området er hentet fra klimastasjon 2979 Dagali. Strømhastighet ble målt med en minipropeller, 1 cm over kasselokkets 4 hjørner. Strømhastighet ble målt ved utsetting og høsting av kassene i alle perioder. Vanddyp ble målt samtidig i alle fire kassehjørner. Det ble også tatt prøver til analyse av vannkjemiske forhold ved forsøkstart og ved samtlige innhøstinger.

Det ble tatt prøver av trådformede grønnalger "grønske" i selve elva; 1 til analyse i mikroskop for innhold av alger og 2 til analyse av klorofyll *a* konsentrasjon, innhold av næringssaltene N og P, samt innhold av organisk karbon (TOC). Klorofyllprøvene ble frysetørket før analyse.

3. Resultater og diskusjon

3.1 Vanntemperatur

Figur 3 viser døgnmiddel for vanntemperatur i 2000 og 2001. Det var store svingninger i vanntemperaturen fra dag til dag og i løpet av forsøksperioden. Det var også store svingninger i løpet av døgnet, opp til 10 °C (ikke vist i figur). Høyeste døgnmiddel i 2000, 14,8 °C, ble målt 22. juli og laveste, 1,3 °C, ble målt 11. oktober, dagen forsøket ble avsluttet. Tilsvarende tall for 2001 var 17,2 °C den 7. juli og 2,2 °C den 30. september.

Gjennomsnittstemperatur og antall døgngrader var klart forskjellig i de 4 eksponeringsperiodene, **Tabell 3**. I 2000 var både gjennomsnittstemperatur og døgngradsum høyest i periode 2. Denne perioden var noen dager lenger enn de øvrige, derfor ble døgngradsummen spesielt høy, fra 1,5 til 3,2 ganger høyere enn i de 3 andre periodene. Det var også forskjeller mellom årene. I 2001 hadde den første perioden høyest gjennomsnittstemperatur og døgngradsum. I en kort periode rundt månedsskiftet september/oktober 2001 var det frost og noe snø. Dette ga et markert dropp i vanntemperaturen, fra ca 7 til 2 °C. Senere økte temperaturen igjen til ca 5 °C.

3.2 Nedbør, vanddyp og strømhastighet

Døgnverdier for nedbør ved klimastasjon 2979 Dagali er gitt i **Figur 4**.

Bortsett fra siste innsamlingsdag, den 11. oktober, da nedbøren vesentlig kom som snø, ble det ikke registret episoder med nedbør vesentlig over 15 mm per døgn i 2000. Nedbøren var dessuten ganske jevnt fordelt i hele forsøksperioden. Dette ga jevn avrenning og tilsier at de fysiske forhold var ganske stabile. Det lave vanddypet i slutten av periode 2 medførte imidlertid at den ene kassen dels ble stående over vann. Den lave vannføringen ga dessuten utslag på strømhastigheten som avtok fra ca 55

til ca 35 cm/sek i løpet av periode 2, **Tabell 3**. Lav vannføring og lav strømhastighet holdt seg helt til periode 4, da strømhastigheten økte til 45 cm/sek.

Det var tilsvarende jevne forhold i 2001, **Figur 4**. Bortsett fra den 20. september da det kom 20 mm nedbør, var det ingen episoder med spesielt mye nedbør. Vannføringen, målt som vanddyb over kassene, økte etter dette og holdt seg ganske høy helt til kassene ble høstet for siste gang den 16. oktober.

I 2001 ble det eksponert 2 kasser gjennom hele forsøket. I periode 1 og 2 var strømhastigheten 15-20 cm lavere over kasse 1 enn 2, **Tabell 3**. I periode 3 og 4 var det omvendt, da hadde kasse 1 15-20 cm høyere strømhastighet enn kasse 2. På den måten ble strømhastighet helt utilsiktet introdusert som en variabel. Ettersom strømhastigheten er rapportert å virke stimulerende på veksthastigheten, i alle fall så lenge denne er under ca 70-90 cm/sek (Horner & Welch 1981, Horner m. fl.1991), må man regne med at resultatene i noen grad er influert av dette, se pkt. 3.5.

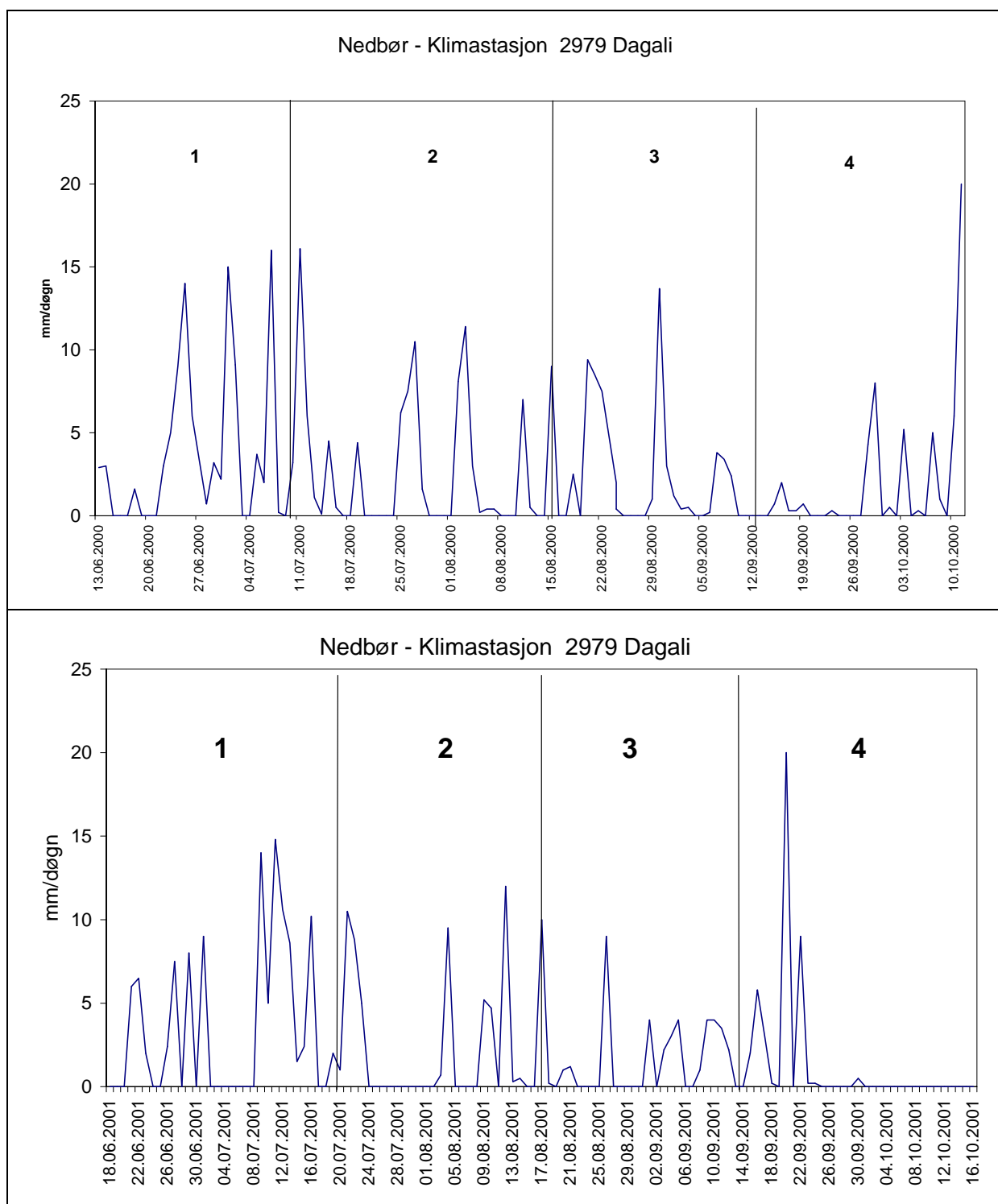
Tabell 3. Data for noen variable i forsøksperioden, målt i Ufysja og ved klimastasjon 2979 Dagali.

Eksponeeringsperiode	1	2	3	4
2000:	13.06-11.07	11.07-16.08	16.08-14.09	14.09-11.10
2001:	18.06-19.07	19.07-17.08	17.08-13.09	13.09-16.10
Vanntemperatur 2000:				
gjennomsnitt °C:	9,3	12,0	7,8	4,9
ant. døgngader:	289	430	226	132
Vanntemperatur 2001:				
gjennomsnitt °C:	12,1	11,3	9,2	5,2
ant. døgngader:	387,2	327,1	249,7	170,9
Nedbør 2000:				
mm totalt	111,4	92,4	145,8	54,6
maks. per døgn:	16,1	11,4	13,7	20
Nedbør 2001:				
mm totalt	110,5	68,6	39,3	40,9
maks. per døgn:	14,8	10,5	9	20
Hydrologi 2000:				
Kasse 1 - Vanddyb cm:	<i>ut - inn</i> 28 - 34	<i>ut - inn</i> 31 - 4	<i>ut - inn</i> 5 - 4	<i>ut - inn</i> 6 - 24
Kasse 1 - Strømhast. cm/sek:	55 - 57	55 - 34	35 - 32	34 - 45
Hydrologi 2001:				
Kasse 1 - Vanddyb cm:	<i>ut - inn</i> 20 - 11	<i>ut - inn</i> 11 - 8	<i>ut - inn</i> 8 - 6	<i>ut - inn</i> 7,5 - 20
Kasse 1 - Strømhast. cm/sek:	48 - 36	31 - 27	52 - 47	42 - 50
Hydrologi 2001 (Kasse 2):				
Kasse 2 - Vanddyb cm:	<i>ut - inn</i> 29 - 11	<i>ut - inn</i> 11 - 8	<i>ut - inn</i> 8 - 6	<i>ut - inn</i> 6 - 19
Kasse 2 - Strømhast. cm/sek:	60 - 48	51 - 48	30 - 23	27 - 39

Tegnforklaring: ut - inn: ved utsetting - innhøsting



Figur 3. Vanntemperatur i Ufysja; døgnmiddel fra kasser ble satt ut i elva til de ble tatt inn, 13.06 til 11.10 i 2000 og 18.06 til 16.10 i 2001. De fire eksponeringsperioder er avmerket.



Figur 4. Nedbør ved klimastasjon 2979 Dagali: døgnmiddel fra kasser ble satt ut i elva til de ble tatt inn, 13.06-11.10 i 2000 og 18.06-16.10 i 2001. De fire eksponeringsperioder er avmerket.

Fra 1. september 1999 til 31. august 2000 ble det målt våt- og tørravsetning av P og N ved NILUs nedbørstasjoner ved Møsvatn og Birkenes (Oredalen og Aas 2000). Tabellen nedenfor, som er hentet fra denne undersøkelsen, er tatt med for å vise hvor store regionale forskjeller det kan være i nitrogenavsetningen. Tabellen gir dessuten et mål på fosforavsetningen i det aktuelle område.

Avsetning av nitrogen og fosfor ved nedbørstasjonene Birkenes og Møsvatn fra 1. september 1999 til 31. august 2000. Etter Oredalen og Aas (2000).

	Avsetning av total N (mg N/m ² år)			Avsetning av total P (mg P/m ² år)		
	Våtavstn.	Tørravsetn.	Total N-avsetn.	Våtavsetn. (fosfatdel)	Tørravsetn.	Total P-avsetn.
Birkenes	1376	55	1431	12,6 (28%)	3,2	15,8
Møsvatn	318	36,5	345,5	14,9 (54%)	2,3	17,2

3.3 Vannkjemi

Målinger i 2000 og 2001 ga omtrent samme resultat, **Tabell 4**. Vannkvaliteten i Ufysja er som i mange fjellvann i nordre del av Østlandet (Skjelkvåle m. fl. 1996). pH var litt over nøytralpunktet så lenge forsøket varte. Konduktiviteten var lav, under 3 mS/m. Innholdet av næringssaltene fosfor (P) og nitrogen (N) var også lavt. Både PO₄-P og NH₄-N var under deteksjonsgrensen det meste av forsøket. En tot-P konsentrasjon på 3,6 µg/l i snitt er noe lavere enn middelkonsentrasjon målt for innsjøer på Østlandet, som i 1995 var 5 µg/l (Skjelkvåle et al. 1996). Også nitratkonsentrasjonen var lav, i snitt 9,2 µg/l i 2000 og 8,7 i 2001. Det er godt under middelkonsentrasjonen for innsjøene på Østlandet som var 16 µg/l (Skjelkvåle et al. 1996). Innholdet av organisk karbon (TOC) var ca 2 mg/l i begge år. Dette er noe lavere enn gjennomsnittet for innsjøer på Østlandet, 4,2 mg/l, men svakt høyere enn snittet for hele landet som var 1,9 mg/l (Skjelkvåle et al. 1996). De vannkjemiske målingene viste små variasjoner i vannkvaliteten i løpet av forsøket.

Innhold av basekationer, ulike tilstandsformer av aluminium, av SO₄ og Cl ble bare målt en gang. Resultatene bekrefter de andre målingene, Ufysja har generelt god vannkvalitet uten høye verdier for aluminium, sulfat eller klorid.

Tabell 4. Konsentrasjoner av kjemiske variable i vannprøver fra Ufysja i 2000 og 2001.

	pH	Kond mS m ⁻¹	Tot-P µg l ⁻¹	PO ₄ -P µg l ⁻¹	Tot-N µg l ⁻¹	NO ₃ -N µg l ⁻¹	NH ₄ -N µg l ⁻¹	TOC mg l ⁻¹	
Dato 2000:									
13.06	6,84	1,7	4	1	113	9	<5	1,9	
10.07	7,05	1,9	4	<1	131	5		2,9	
16.08	7,11	2,42	4	<1	160	11		2,6	
14.09	7,16	2,64	3	<1	113	7	<5	1,9	
11.10	6,98	2,41	3	<1	138	14	<5	2,6	
Snitt 2000	7,03	2,21	3,6	<1	131	9,2	<5	2,38	
Dato 2001:									
18.06	7,13	2,06	3	<1	150	11	<5	1,9	
19.07	7,22	2,47	3	<1	132	6	<5	2,1	
17.08	7,29	2,72	4	<1	129	12	<5	2,1	
13.09	7,15	2,66	2	<1	126	6	<5	2,3	
16.10	7,16	2,44	2	<1	108	8	<5	2,0	
Snitt 2001	7,16	2,44	2,9	<1	129	8,7	<5	2	
<hr/>									
	ALK mmol l ⁻¹	Cl mg l ⁻¹	SO ₄ mg l ⁻¹	Al/R µg l ⁻¹	Al/I µg l ⁻¹	Ca mg l ⁻¹	K mg l ⁻¹	Mg mg l ⁻¹	Na mg l ⁻¹
Dato									
13.06 2000	0,114	0,5	1,9	7	<5	2,44	0,15	0,2	0,39

Forholdet mellom N og P gir en indikasjon på hvilket næringssalt som er primært begrensende. I følge Berge m. fl. (1995) vil et totN:totP forhold i innsjøer på 12 markere skillet mellom N og P begrensning. Er forholdet mindre enn 12 indikerer det N begrensning, er det større indikerer det P begrensning. I Ufysja var midlere totN:totP forhold 41, det skulle tilsi klar P begrensning. Axler m. fl. (1994) anbefaler DIN:totP (løst uorganisk nitrogen:totP) som et bedre mål på hvilket næringssalt som er primært begrensende. De fant at et DIN:totP forhold i vannet på over 4 indikerer primær P begrensning, mens forhold under 1,5 indikerer primær N begrensning. I området mellom er dels N og dels P begrensende. Etter dette skulle Ufysja, som hadde et DIN:totP forhold på 2,5-3,0 være dels N og dels P begrenset. Chessman m. fl. (1992) brukte DIN:SRP (løst reaktivt fosfor) som mål og fant primær N begrensning så lenge dette forholdet var under 7. Var det over 17 fant de primær P begrensning eller ingen tydelig reaksjon. Området mellom (7-17) hadde dels N og dels P begrensning. Vi har ikke målt SRP, men SRP kan forsøksvis estimeres ved å bruke $PO_4\text{-P}$ og sette denne til $1 \mu\text{g/l}$. DIN:SRP blir i så fall 9, det skulle tilsi dels N og dels P begrensning.

3.4 Trådformede alger "grønske" i Ufysja

Tabell 5 viser artssammensetning og relativ forekomst i prøver av trådformede grønnalger, samlet i Ufysja i et strykparti nær kasseforsøket. Mengde angitt som relativ forekomst av total mengde som er satt til 10. Arter med liten forekomst er angitt med x. To alger dominerte, *Mougeotia e* og *Zygnema b*. Begge hører til gruppen av trådformede grønnalger som må være fertile for å identifiseres. Ettersom de sjelden blir det i norske vassdrag benyttes en arbeidsbetegnelse, oftest en bokstav, for å navngi dem. Begge er vanlige i upåvirkede elver med lavt næringsinnhold og god bufferkapasitet ($\text{pH} > 6,5$). Det var stort sett disse 2 algene som preget den trådformede algefloren gjennom hele forsøket og det var omtrent like mye av hver.

For algeprøver samlet i 2001 er det analysert på innhold per vektenhet av klorofyll, organisk karbon (TOC), nitrogen og fosfor, **Tabell 6**. Bortsett fra en prøve tatt 17. august var det ikke stor variasjon i dataene. Det skulle tilsi ganske jevne vekst- og næringsforhold gjennom hele forsøket i 2001.

Tabell 5. Trådformede grønnalger i strykparti i Ufysja 2000 og 2001. Mengde angitt som relativ forekomst (1-10). Total forekomst per prøve er 10.

Trådformede grønnalger	2000				2001			
	11.jul	15.aug	14.sep	11.okt	19.jul	17.aug	13.sep	16.okt
<i>Bulbochaete spp.</i>			1					
<i>Mougeotia a</i> (10-12 μ)	*			x	x			
<i>Mougeotia e</i> (30-38 μ)		3	2	3	2	7	4	5
<i>Oedogonium a</i> (6-10 μ)		1				x		
<i>Oedogonium b</i> (14-18 μ)		2		x		1		
<i>Oedogonium d</i> (25-29 μ)		1						
<i>Zygnema b</i> (22-24 μ)		3	7	7	8	2	6	5
<i>Xanthidium sp.</i>							x	

*: ingen prøve.

x: tilfeldige funn, liten forekomst

Forholdet mellom cellenes innhold av C, N og P er mye brukt som mål på hvilket næringsstoff som begrenser veksten. Med utgangspunkt i den generelle fotosynteselikningen vil det være et balansert forhold mellom C, N og P tilsvarende 41,1:7,1:1 regnet på vektbasis (Redfield 1958). Ulike former for næringsbegrensning og ubalanse kan endre forholdet. Ofte er innholdet av N og særlig P lavere enn teorien tilsier. Kahlert (1998) gjorde en litteraturstudie og fant som generell regel at C:N:P hos fastsittende algepopulasjoner i næringsbalanse var 61,2:8,2:1 (på vektbasis). Senere eksperimenter i innsjøer synes å bekrefte dette (Kahlert 2001). Videre anslo Kahlert at en lokalitet er N begrenset

dersom C:N forholdet i algene er mindre enn 9,5. Ved vekstforsøk i utendørs renner var C:N forholdet fra 7 til 12 i samfunn med diatomeer og grønnalger i blanding (Lindstrøm m. fl. 1994). Tilsetningsforsøk med N ga ingen vekstøkning. Det tilsier at algene ikke var N begrenset. I en eksperimentell studie i en sur humøs innsjø var C:N forholdet 11-20 i den nitrogenbegrensede delen, mens det var 6-11 i den delen som ble tilsatt N i form av sur nedbør (Lindstrøm 1996). Algesamfunnet bestod dels av kiselalger og dels av grønnalger, innslaget av trådformede grønnalger varierte.

Ut fra ovenstående skulle et cellulært C:N forhold over 12 (regnet på vektbasis), gi en god indikasjon på at algesamfunnet er N begrenset. Cellulært C:N forhold mellom 16 og 21 hos trådformede grønnalger i Ufysja, **Tabell 6**, skulle dermed være en klar indikasjon på markert N begrensning.

På den annen side; studier av trådformede grønnalger i en del næringsfattige sure vassdrag på Sør- og Sørvestlandet tyder på at det er artsspesifikke forskjeller i cellulært C:N forhold (Lindstrøm og Johansen 2001). I vassdrag med masseforekomst av grønnalger ble det observert C:N forhold opp mot 26, og det så ut til at de algene som hadde det høyeste C:N forholdet akkumulerte de største biomassene. Det ble ikke gjort forsøk med næringsbegrensning i denne undersøkelsen, men beliggenheten av vassdragene, på Sør- og Sørvestlandet, skulle tilsi at de *ikke* har utpreget N begrensning.

Ved tilsvarende eksperimenter som vi rapporterer her, fant Francoeur m. fl. (1999) at cellulært C:N forhold hos epilitiske alger som vokste under N begrensning var svært varierende, fra 2 til 20. Dette skulle tilsi at noen algesamfunn kan ha svært lave C:N forhold og allikevel være N begrenset. Det er ikke oppgitt hva slags alger dette var. Det gjør dataene mindre utsagnkraftige i og med at det ser ut til å være artsspesifikke forskjeller i C:N forholdet.

Liknende resonnement kan gjøres for P. Det er imidlertid mer komplisert fordi algenes P innhold ser ut til å være mer variabelt enn N innholdet. I følge Kahlert (1998) er et fastsittende algesamfunn P begrenset ved C:P forhold høyere enn ca 143, eller N:P forhold høyere enn 14,5. Studier i Norge tyder på at det er store artsspesifikke forskjeller i fastsittende algers cellulære P innhold (Lindstrøm m. fl. 1994, Lindstrøm 1996, Lindstrøm & Johansen 2001). Især trådformede grønnalger ser ut til ha en nøysom P husholdning og enkelte av disse kan være i tilsynelatende god vekst ved cellulære C:P forhold over 1000 (Lindstrøm og Johansen 2001). Det betyr at de trådformede grønnalgene er mindre avhengige av P enn tidligere antatt, og videre at P begrensning for disse algene antakelig opptrer ved lavere P konsentrasjoner i vannet enn for en del andre algesamfunn.

Cellulære C:N og C:P forhold på henholdsvis 16-21 og 300-500 skulle etter dette bety at det både er N og P begrensning i Ufysja, men forholdstallene viser neppe hvilket stoff som er *primært* begrensende.

Tabell 6. Innhold av klorofyll *a*, TOC og næringssalter i trådformede grønnalger i Ufysja. Forholdstall C:N:P basert på vekt.

Dato	Viktigste alge	Chl <i>a</i> µg/mg	TOC µg/mg TS	Tot-N µg/mg TS	Tot-P µg/g P	C:N	N:P	C:P
19.07.2001	A - Zygn b	2,8	330	20,7	709	16	29,2	465
-- " --	B - Zygn b	2,7	322	18,7	728	17	25,7	442
17.08.2001	A - Moug e	3,5	365	23,2	726	16	32,0	503
-- " --	B - Moug e	1,8	199	12,5	668	16	18,7	298
13.09.2001	A - Zygn b	2,2	353	22,2	643	16	34,5	549
-- " --	B - Zygn b	2,7	363	22,2	639	16	34,7	568
16.10.2001	A Moug e/Zygn b	2,9	298	16,4	593	18	27,7	503
-- " --	B Moug e/Zygn b	3,3	315	15,1	602	21	25,1	523

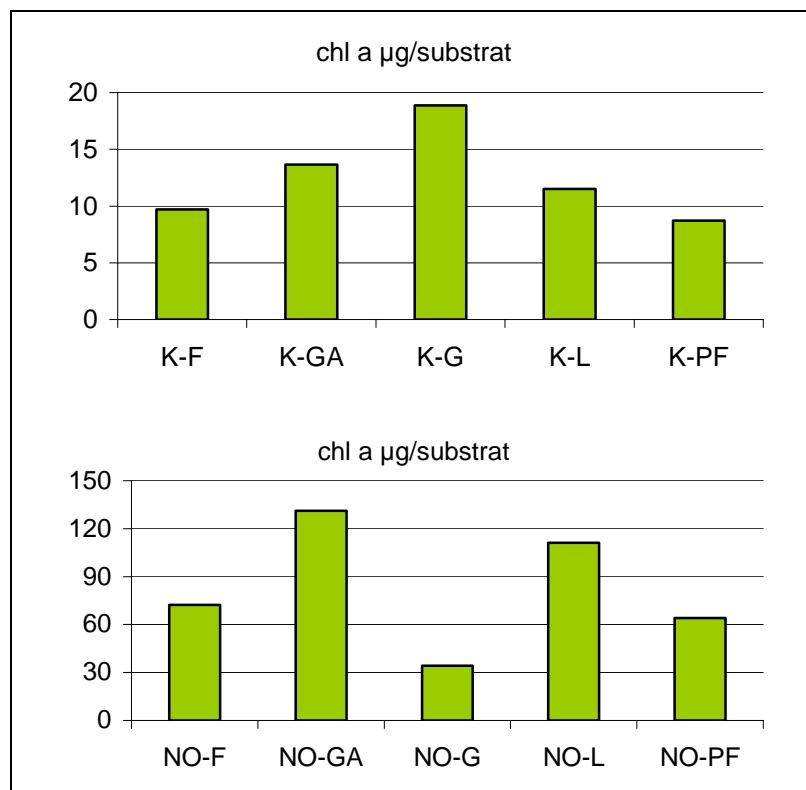
3.5 Vekstforsøk

Primærdata for vekstforsøkene er vist i vedlegg A.

Test av ulike typer substrat

Figur 5 viser resultatene av forsøk med ulike typer substrat i 2000. De ulike typene reagerte forskjellig på nitrat-tilsetning. Det var også klare forskjeller mellom ulike typer i kontrollprøvene. Dette kan langt på vei forklares ved ulikheter i substratenes struktur og tykkelse. Gasskluten (G) viste størst avvik. Den er grovfibret og har stor overflate tilgjengelig for kolonisering av alger, og ga derfor høye klorofyllverdier for kontrollen, **Figur 5** (øverst). Den er imidlertid så tykk at næringstilsetningen etter alt å dømme ikke slipper like lett ut i vannet som for de andre substrattypene. Den ga derfor relativt sett lave klorofyllverdier i de nitrattilsette prøvene **Figur 5** (nederst). Linkluten (L) og gardinen (GA) ga svært like resultater, med høye klorofyllverdier både for nitrattilsette prøver og kontroller. Dette skulle tilsi at de både gir god mulighet til kolonisering og at de lett slipper gjennom næringssalter. Enkeltdata (ikke vist i figur) viser imidlertid at parallelle prøver var jevnest for fiberduk (F) og papirfilter (PF). Det var også best samsvar mellom tidligere anvendt substrat, papirfilter (PF) og fiberduk (F). Derfor valgte vi fiberduk videre i forsøket, selv om denne ga noe lavere klorofyllverdier enn linkluten (L) og gardinen (GA).

For alle typer substrat (også G-gasskluten) ble det akkumulert fra 2 til nærmere 10 ganger så mye på NO₃ tilsette substrat som på kontroller, **Figur 5**.



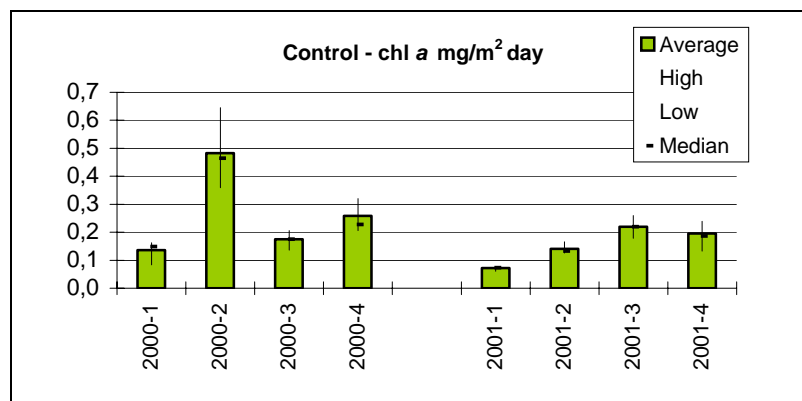
Figur 5. Klorofyll *a* per prøve etter eksponering i periode 1 (13.06-11.07 2000). Antall paralleller per substrat-type angitt i vedlegg A. NB! Ulik skala i øvre og nedre figur.

Tegnforklaring: K-F=kontroll-fiberduk, K-G=kontroll-gassklut, K-GA=kontroll-gardin, K-L=kontroll-linklut, K-PF=kontroll-papirfilter. Tilsvarende for nitrat-tilsetning: NO-F osv.

Vekst på kontroller

Ut fra temperaturdata, **Tabell 3**, og lysforhold (daglengde) kunne en forvente størst vekst på kontrollene tidlig i vekstforsøket: periode 1 (juni-juli) og 2 (juli-august). Dette ser imidlertid ikke ut til å være tilfellet, se **Figur 6**, som viser klorofyll på kontroller. Bortsett fra periode 2 i 2000, som hadde svært høye klorofyllverdier, akkumulerte det, både i 2000 og 2001, mindre klorofyll per dag i periode 1 og 2 enn i 3 og 4. Dette var noe overraskende. Det er sannsynligvis flere årsaker til dette. Viktigst er trolig sterk næringssaltbegrensning tidlig på året med manglende vekst som følge eller omvendt: økt avrenning av N fra terrestrisk vegetasjon om høsten med påfølgende økt tilgjengelighet i akvatisk miljø. En annen årsak kan være algenes spesifikke klorofylltetthet som gjerne øker utover høsten som en kompensasjon for avtagende lys (Hill 1996, Lindstrøm 1996 m.m.). Økt spesifikk klorofylltetthet kan i så fall i noen grad forklare de høyere klorofyllverdiene i periode 3 og 4.

De høye klorofyllverdiene på kontrollene i periode 2 i 2000 kan tyde på at vekstforholdene var spesielle, **Figur 6**. I tillegg til høy vanntemperatur var eksponeringstiden lang, 36 dager mot 27 til 29 i de tre andre periodene i 2000. Det tar litt tid å etablere en biofilm på et nytt substrat og veksten er dessuten vanligvis eksponnensiell etter at den er kommet i gang. Derfor vil forskjeller i eksponeringstid ha betydning selv om veksten regnes ut per tidsenhet. Lav vannstand over kassen i slutten av denne perioden kan også ha hatt betydning.

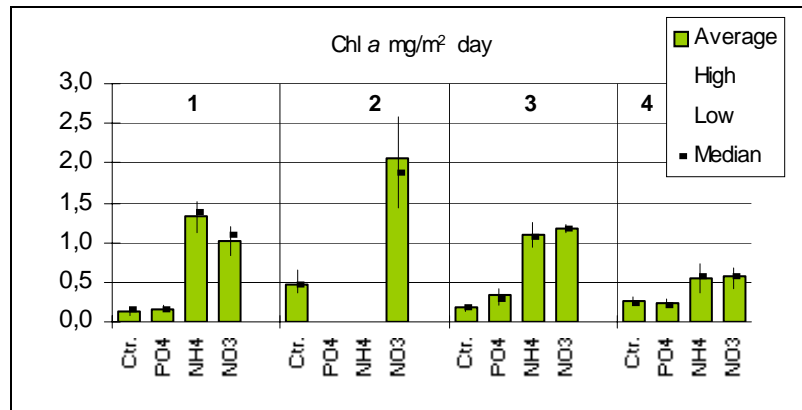


Figur 6. Klorofyll a mg/m² og dag på kontroller. Ufysja 2000 og 2001.

Forsøk med næringstilsetning

I 2000 ga NO₃- og NH₄-tilsetning klar vekstøkning (målt som klorofyll a mg/m² og dag) i forhold til kontrollen i alle eksponeringsperioder, **Figur 7**. De tilsetninger av N som ble benyttet, 0,5 molar NO₃ og 0,1 molar NH₄, hadde omtrent samme effekt. P tilsetning i form av 0,05 molar PO₄, ga ingen vekstøkning. Markert vekstøkning ved N tilsetning og manglende respons på P tilsetning viser entydig at algeveksten i forsøkselven Ufysja var primært N begrenset i hele vekstperioden 2000.

N tilsatte prøver hadde størst vekst i den varmeste perioden (2) i 2000. Fra denne perioden foreligger bare data fra NO₃-tilsetning og kontroller. De NO₃-tilsatte prøvene hadde klart høyere klorofyllverdier enn noen av de andre prøvene i forsøket. Også kontroller fra denne perioden hadde høye verdier, se "*Vekst på kontroller*" ovenfor, om lengden på eksponeringsperioden og øvrige vekstforhold.



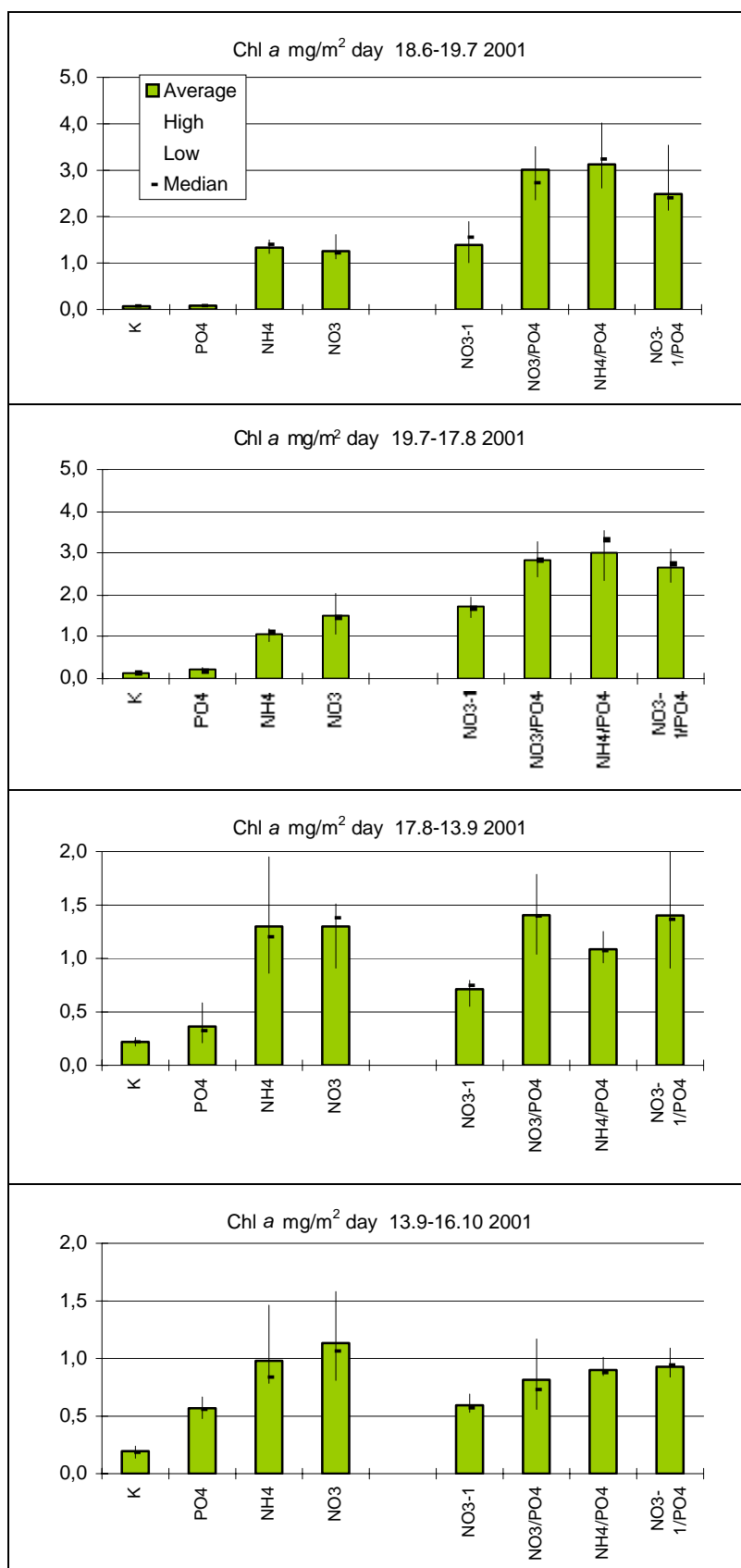
Figur 7. Klorofyll *a* mg/m² dag i 4 perioder. For periode 1 er PO₄- og NH₄-data fra papirfilter (PF), alle øvrige er fra fiberduk (F). Periode 2 har bare data for NO₃-tilsetning og kontroller. Ufysja 2000

I 2001 var det samme reaksjon på næringstilsetning som i 2000. Det var klar vekstøkning ved begge typer N tilsetning i hele forsøket (**Figur 8**) og begge hadde samme effekt til tross for ulike konsentrasjoner. P tilsetning ga liten/ingen økning i periode 1-3, mens periode 4 avvek i forhold til 2000 og ga en tredobling av veksten.

I 2001 introduserte vi en serie med høyere NO₃-tilsetning; 1 molar (NO₃-1). Denne så ikke ut til å gi økt vekst, **Figur 8**. I periode 3 og 4 så det som om at den høyeste konsentrasjonen ga minst vekst. Dette kan trolig forklares ved endringer i strømhastighet. Serien med NO₃-1 (1 molar) befant seg i en annen kasse enn NO₃ (0,5 molar) og NH₄ (0,1 molar). Etter at kassen med NO₃-1 ble flyttet ved start av periode 3 avtok strømhastigheten fra ca 55 til 35 cm/sek, mens det motsatte skjedde med den andre kassen, strømhastigheten økte fra ca 30 til 50 cm/sek. Forutsatt at veksthastigheten øker med økende strømhastighet, se pkt. 3.2, er det rimelig at NO₃-1 serien ga mindre vekst enn seriene NO₃ og NH₄ fra og med periode 3.

I 2001 introduserte vi også kombinert N og P tilsetning. To serier hadde de samme konsentrasjoner som i hovedkassen; 0,05 molar PO₄ kombinert med henholdsvis 0,5 molar NO₃ og 0,1 molar NH₄. En tredje hadde 1 molar NO₃ i kombinasjon med P. I forhold til tilsetning av bare ett næringssalt (N eller P) ga alle kombinasjoner økt vekst, **Figur 8**. Ettersom alle serier med kombinert N og P tilsetning var i kassen med redusert strømhastighet i periode 3 og 4, ble antakelig veksthastigheten redusert i forhold til den andre kassen med NO₃ og NH₄ tilsetning. Dersom en godtar resonnetet ovenfor at NO₃-1 serien, som befant seg i samme kasse som de kombinerte tilsetninger, ga samme effekt på veksthastighet som lavere nitrogentilsetninger (NO₃ og NH₄), kan de kombinerte N og P tilsetninger sammenliknes med NO₃-1. Ut fra et slikt resonnement ga kombinerte tilsetninger økt vekst i periode 3 og noe mindre i periode 4.

Samlet tilsier dette at Ufysja i 2000 og 2001 var *primært* N begrenset og *sekundært* P begrenset.



Figur 8. Klorofyll *a* mg/m² og dag på kontroll og næringstilsatt fiberduk. Ufysja 2001. **NB!:** Ulik skala i de to øvre og to nedre figurer.

Grad av næringsbegrensning gjennom vekstperioden

Veksthastighet (Δv) i næringstilsatte substrat i forhold til kontrollen er regnet ut for logtransformerte data etter likningen:

$$\Delta v = v_n - v_o = \frac{\ln X_n(t_1) - \ln X_o(t_1)}{t_1 - t_0}$$

v_n og v_o = veksthastighet for næringstilsetning (n) og kontroll (o)

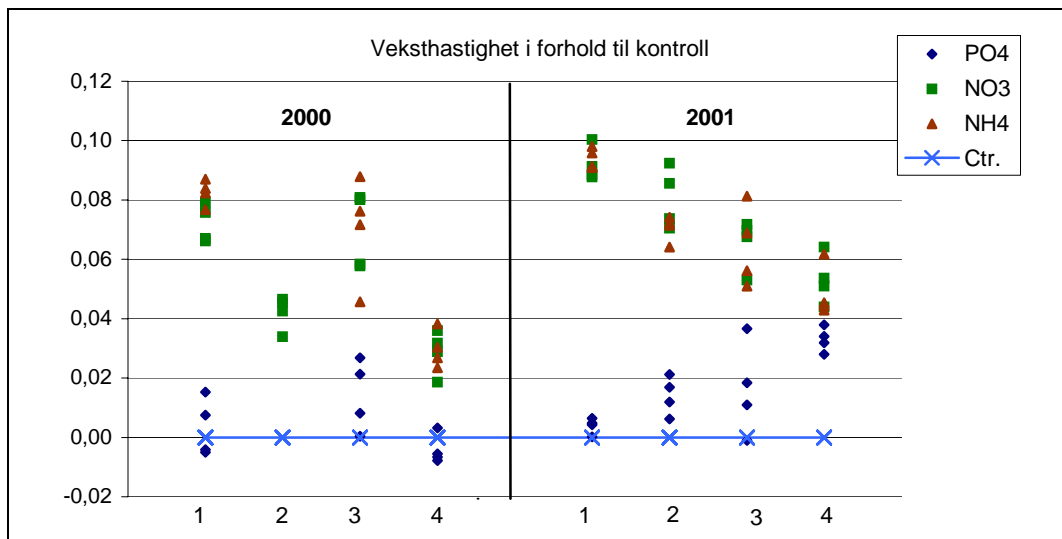
X_n og X_o = biomasse av næringstilsetning og kontroll ved t_1

t_1 = slutt forsøk

t_0 = start forsøk

I forhold til kontrollen avtok veksthastigheten i NO₃ og NH₄ tilsatte serier i løpet av vekstperioden (juni-oktober). Se **Figur 9** som viser data fra kasse 1: Ctr. (kontroll), NO₃, NH₄ og PO₄ i 2000 og 2001 (data for NH₄ og PO₄ i periode 2 i 2000 mangler). Avtakende veksthastighet i forhold til kontrollen indikerer avtakende N begrensning i løpet av vekstperioden. Dette var ikke særlig tydelig i 2000. Dette skyldes dels at uvanlig høye klorofyllverdier i kontrollen i periode 2 i 2000 bidrar til at vekstøkningen i N tilsatte prøver fremstår som tilsvarende liten i denne perioden.

I 2000 hadde den P tilsatte serien samme vekst som kontrollen. I 2001 derimot så P tilsetning ut til å gi økt vekst i forhold til kontrollen utover i sesongen, med andre ord økende P begrensning mot slutten av vekstperioden (parallellt med avtakende N begrensning).



Figur 9. Veksthastighet på næringstilsatte substrat i forhold til kontrollen. Eksponert 4 perioder à 1 måned i Ufysja 2000 og 2001.

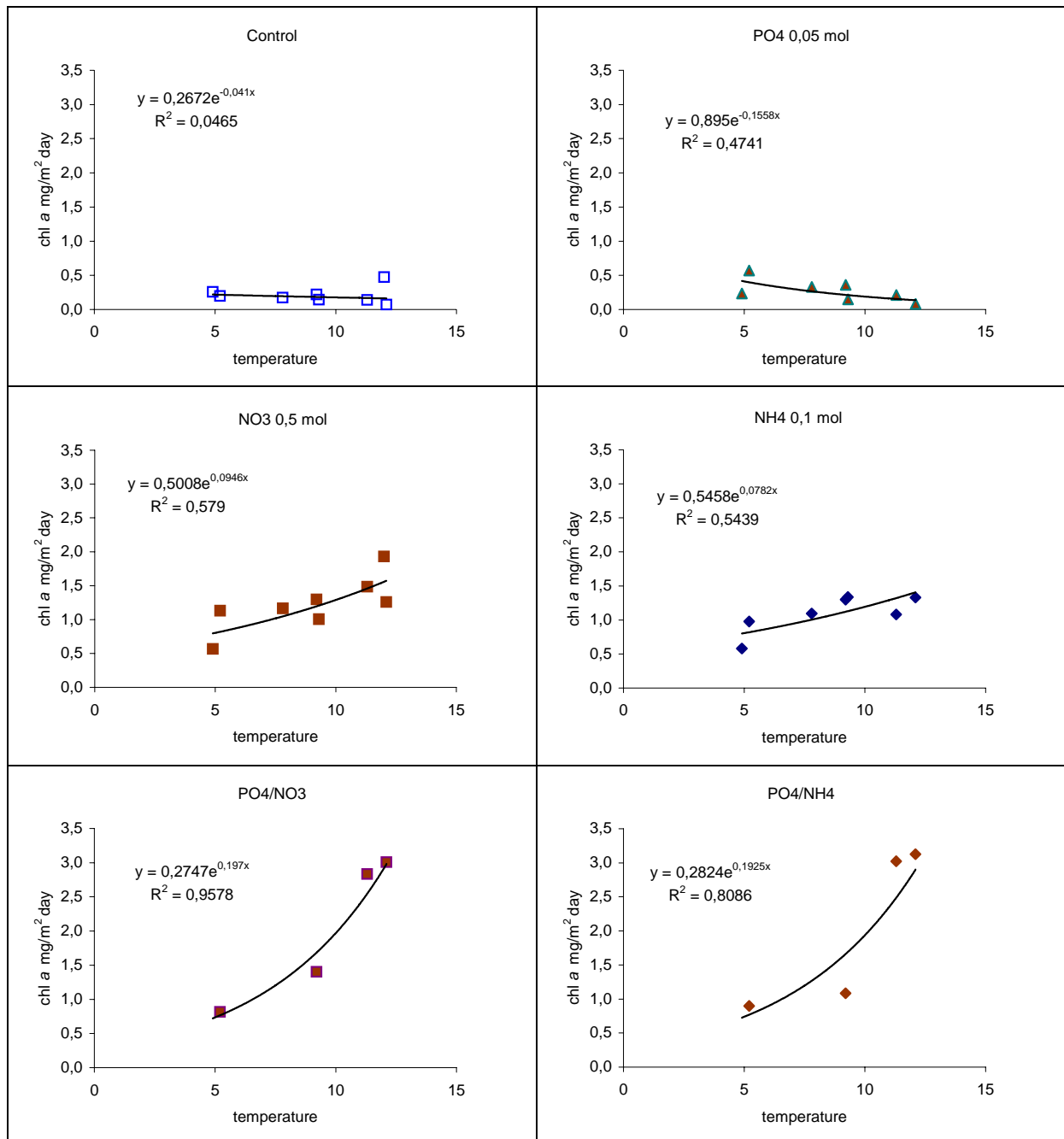
Betydningen av vanntemperatur

Det var ingen sammenheng mellom veksthastighet i kontrollserien og gjennomsnittlig vanntemperatur i eksponeringsperioden, **Figur 10** (venstre øverst). P tilsatte serier viste sogar en svakt synkende tendens ved økt temperatur **Figur 10** (høyre øverst). Sterk næringsbegrensning hindrer trolig kontrollen og P tilsatte substrat fra å reagere på økende temperatur med økt vekst. For alle typer N tilsetning var det klar positiv sammenheng mellom veksthastighet og vanntemperatur, **Figur 10**. Forsøk med den høyeste NO₃-konsentrasjonen (1 molar) er ikke vist i figuren, men dataene viser samme reaksjon som for de andre N tilsetningene.

Veksthastigheten øker vanligvis eksponensielt med økende vanntemperatur, derfor er det lagt inn en eksponensiell "trendline" i **Figur 10**. Sammenhengen mellom vanntemperatur og veksthastighet var mest utpreget for serier med kombinert N og P tilsetning, her var R² lik 0,96 og 0,81 for henholdsvis PO₄/NO₃ og PO₄/NH₄. Igjen tas forbehold om strømhastighetens innvirkning på resultatene. Hovedresultatet, fravær av positiv respons på økende temperatur i kontroller og P tilsatte serier og klar positiv respons i N tilsatte serier, er imidlertid helt klart.

Isolert sett tilsier dette at reaksjonen på nitrogentilsetning bli mer synlig/utpreget når vekstforholdene er gode (i dette tilfellet klima). At næringstilsetning under generelt gode vekstbetingelser gir større reaksjon enn ved dårlige er i og for seg ikke epokegjørende. Sett i lys av de senere års endringer i klima, kan en slik enkel observasjon få en ny dimensjon. Kombinert næringsøkning og endret klima kan få klart større konsekvenser enn de ville fått hver for seg.

Ettersom mange trådformede grønnalger har utpreget temperaturavhengig vekst vil de først og fremst få økt vekst i den varme årstiden (Lindstrøm & Johansen 1997). Når mange dessuten ser ut til å ha svært lave krav til næringsinnholdet i vannet (Lindstrøm & Johansen 2001), vil de sannsynligvis være blant de første som reagerer på økt næringsinnhold med økt vekst. Det kan muligens forklare hvorfor det nettopp er grønnalger "grønske" som har fått økt vekst de senere år.



Figur 10. Sammenheng mellom veksthastighet og gjennomsnittlig temperatur i vekstperioden. Vekstforsøk i Ufysja 2000 og 2001.

3.6 Alger på vekstsubstratene

Et utvalg av de kvalitative prøver fra forsøk i 2001 ble valgt ut for analyse av artsinnhold og relativ forekomst av alger. Resultatene er vist i vedlegg B. Bare et fåtall arter hadde mengdemessig betydning, et utdrag av vedlegg B med de 8 vanligste artene er vist i **Tabell 7**. Av disse var 6 kiselalger. Når et nytt substrat eksponeres må det etableres en biofilm på dette og det er ofte kiselalger som etablerer seg først. Trådformede grønnalger trenger gjerne noe lenger tid på å etablere seg.

Alle identifiserte kiselalger i **Tabell 7** er vanlige i norske elver med moderat innhold av næringssalter og pH rundt nøytralpunktet. Ett unntak er arter innen slekten *Nitzschia*. De fleste av disse regnes som gode indikatorer på forurensing, da særlig næringssalter (Krammer & Lange-Bertalot 1988). Slekten *Nitzschia* hadde størst forekomst i de N tilsatte rennene. Forskjellen var mest utpreget de 2 første eksponeringsperiodene, mens veksthastigheten i de N tilsatte rennene var størst, **Tabell 7**.

Det var også andre forskjeller mellom rennene. Relativ forekomst i 4 perioder av slekten *Achnanthes* var størst i kontrollserien. Her hadde den gjennomsnittlig mengde 4,5, mens tilsvarende tall for næringstilsatte renner var fra 2 til 2,75. Flere av de observerte *Achnanthes* artene er typiske for næringsfattige vassdrag, gjerne beliggende i fjellområder (Krammer & Lange-Bertalot 1991).

Tabell 7. Relativ mengde av alger på vekstsubstratene i eksponeringsperiode 1 til 4 i 2001. Utdrag av vedlegg B.

2001 Eksponeringsperiode	Kontroll					PO4					NO3					NH4				
	1	2	3	4	snitt	1	2	3	4	snitt	1	2	3	4	snitt	1	2	3	4	snitt
Organismer																				
<i>Achnanthes minutissima</i>	6	6	3	3	4,5	4	3	2	2	2,25	3	2	2	3	2,5	1	2	3	2	2
o.a <i>Achnanthes</i> arter																				
<i>Fragilaria rumpens</i>	2	3	2	2	2,25	3	2	2	3	2,5	2	2	3	3	2,5	x	1	3	5	2,25
<i>Ceratoneis arcus</i>	1	x	2	1	1	x	x	2	1	0,75	x	2	3	1	1,5	x	1	3	1	1,25
<i>Nitzschia spp</i>	1	x			0,25	1	1		1	0,75	3	2		x	1,25	6	2		x	2
<i>Tabellaria flocculosa</i>	x	x	1	1	0,5	1	2	x	x	0,75	x	x	x	1	0,25	x		x	1	0,25
<i>Cymbella affinis</i>		1	1	1	0,75	1	2	1	1	1,25	x	1	x		0,25	x		x		
Uidentifiserte trådformede cyanobakterier				1	0,25	x	x		x		x	x		x		2	1		x	0,75
Uidentifiserte coccale grønnalger	x	x		x		x	x	1	x	0,25	2	x	1	x	0,75	x	2	x	x	0,5

4. Når er norske vassdrag P eventuelt N begrenset ?

Norske vassdrag ser ikke ut til å være så ensidig P begrenset som tidligere antatt (Berge m. fl. 1995, Skjelkvåle m. fl. 1996). Det er gjort flere observasjoner som tilsier primær N begrensnig. (Lindstrøm & Johansen 1995, Lindstrøm 1996).

Undersøkelser i andre land (USA, Canada, Australia, New Zealand) rapporterer også om N begrensnig i rennende vann (Lohman m. fl. 1991, Cessman m. fl. 1992, Peterson & Grimm 1992, Francoeur & Biggs 1999 m.m). Vekstforsøk i ulike typer elver tyder på at overgangen fra P til N begrensnig avhenger av flere forhold og vil variere fra situasjon til situasjon.

Det er ikke alltid klart hvilket næringsstoff som er begrensende. Ut fra en vurderingsmåte (Berge m. fl. 1995) tilsier vannkjemiske forhold at det er primær P begrensnig i forsøkselven vår, mens andre vurderingsmåter (Cessman m. fl. 1992, Axler m. fl. 1994,) tilsier dels N og dels P begrensnig. Trådalgesamfunnet i elven tilsier både N og P begrensnig, mens vekstforsøkene tyder på primær N begrensnig.

Mange alger, særlig fastsittende trådformede grønnalger, ser ut til å ha en usedvanlig nøysom P husholdning (Lindstrøm & Johansen 2001) og ser ut til å klare seg ved ekstremt lave konsentrasjoner av P. Derved åpnes det for at overgangen fra P til N begrensnig i vannet kan settes ved langt lavere P konsentrasjoner, og høyere N:P forhold, enn tidligere antatt. Det kan bety at N er noe undervurdert og P overvurdert i forhold til hva som er begrensende for planteveksten i rennende vann.

Videre betyr dette at den økte N deposisjonen de senere år kan gi opphav til økt algevekst i en rekke vassdrag man tidligere anså for å være primært P begrenset. Hvor stort omfang den økte veksten kan få vet vi foreløpig ikke. Til det er kunnskapen om andre faktorer som også styrer veksten for liten. Vi vet blant annet ikke hva vannets innhold av TOC betyr. I nøytrale til svakt sure vassdrag med lavt innhold av organisk karbon kan det muligens vise seg at karbon blir det primært begrensende næringssalt.

Problemer med å fastsette grensen mellom N og P begrensning kan skyldes at man opererer med ulike samfunn og ulike situasjoner. Hvis man som i vårt tilfelle, har samfunn som i utpreget grad har tilegnet seg en nøysom P husholdning, er det klar sjanse for at disse er N begrenset selv om P innholdet i vannet er meget lavt.

En annen vanskelighet er av analyseteknisk art. Ved så lave P konsentrasjoner som det her er snakk om, er det meget vanskelig å måle hva som er biologisk tilgjengelig. Uansett, det ser ut til å være behov for en revurdering når det gjelder å fastsette når det er N og når det er P begrensning i elver med lavt næringsinnhold.

5. Konklusjoner og videre arbeid

5.1 Konklusjoner

Hovedkonklusjoner - betydningen av langtransporterte forurensninger

- i Ufysja, en næringsfattig nøytral fjellelv i Midt Norge, ga tilførsel av N (NO_3 og NH_4) økt vekst det meste av vekstperioden (juni til oktober)
- tilsetning av P ga ikke økt vekst (med ett unntak sent i 2001)
- det tilsier *primær* N begrensning det meste av vekstperioden
- forsøk to påfølgende år ga samme resultat og tilsier at dette er en årvisst tilstand
- tilføres lokaliteten mer biotilgjengelig N i form av NO_x /langtransporterte forurensninger, gir det potensiale for økt vekst
- hvis det er tilsvarende næringsbegrensninger i andre deler av Norge, kan det langt på vei forklare den økte grønskeveksten de senere år

Kobling til klima og avrenning

- næringsbegrensningen i Ufysja er så markert i sommerhalvåret at den hindrer normal årstidsvariasjon: økt vekst i den varme årstiden
- derfor forventes redusert næringsbegrensning/økt N tilførsel å ha særlig stor effekt i varme perioder
- virkningen av N tilsetning avtar mot slutten av vekstperioden (mindre forskjell mellom kontrollen og de N-tilsatte prøvene). Det kan skyldes flere forhold, redusert lys og temperatur er trolig viktig, men økt avrenning av N mot slutten av vekstperioden er også mulig
- alger tilpasset svært næringsfattige forhold, især lave P konsentrasjoner, som dessuten reagerer positivt på økende temperatur, vil trolig bli vinnere ved økt N tilførsel
- mange trådformede grønnalger "grønske" ser ut til å ha nettopp disse egenskaper, de er tilpasset svært næringsfattige forhold og får økt veksthastighet ved økende vanntemperatur, det er derfor ikke overraskende at denne gruppen har fått økt vekst de senere år
- marginale forhold mht. næringssaltinnhold og andre miljøfaktorer er særlig vanlig i fjellet, som derved vil ha et samfunn som er spesielt sårbart for endringer

Skillet mellom N og P begrensning

- undersøkelsen viser at et vassdrag kan ha svært lavt P-innhold og likevel være N-begrenset
- videre kan det se ut til at P utnyttes meget effektivt i våre vannforekomster fordi vi har algesamfunn som i utprøvet grad har tilpasset seg en nøysom P-husholdning
- overgangen fra N til P begrensning ser ut til å avhenge av flere forhold og kan variere fra situasjon til situasjon

Metodiske forhold

- den valgte lokalitet, elven Ufysja i Hol kommune i Buskerud, viste seg som meget velegnet til forsøket
- det eksperimentelle oppsettet så også ut til å fungere etter hensikten og anbefales brukt videre i dette arbeidet
- med riktig design og påpasselighet i løpet av forsøket kan denne type eksperimenter være velegnet til å studere virkningen av andre miljøvariable, eksempelvis strømhastighet

Andre forhold

- ettersom forsøket ble gjort i en elv med pH 7, er effektene av nitrogentilsetning *ikke* et resultat av forsuring som sådan. Derved kan den økte grønskeveksten med større sannsynlighet knyttes mer direkte til langtransporterte forurensninger
- vekstøkningen blir omtrent den samme enten NO₃ og NH₄ tilsettes, selv om de tilsettes i forskjellige konsentrasjoner. Det kan skyldes at begge tilsettes i overskudd. Forsøk med tilsetning av NO₃ i dobbel konsentrasjon, 1 molar, ga ikke økt vekst. Det styrker antakelsen om at 0,5 molar NO₃ er tilstrekkelig for tilsetning i overskudd. At det dreier seg om to biologisk ulikt tilgjengelige tilstandsformer kan også ha betydning.
- en periode med uvanlig kaldt vær kan ha forårsaket frost med påfølgende lekkasje av N fra omgivelsene og derved mindre N begrensning i periode 4 (sept-okt) i 2001. Det var den eneste perioden som hadde positiv respons på P, samtidig som responsen på N tilsetning avtok

5.2 Forslag til videre undersøkelser

Vi ønsker primært å få svar på - hvilke konsentrasjoner av N gir økt vekst?

- Vårt forsøk ga ingen mål på hvor stor økning i vannets innhold av N som gir økt vekst. Tilsetninger med 0,1 molar NH₄ i agarboksene ga samme vekstøkning som 0,5 og 1 molar NO₃. Det kan tyde på at vi har tilsatt N i overskudd. For å få kunnskap om hvilke konsentrasjoner av N som gir økt vekst ønsker vi å gjennomføre feltforsøk i samme elv og tilsette små mengder N direkte i vannet under kontrollerte betingelser. Som vekstsubstrat opprettholdes nåværende oppsett. Et slikt eksperiment bør være praktisk gjennomførbart i Ufysa. Skal en velge mellom dette og andre typer forsøk (angitt nedenfor) anbefales dette. Det er begrunnet i behovet for å få tallfestet hvor store tilsetninger/høye konsentrasjoner av N som må til for å gi økt vekst. Dette er viktig bl.a. for å kvantifisere betydningen av den økte N deposisjonen.

Også andre faktorer ønskes undersøkt:

For å kartlegge betydningen av grunnleggende ulikheter i vannkvalitet og nitrogendeposisjon anbefales samme forsøk som det vi har gjennomført i Ufysja i andre lokaliteter. Grunnleggende kunnskap bør være på plass før andre variable trekkes inn i problemstillingen. Skal man få klarhet i betydningen av de ulike faktorer er det viktig at det bare introduseres en ny/endret miljøfaktor i nye forsøk:

- *hvis lokaliteten har høyere deposisjon av nitrogen (og derved høyere N innhold), men ellers tilsvarende forhold som i Ufysja, vil eksperimentelt tilsatt nitrogen da gi mindre vekstøkning enn i dette forsøket? Og hvordan reagerer en slik lokalitet på P tilsetning?*
- *hvilken betydning har vannets innhold av TOC . Tidligere forsøk i lokaliteter med lavere TOC innhold enn i Ufysja har alle gitt mindre respons på nitrogentilsetning enn dette forsøket (Lindstrøm og Johansen 1995). Derfor anbefales nytt forsøk lagt til en lokalitet med lavt TOC innhold og for øvrig liknende forhold. Tilsvarende forsøk anbefales også gjort i en lokalitet med høyere TOC innhold enn i Ufysja. Det ble gjort et enkelt forsøk i Tangedalselven, Yndesdalsvassdraget, i 2001 med tilsvarende metodikk som i Ufysja (Åtland m. fl. 2001). Det ga større respons på tilsetning av N (og i det tilfellet også P) enn i Ufysja. TOC innholdet i Tangedalselven er ca 2 ganger høyere enn i Ufysja. (Vi håper å få finansiert en serie i Tangedal også tidlig i 2002). om betydningen av økt nitrogendeposisjon i surt vann vet vi litt fra "HUMEX"-prosjektet. Her ga økt sur nedbør med tilsvarende økt deposisjon av nitrogen betydelig økning av grønskeveksten i en naturlig sur vannkvalitet. Om vekstøkningen vil være like stor i sur som i godt bufret vann, det vet vi imidlertid ikke.*

Mulig UV forsøk:

- Som en følge av ozonhullene i atmosfæren er det observert økt UV-stråling. Økningen er størst i nordområdene. Videre er høyfjellsområder mer utsatt enn lavlandsområder. Klimatiske faktorer som helningsvinkel, solhøyde, antall soltimer per dag/år spiller en viktig rolle. Økt UV-stråling i ferskvann vil ventelig ha størst effekt i grunne 10-15 cm dype vannforekomster i fjellet. Økosystemer i høyfjellet er vanligvis enklere enn i lavlandet og endringer/ubalanse i naturen kan muligens oppdages i fjellet før vi får effekter i lavlandet. Det er bl.a. observert *Daphnia*-populasjoner i Finseområdet med like sterk pigmentering som på Svalbard. Sannsynlige effekter av økt UV-stråling er først og fremst endringer i det genetiske materialet. Endringer i beiteaktiviteten hos enkelte bunndyrgrupper er annen effekt, som videre har effekter på mengden av begroing. Det er også observert morfologiske endringer hos noen alger. Ved UV-bestråling er det observert at grønalger med få celler danner større kolonier og får lengere utvekster. Andre grønalger har fått vesentlig tykkere skall. Ved å bygge opp kunnskap om virkninger av UV-bestråling på økosystemer i høyfjellet kan vi muligens bli i stand til å gi en "early warning" om effekter av den økte UV-bestrålingen.
- For å bygge opp kunnskap om effekter av UV-bestråling på økosystemer i ferskvann foreslås følgende forsøk: I den nåværende lokalitet settes ut 2 kasser med identisk oppsett mht. næringstilsetning, substrat og eksponering. For å studere effekten av UV dekkes den ene med UV-filter. Deler av elveleiet vil også bli dekket med UV-filter og prøver vil bli tatt utenfor og under filteret.

6. Litteratur

- Axler, R.P., Rose, C., and Tikkanen, C. A. 1994. Phytoplankton nutrient deficiency as related to atmospheric nitrogen deposition in northern Minnesota acid-sensitive lakes. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 51: 1281-1296.
- Biggs, B.J.F. & Lowe, R.L. 1994. Responses of two trophic levels to patch enrichment along a New Zealand stream continuum. *New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research* 28: 119-134.
- Berge, D., Bokn, T., Faafeng, B., Johansen, S.W., Johnsen, T., Lømsland, E., & Tjomsland, T. 1995. Effekter av overgjødning : dose/respons av næringssaltene fosfor og nitrogen. Status og kunnskapsmangler. Norsk institutt for vannforskning, Oslo. L.nr. 3289. 76 s.

- Chessman, B.C., Hutton, P.E. & Burch, J.M. 1992. Limiting nutrients for periphyton growth in sub-alpine, forest, agricultural and urban streams. *J.N. Am. Benthol. Soc.* 28: 349-361.
- Fairchild, G.W. and Lowe, R.L. 1984. Artificial substrates which release nutrients: effects upon periphyton and invertebrate succession. *Hydrobiologia* 114: 229-37.
- Francoeur, S.N., Biggs, B.J.F., Smith, R.A. & Lowe, R.L. 1999. Nutrient limitation of algal biomass accrual in streams: seasonal patterns and a comparison of methods. *J.N. Am. Benthol. Soc.* 18(2): 242-260.
- Hill, W. 1996. Effects of light: 121-148. In: Stevenson, R.J., Botwell, M.L. & Lowe, R.L. (eds.) *Algal Ecology. Freshwater Benthic Ecosystems. Aquatic Ecology series*, Academic Press, London.
- Horner, R.R. & Welch, E.B. 1981. Stream periphyton development in relation to current velocity and nutrients. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 38: 449-457.
- Horner, R.R., Welch, E.B., Seeley, M.R. & Jacoby, J.M. 1991. Responses of periphyton to changes in current velocity, suspended sediment and phosphate concentration. *Freshw. Biol.* 24: 215-232.
- Kahlert, M. 1998. C:N:P ratios of freshwater benthic algae. *Arch. Hydrobiol. Spec. Issues Advanc. Limnol.* 51: 105-114.
- Kahlert, M. 2001. Biomass and Nutrient Status of Benthic Algae in Lakes. *Comprehensive Summaries of Uppsala Dissertations from the Faculty of Science and Thecnology* 649. 35 s.
- Kjellberg, G., Hegge, O., Lindstrøm, E-A. og Løvik, J.E. 1999. Tiltaksorientert overvåking av Mjøsa med tilløpselver. Årsrapport for 1998. Norsk institutt for vannforskning, Oslo. L.nr. 4022-1999. 96 s.
- Krammer, K. & Lange-Bertalot, H. 1988. Bacillariophyceae. 2. Teil: Bacillariaceae, Epithemiaceae, Surirellaceae. *Süßwasserflora von Mitteleuropa. Band 2/2.* Stuttgart, Jena. 596 s.
- Krammer, K. & Lange-Bertalot, H. 1991. Bacillariophyceae. 4. Teil: Achnantaceae. *Süßwasserflora von Mitteleuropa. Band 2/4.* Stuttgart, Jena. 437 s.
- Lindstrøm, E-A. 1993. Økende grønske i norske vassdrag. Resultater av en spørreundersøkelse. Norsk institutt for vannforskning, Oslo. L.nr. 2859-1993. 28 s.
- Lindstrøm, E-A. 1996. The Humic Lake Acidification Experiment (Humex): Impacts of acid treatment on periphyton growth and nutrient availability in Lake Skjervatjern, Norway. *Environ.Int.* 22: 629-642.
- Lindstrøm; E-A., Bremnes, T. & Johansen, S.W. 1994. Eksperimentelle undersøkelser for kontroll av begroing i norske vassdrag. Norsk institutt for vannforskning, Oslo. L.nr. 3086-1993. 150 s.
- Lindstrøm, E-A. and Johansen, S. W. 1995. Factors controlling periphyton growth in rivers of low nutrient content. Experiments with nutrient-diffusing substrates in 1994: 15-17. In: *Nitrogen from Mountains to Fjords*, Norwegian Institute for Water Research, Oslo.
- Lindstrøm E-A. & Johansen 1997. Forskref-vassdraget Atna. Begroingsobservasjoner i perioden 1986-95. Norsk institutt for vannforskning, NIVA. L.nr. 3777-97. 62 s.
- Lindstrøm, E-A., Kjelberg, G. and Wright, R.F. 2000. Tålegrensen for nitrogen som næringsstoff i norske fjellvann: økt "grønske"? Norsk institutt for vannforskning, Oslo. L.nr. 4187-2000. *Naturens Tålegrenser fagrapport* 104. 40 s.
- Lindstrøm, E-A. & Johansen, S.W. 2001. Mengdemessig utvikling av algebegroing etter kalking - årsaker og effekter. Års- og datarapport for 1998, 1999 og 2000. Norsk institutt for vannforskning, NIVA. L.nr.4451-2001. 58 s.
- Lohman, K., Jones, J.R., & Baysinger-Daniel, C. 1991. Experimental evidence for nitrogen limitaiton in a northern Ozark stream. *J. of N. Am. Benthol. Soc.* 10: 14-23.
- Niederhauser, P. & Schanz, F. 1993. Effects of nutrient (N,P,C) enrichment upon the littoral diatom community of an oligotrophic high-mountain lake. *Hydrobiologia* 269/270: 453-462.
- Oredalen, T.J. og Aas W. 2000. Vurdering av atmosfærisk fosforavsetning i sørøst Norge. Norsk institutt for vannforskning, NIVA. L.nr. 4310-2000. *Naturens Tålegrenser fagrapport* 108. 33 s.
- Redfield, A.C. 1958. The biological control of chemical factors in the environment. *Ameri. Sci.* 46: 205-222.
- Petterson, C.G. & Grimm, N.B. 1992: Temporal variation in enrichment effects during periphyton succession in a nitrogen-limited desert ecosystem. *J. N. Am. Benthol. Soc.* 11(1): 20-36.

Scrimgeour, G.J. & Chambers, P.A. 1997. Development and application of a nutrient-diffusing bioassay for large rivers. *Freshwater Biology* 38: 221-231.

Skjelkvåle, B. L., Henriksen, A., Faafeng, B., Fjeld, E., Traaen, T. S., Lien, L., Lydersen, E. og Buan, A. K. 1996. Regional innsjøundersøkelse 1995. En vannkjemisk undersøkelse av 1500 norske innsjøer. Statlig program for forurensningsovervåking. Rapport 677/96, Statens forurensningstilsyn, Oslo, Norway. 73 s.

Åtland, Å., Bang, K., Barlaup, B., Gabrielsen, S.E., Haavardstun, J., Lindstrøm, E-A., Raddum, G. Teien, H.K. 2001. Langtidseffekter av silikatdosering - statusrapport pr. 16. november 2001. 15 sider.

Vedlegg A.

Primærdata for vekstforsøk i Ufysja 2000 (venstre) og 2001 (høyre)

2000: kasser satt ut 13.06

2001: kasser satt ut 18.06

Tegnforklaring år 2000, eksposering 1: G:gassklut, GA:gardin, L:linklut, F:fiberduk, PF:papirfilter. 3B= eksponer t i 2 måneder

høstet-2000	eksp. per.	type	chl a µg/filter	chl a µg/d	ln chl a µg/filter	høstet-2001	eksp. per.	type	chl a µg/filter	chla/d µg/d	ln chla µg/filter
11-jul-00	1	NO-F	74,60	2,66	4,31	19-jul-01	1	PO4 0,05	6,20	0,20	1,82
11-jul-00	1	NO-F	71,30	2,55	4,27	19-jul-01	1	PO4 0,05	5,80	0,19	1,76
11-jul-00	1	NO-F	70,70	2,53	4,26	19-jul-01	1	PO4 0,05	5,10	0,16	1,63
11-jul-00		NO-F	72,20	2,58	4,28	19-jul-01	1	PO4 0,05	5,90	0,19	1,77
11-jul-00	1	NO-G	116,60	4,16	4,76	19-jul-01		P 0,05	5,75	0,19	1,75
11-jul-00	1	NO-G	145,60	5,20	4,98	19-jul-01	1	NH4 0,1	85,00	2,74	4,44
11-jul-00		NO-G	131,10	4,68	4,88	19-jul-01	1	NH4 0,1	106,00	3,42	4,66
11-jul-00	1	NO-GA	11,90	0,43	2,48	19-jul-01	1	NH4 0,1	86,00	2,77	4,45
11-jul-00	1	NO-GA	41,40	1,48	3,72	19-jul-01	1	NH4 0,1	99,00	3,19	4,60
11-jul-00	1	NO-GA	49,50	1,77	3,90	19-jul-01		NH 0,1	94,00	3,03	4,54
11-jul-00		NO-GA	34,27	1,22	3,53	19-jul-01	1	NO3 0,5	114,00	3,68	4,74
11-jul-00	1	NO-L	107,60	3,84	4,68	19-jul-01	1	NO3 0,5	86,00	2,77	4,45
11-jul-00	1	NO-L	114,80	4,10	4,74	19-jul-01	1	NO3 0,5	79,00	2,55	4,37
11-jul-00		NO-L	111,20	3,97	4,71	19-jul-01	1	NO3 0,5	77,00	2,48	4,34
11-jul-00	1	K-F	8,50	0,30	2,14	19-jul-01		NO 0,5	89,00	2,87	4,48
11-jul-00	1	K-F	9,41	0,34	2,24	19-jul-01	1	K	5,50	0,18	1,70
11-jul-00	1	K-F	11,20	0,40	2,42	19-jul-01	1	K	5,40	0,17	1,69
11-jul-00		K-F	9,70	0,35	2,27	19-jul-01	1	K	5,20	0,17	1,65
11-jul-00	1	K-G	14,20	0,51	2,65	19-jul-01	1	K	4,30	0,14	1,46
11-jul-00	1	K-G	13,10	0,47	2,57	19-jul-01		K	5,10	0,16	1,62
11-jul-00		K-G	13,65	0,49	2,61	19-jul-01	1	NO3/PO4	248,00	8,00	5,51
11-jul-00	1	K-GA	26,40	0,94	3,27	19-jul-01	1	NO3/PO4	193,00	6,23	5,26
11-jul-00	1	K-GA	18,20	0,65	2,90	19-jul-01	1	NO3/PO4	243,00	7,84	5,49
11-jul-00	1	K-GA	20,3	0,65	2,90	19-jul-01	1	NO3/PO4	167,00	5,39	5,12
11-jul-00		K-GA	22,30	0,80	3,10	19-jul-01		NO/PO	212,75	6,86	5,35
11-jul-00	1	K-L	11,30	0,40	2,42	19-jul-01	1	NH4/PO4	186,00	6,00	5,23
11-jul-00	1	K-L	11,70	0,42	2,46	19-jul-01	1	NH4/PO4	284,00	9,16	5,65
11-jul-00		K-L	11,50	0,42	2,46	19-jul-01	1	NH4/PO4	185,00	5,97	5,22
høstet-00	eksp.	type	chl a	chl a	ln chl a	19-jul-01	1	NH4/PO4	229,00	7,39	5,43
11-jul-00	1	P	7,50	0,27	2,01	19-jul-01		NH/PO	221,00	7,13	5,38
11-jul-00	1	P	7,31	0,26	1,99	19-jul-01	1	NO3-1/PO4	170,00	5,48	5,14
11-jul-00	1	P	12,90	0,46	2,56	19-jul-01	1	NO3-1/PO4	111,00	3,58	4,71
11-jul-00	1	P	10,40	0,37	2,34	19-jul-01	1	NO3-1/PO4	270,00	8,71	5,60
11-jul-00		P-PF	9,53	0,34	2,23	19-jul-01	1	NO3-1/PO4	152,00	4,90	5,02
11-jul-00	1	NH4	88,20	3,15	4,48	19-jul-01		NO-1/PO	175,75	5,67	5,12
11-jul-00	1	NH4	96,10	3,43	4,57	19-jul-01	1	NO3 1	78,00	2,52	4,36
11-jul-00	1	NH4	72,30	2,58	4,28	19-jul-01	1	NO3 1	134,00	4,32	4,90
11-jul-00	1	NH4	84,50	3,02	4,44	19-jul-01	1	NO3 1	71,00	2,29	4,26
11-jul-00		NH4-PF	85,28	3,05	4,44	19-jul-01	1	NO3 1	110,00	3,55	4,70
11-jul-00	1	NO	53,80	1,92	3,99	19-jul-01		NO 1	98,25	3,17	4,55
11-jul-00	1	NO	55,10	1,97	4,01						
11-jul-00	1	NO	70,30	2,51	4,25	høstet-01	eksp.	type	chl a	chla/d	ln chla
11-jul-00	1	NO	77,40	2,76	4,35	17-aug-01	2	PO4 0,05	17,00	0,59	2,83
11-jul-00		NO-PF	64,15	2,29	4,15	17-aug-01	2	PO4 0,05	15,00	0,52	2,71
11-jul-00	1	K	10,30	0,37	2,33	17-aug-01	2	PO4 0,05	13,00	0,45	2,56
11-jul-00	1	K	9,48	0,34	2,25	17-aug-01	2	PO4 0,05	11,00	0,38	2,40
11-jul-00	1	K	9,93	0,35	2,30	17-aug-01		P 0,05	14,00	0,48	2,63
11-jul-00	1	K	5,19	0,19	1,65	17-aug-01	2	NH4 0,1	59,00	2,03	4,08
11-jul-00		K-PF	8,73	0,31	2,13	17-aug-01	2	NH4 0,1	79,00	2,72	4,37
høstet-00	eksp.	type	chl a	chla/d	ln chla	17-aug-01	2	NH4 0,1	75,00	2,59	4,32
16-aug-00	2	NO	133,70	3,71	4,90	17-aug-01	2	NH4 0,1	73,00	2,52	4,29
16-aug-00	2	NO	202,50	5,63	5,31	17-aug-01		NH 0,1	71,50	2,47	4,26
16-aug-00	2	NO	211,30	5,87	5,35	17-aug-01	2	NO3 0,5	78,00	2,69	4,36
16-aug-00	2	NO	182,90	5,08	5,21	17-aug-01	2	NO3 0,5	134,00	4,62	4,90
16-aug-00		NO-F	182,60	5,07	5,19	17-aug-01	2	NO3 0,5	71,00	2,45	4,26
16-aug-00	2	NO	227,70	6,33	5,43	17-aug-01	2	NO3 0,5	110,00	3,79	4,70
16-aug-00	2	NO	154,20	4,28	5,04	17-aug-01		NO 0,5	98,25	3,39	4,55
16-aug-00	2	NO	117,20	3,26	4,76	17-aug-01	2	K	8,80	0,30	2,17
16-aug-00	2	NO	134,20	3,73	4,90	17-aug-01	2	K	8,90	0,31	2,19
16-aug-00		NO-F	158,33	4,40	5,03	17-aug-01	2	K	8,30	0,29	2,12
16-aug-00	2	K	53,00	1,47	3,97	17-aug-01	2	K	11,00	0,38	2,40
16-aug-00	2	K	38,30	1,06	3,65	17-aug-01		K	9,25	0,32	2,22

Vedlegg A fortsetter

høstet-00	eksp.	type	chl a	chla/d	ln chla	høstet-01	eksp.	type	chl a	chla/d	ln chla
16-aug-00	2	K	34,80	0,97	3,55	17-aug-01	2	NO3/PO4	216,00	7,45	5,38
16-aug-00	2	K	29,50	0,82	3,38	17-aug-01	2	NO3/PO4	161,00	5,55	5,08
16-aug-00		K-F	38,90	1,08	3,64	17-aug-01	2	NO3/PO4	188,00	6,48	5,24
16-aug-00	2	K	45,80	1,27	3,82	17-aug-01	2	NO3/PO4	185,00	6,38	5,22
16-aug-00	2	K	42,40	1,18	3,75	17-aug-01		NO/PO	187,50	6,47	5,23
16-aug-00	2	K	39,70	1,10	3,68	17-aug-01	2	NH4/PO4	233,00	8,03	5,45
16-aug-00	2	K	31,50	0,88	3,45	17-aug-01	2	NH4/PO4	230,00	7,93	5,44
16-aug-00		K-F	39,85	1,11	3,68	17-aug-01	2	NH4/PO4	154,00	5,31	5,04
						17-aug-01	2	NH4/PO4	183,00	6,31	5,21
						17-aug-01		NH/PO	200,00	6,90	5,28
høstet-00	eksp.	type	chl a	chla/d	ln chla	17-aug-01	2	NO3/PO4 1	151,00	5,21	5,02
16-aug-00	3	P	25,60	0,88	3,24	17-aug-01	2	NO3/PO4 1	206,00	7,10	5,33
16-aug-00	3	P	28,40	0,98	3,35	17-aug-01	2	NO3/PO4 1	158,00	5,45	5,06
16-aug-00	3	P	18,50	0,64	2,92	17-aug-01	2	NO3/PO4 1	188,00	6,48	5,24
16-aug-00	3	P	14,00	0,48	2,64	17-aug-01	2	NO/PO 1	175,75	6,06	5,16
16-aug-00		P 0,05	21,63	0,75	3,04	17-aug-01	2	NO3 1	129,00	4,45	4,86
16-aug-00	3	NH4	70,60	2,43	4,26	17-aug-01	2	NO3 1	112,00	3,86	4,72
16-aug-00	3	NH4	62,30	2,15	4,13	17-aug-01	2	NO3 1	96,00	3,31	4,56
16-aug-00	3	NH4	82,00	2,83	4,41	17-aug-01	2	NO3 1	119,00	4,10	4,78
16-aug-00	3	NH4	75,50	2,60	4,32	17-aug-01	2	NO3 1	114,00	3,93	4,73
16-aug-00		NH4 0,1	72,60	2,50	4,28						
16-aug-00	3	NO	77,30	2,67	4,35						
16-aug-00	3	NO	74,90	2,58	4,32	høstet-01	eksp.	type	chl a	chla/d	ln chla
16-aug-00	3	NO	80,40	2,77	4,39	13-sep-01	3	PO4 0,05	18,0	0,7	2,9
16-aug-00	3	NO	76,00	2,62	4,33	13-sep-01	3	PO4 0,05	22,0	0,8	3,1
16-aug-00		NO3 0,5	77,15	2,66	4,35	13-sep-01	3	PO4 0,05	36,0	1,3	3,6
16-aug-00	3	K	12,70	0,44	2,54	13-sep-01	3	PO4 0,05	13,0	0,5	2,6
16-aug-00	3	K	10,80	0,37	2,38	13-sep-01		P 0,05	22,3	0,8	3,0
16-aug-00	3	K	9,05	0,31	2,20	13-sep-01	3	NH4 0,1	61,0	2,3	4,1
16-aug-00	3	K	13,70	0,47	2,62	13-sep-01	3	NH4 0,1	53,0	2,0	4,0
16-aug-00		K	11,56	0,40	2,44	13-sep-01	3	NH4 0,1	86,0	3,2	4,5
						13-sep-01	3	NH4 0,1	120,0	4,4	4,8
høstet-00	3B	type	chl a	chla/d	ln chla	13-sep-01		NH 0,1	80,0	3,0	4,3
14-sep-00	3B	P	42,20	1,46	3,74	13-sep-01	3	NO3 0,5	88,0	3,3	4,5
14-sep-00	3B	P	35,90	1,24	3,58	13-sep-01	3	NO3 0,5	93,0	3,4	4,5
14-sep-00	3B	P	24,50	0,84	3,20	13-sep-01	3	NO3 0,5	83,0	3,1	4,4
14-sep-00	3B	P	19,60	0,68	2,98	13-sep-01	3	NO3 0,5	56,0	2,1	4,0
14-sep-00		P 0,05	30,55	1,05	3,37	13-sep-01		NO 0,5	80,0	3,0	4,4
14-sep-00	3B	NH4	247,20	8,52	5,51	13-sep-01	3	K	13,0	0,5	2,6
14-sep-00	3B	NH4	154,60	5,33	5,04	13-sep-01	3	K	11,0	0,4	2,4
14-sep-00	3B	NH4	176,60	6,09	5,17	13-sep-01	3	K	16,0	0,6	2,8
14-sep-00	3B	NH4	72,80	2,51	4,29	13-sep-01	3	K	14,0	0,5	2,6
14-sep-00		NH4 0,1	162,80	5,61	5,00	13-sep-01		K	13,5	0,5	2,6
14-sep-00	3B	NO	197,50	6,81	5,29	13-sep-01	3	NO3/PO4	64,0	2,4	4,2
14-sep-00	3B	NO	201,80	6,96	5,31	13-sep-01	3	NO3/PO4	86,0	3,2	4,5
14-sep-00	3B	NO	103,30	3,56	4,64	13-sep-01	3	NO3/PO4	86,0	3,2	4,5
14-sep-00	3B	NO	105,30	3,63	4,66	13-sep-01	3	NO3/PO4	110,0	4,1	4,7
14-sep-00		NO3 0,5	151,98	5,24	4,97	13-sep-01		NO/PO	86,5	3,2	4,4
14-sep-00	3B	K	30,20	1,04	3,41	13-sep-01	3	NH4/PO4	59,0	2,2	4,1
14-sep-00	3B	K	18,00	0,62	2,89	13-sep-01	3	NH4/PO4	59,0	2,2	4,1
14-sep-00	3B	K	16,80	0,58	2,82	13-sep-01	3	NH4/PO4	77,0	2,9	4,3
14-sep-00	3B	K	15,40	0,53	2,73	13-sep-01	3	NH4/PO4	72,0	2,7	4,3
14-sep-00		K	20,10	0,69	2,96	13-sep-01		NH/PO	66,8	2,5	4,2
						13-sep-01	3	NO3-1/PO4	56,0	2,1	4,0
høstet-00	eksp.	type	chl a	chla/d	ln chla	13-sep-01	3	NO3-1/PO4	123,0	4,6	4,8
11-okt-00	4	P	13,20	0,49	2,58	13-sep-01	3	NO3-1/PO4	98,0	3,6	4,6
11-okt-00	4	P	12,80	0,47	2,55	13-sep-01	3	NO3-1/PO4	68,0	2,5	4,2
11-okt-00	4	P	13,60	0,50	2,61	13-sep-01		NO3-1/PO4	86,3	3,2	4,4
11-okt-00	4	P	17,20	0,64	2,84	13-sep-01	3	NO3 1	49,0	1,8	3,9
11-okt-00		P 0,05	14,20	0,53	2,65	13-sep-01	3	NO3 1	47,0	1,7	3,9
11-okt-00	4	NH4	35,90	1,33	3,58	13-sep-01	3	NO3 1	34,0	1,3	3,5
11-okt-00	4	NH4	32,60	1,21	3,48	13-sep-01	3	NO3 1	45,0	1,7	3,8
11-okt-00	4	NH4	44,40	1,64	3,79	13-sep-01		NO3 1	43,8	1,6	3,8
11-okt-00	4	NH4	29,80	1,10	3,39						
11-okt-00		NH4 0,1	35,68	1,32	3,56	høstet-01	eksp.	type	chl a	chla/d	ln chla
11-okt-00	4	NO	37,30	1,38	3,62	16-okt-01	4	PO4 0,05	50,0	1,5	3,9
11-okt-00	4	NO	26,10	0,97	3,26	16-okt-01	4	PO4 0,05	44,0	1,3	3,8
11-okt-00	4	NO	41,80	1,55	3,73	16-okt-01	4	PO4 0,05	41,0	1,2	3,7
11-okt-00	4	NO	34,40	1,27	3,54	16-okt-01	4	PO4 0,05	36,0	1,1	3,6
11-okt-00		NO3 0,5	34,90	1,29	3,54	16-okt-01		P 0,05	42,8	1,3	3,7
11-okt-00	4	K	12,60	0,47	2,53	16-okt-01	4	NH4 0,1	62,0	1,9	4,1
11-okt-00	4	K	14,10	0,52	2,65	16-okt-01	4	NH4 0,1	64,0	1,9	4,2
11-okt-00	4	K	19,60	0,73	2,98	16-okt-01	4	NH4 0,1	110,0	3,3	4,7
11-okt-00	4	K	17,90	0,66	2,88	16-okt-01	4	NH4 0,1	59,0	1,8	4,1
11-okt-00		K	16,05	0,59	2,76	16-okt-01		NH 0,1	73,8	2,2	4,3
						16-okt-01	4	NO3 0,5	77,0	2,3	4,3
						16-okt-01	4	NO3 0,5	61,0	1,8	4,1
						16-okt-01	4	NO3 0,5	119,0	3,6	4,8
						16-okt-01	4	NO3 0,5	84,0	2,5	4,4
						16-okt-01		NO 0,5	85,3	2,6	4,4

Vedlegg A fortsetter

høstet-01	eksp.	type	chl a	chla/d	ln chla
16-okt-01	4	K	9,8	0,3	2,3
16-okt-01	4	K	18,0	0,5	2,9
16-okt-01	4	K	14,0	0,4	2,6
16-okt-01	4	K	17,0	0,5	2,8
16-okt-01		K	14,7	0,4	2,7
16-okt-01	4	NO3/PO4	44,0	1,3	3,8
16-okt-01	4	NO3/PO4	88,0	2,7	4,5
16-okt-01	4	NO3/PO4	71,0	2,2	4,3
16-okt-01	4	NO3/PO4	42,0	1,3	3,7
16-okt-01		NO3/PO4	61,3	1,9	4,1
16-okt-01	4	NH4/PO4	64,0	1,9	4,2
16-okt-01	4	NH4/PO4	64,0	1,9	4,2
16-okt-01	4	NH4/PO4	67,0	2,0	4,2
16-okt-01	4	NH4/PO4	76,0	2,3	4,3
16-okt-01		NH/PO	67,8	2,1	4,2
16-okt-01	4	NO3/PO4	54,0	1,6	4,0
16-okt-01	4	NO3/PO4	82,0	2,5	4,4
16-okt-01	4	NO3/PO4	80,0	2,4	4,4
16-okt-01	4	NO3/PO4	63,0	1,9	4,1
16-okt-01		NO-1/PO	69,8	2,1	4,2
16-okt-01	4	NO3 1	41,0	1,2	3,7
16-okt-01	4	NO3 1	40,0	1,2	3,7
16-okt-01	4	NO3 1	52,0	1,6	4,0
16-okt-01	4	NO3 1	46,0	1,4	3,8
16-okt-01		NO 1	44,8	1,4	3,8

Vedlegg B.

Alger på fiberduk angitt som relativ forekomst. Total forekomst per prøve er 10. Mindre vanlige arter angitt med x. Eksponeringsperiode 1-4, Ufysja 2001.

Eksponerings-periode i 2001	Kontroll					PO4					NO3					NH4				
	1	2	3	4	snitt	1	2	3	4	snitt	1	2	3	4	snitt	1	2	3	4	snitt
Organisme																				
Achnanthes minutissima	6	6	3	3	4,5	4	3	2	2	2,75	3	2	2	3	2,5	1	2	3	2	2
Fragilaria rumpens	2	3	2	2	2,25	3	2	2	3	2,5	2	2	3	3	2,5	x	1	3	5	2,25
Ceratoneis arcus	1	x	2	1	0,25	x	x	2	1	0,75	x	2	3	1	1,6	x	1	3	1	1,25
Nitzschia spp.	1	x			0,25	1	1		1	0,75	3	2		x	1,25	6	2		x	2
Tabellaria flocculosa	x	x	1	1	0,5	1	2	x	x	0,75	x	x	x	1	0,25	x		x	1	0,25
Anomoeoneis vitrea			x	x		x		x								x		x		
Cyclotella sp.				x					x				x	x		x		x		
Cymbella affinis		1	1	1	0,75	1	2	1	1	1,25	x	1	x		0,25	x		x		
Cymbella cesatii		x		x		x														
Cymbella (små)	x					x					x									
Cymbella ventricosa											x					x				
Cymbella spp.			x				x	x	1	0,25			x	1	0,25			x	x	
Cocconeis sp.												x								
Eunotia spp.		x					x													
Eunotia lunaris							x													
Eucocconeis sp.							x		x		x	x								
Diatoma hiemale var mesodon				x					x					x						x
Gomphonema acuminatum v. coronatum							x													
Gomp acuminatum/parvulum																1	1			0,5
Gomphonema ventricosa						x														
Gomphonema spp.		x				x	x				x	1			0,25	x	x			
Fragilaria ulna			x	x			x	x	x			x	x	x		x		x	x	
Fragilaria sp. (45µ)			x	1	0,25	x		x	1	0,25	x		x	1	0,25	x		x	1	0,25
Fragilaria spp.	x					x	x				x	x				x	x			
Meridion cirulare									x											
Navicula radiosa				x			x				x	x				x				
Navicula spp.		x				x					x	x				x	x			
Stenopterobia sigmatella						x														
Uidentifiserte pennate diatomeer	x		x						x		x		x			x		x		
Uidentif. cyanobaterietråder				1	0,25	x	x		x		x	x		x		2	1		x	0,75
Oscillatoria spp.																x				
Closterium sp. (stor)			x																	
Closterium spp.			x	x				x	x				x	x					x	
Cosmarium spp.		x	1	x	0,25	x	x	1	x	0,25	x	x	1	x	0,25	x	x	1		0,25
Euastrum spp.		x					x	x					x					x		
Penium spp.																				
Sphaerosozma sp.			x										x					x		
Xanthidium spp.								x	x				x	x				x	x	
Mougeotia a		x	x	x					x				x	x					x	
Mougeotia a/b									x											
Mougeotia e						x														
Zygnema b								1		0,25										
Elakatothrix sp.		x		x							x									
Scenedesmus sp.											x									
Uident chlorococcale grønnalg.	x	x		x		x	x	1	x	0,25	2	x	1		0,75	x	2	x	x	0,5
Plankton diverse			x			x		x			x		x					x		
Cyster diverse	x					x														
Ciliate uidentifiserte		x	x			x	x	x	x		x	x	x	x		x		x	x	
Flagellater fargeløse							x	x				x	x				x			
Jernbakterier	x	x	x	x		x	x	x	x		x	x	x	x		x	x	x	x	
	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10

Naturens Tålegrenser - Oversikt over utgitte rapporter

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

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

- 41 Kålås, J.A., Ringsby, T.H. & Lierhagen, S. 1993. Metals and radiocesium in wild animals from the Sør-Varanger area, north Norway. Norsk institutt for naturforskning (NINA), Oppdragsmelding 212.
- 42 Fløisand, I. & Løbersli, E. (red.) 1993. Tilførsler og virkninger av lufttransporterte forurensninger (TVLF) og Naturens tålegrenser. Sammendrag av foredrag og postere fra møte i Stjørdal, 15.-17.februar 1993. Norsk institutt for luftforskning (NILU), OR 17/93.
- 43 Henriksen, A. & Hesthagen, T. 1993. Critical load exceedance and damage to fish populations. Norsk institutt for vannforskning (NIVA), O-89210.
- 44 Lien, L., Henriksen, A. & Traaen, T.S. 1993. Critical loads of acidity to surface waters, Svalbard. Norsk institutt for vannforskning (NIVA), O-90102.
- 45 Løbersli, E., Johannessen, T. & Olsen, K.V (red.) 1993. Naturens tålegrenser. Referat fra seminar i 1991 og 1992. Direktoratet for naturforvaltning, DN-notat 1993-6.
- 46 Bakken, S. 1993. Nitrogenforurensning og variasjon i nitrogen, protein og klorofyllinnhold hos barskogsmosen blanksigd (*Dicranum majus*). Direktoratet for naturforvaltning (DN). Utredning for DN 1994-1.
- 47 Krøkje, Å. 1993. Genotoksisk belastning i jord . Effektstudier, med mål å komme fram til akseptable grenser for genotoksisk belastning fra langtransportert luftforurensning. Direktoratet for naturforvaltning (DN). Utredning for DN 1994-2.
- 48 Fremstad, E. 1993. Heigråmose (*Racomitrium lanuginosum*) som indikator på nitrogenbelastning. Norsk i nstitutt for naturforskning (NINA) Oppdragsmelding 239.
- 49 Nygaard, P.H. & Ødegaard, T.H. 1993. Effekter av nitrogen gjødsling på vegetasjon og jord i skog. Rapport Skogforsk 26/93.
- 50 Fløisand, I. og Johannessen, T. (red.) 1994. Langtransporterte luftforurensninger. Tilførsler, virkninger og tålegrenser. Sammendrag av foredrag og postere fra møte i Grimstad, 7.-9.3.94. Norsk institutt for luftforskning NILU OR: 17/94
- 51 Kleivane, L. Skåre, J.U. & Wiig, Ø. 1994. Klorerte organiske miljøgifter i isbjørn. Forekomst, nivå og mulige effekter. Norsk Polarinstitut Meddelelse nr. 132.
- 52 Lydersen, E., Fjeld, E. & Andersen, T. 1994. Fiskestatus og vannkjemi i norske innsjøer. Norsk institutt for vannforskning (NIVA) O-93172
- 53 Schartau, A.K.L. (red.) 1994. Effekter av lavdose kadmium-belastning på littorale ferskvanns-populasjoner og -samfunn. Norsk institutt for naturforskning (NINA) Forskningsrapport 055.
- 54 Mortensen, L. (1994). Variation in ozone sensitivity of *Betula pubescens* Erh. from different sites in South Norway. Direktoratet for naturforvaltning (DN). Utredning for DN, Nr. 1994-6.
- 55 Mortensen, L. (1994). Ozone sensitivity of *Phleum alpinum* L. from different locations in South Norway. Direktoratet for naturforvaltning (DN). Utredning for DN, Nr. 1994-7.
- 56 Frogner, T., Wright, R.F., Cosby, J.B. and Esser, J.M. (1994). Maps of critical loads and exceedance for sulfur and nitrogen to forest soils in Norway. Norsk institutt for vannforskning (NIVA) O-91147.
- 57 Flatberg, K.I. & Frisvoll, A.A. 1994. Moseskader i Agder 1989-92 (1994). Norsk institutt for naturforskning (NINA), Oppdragsmelding 298.
- 58 Hesthagen, T. & Henriksen, A. (1994). En analyse av sammenhengen mellom overskridelser av tålegrenser for overflatevann og skader på fiskebestander. Norsk institutt for naturforskning (NINA), Oppdragsmelding 288.
- 59 Skåre, J.U., Wiig, Ø. & Bernhoft, A. (1994). Klorerte organiske miljøgifter; nivåer og effekter på isbjørn. Norsk Polarinstitut Rapport nr. 86 - 1994.
- 60 Tørseth, K. & Pedersen, U. 1994. Deposition of sulphur and nitrogen components in Norway. 1988-1992. Norsk institutt for luftforskning (NILU): OR 16/94.

- 61 Nygaard, P.H. 1994. Virkning av ozon på blåbær (*Vaccinium myrtillus*), etasjehusmose (*Hylocomium splendens*), furumose (*Pleurozium schreberi*) og krussigd (*Dicranum polysetum*). Rapport Skogforsk 9/94.
- 62 Henriksen, A. & Lien, L. 1994. Tålegrenser for overflatevann: Metode og usikkerheter. Norsk institutt for vannforskning (NIVA), O-94122.
- 63 Hilmo, O. & Larssen, H.C. 1994. Morfologi hos epifyttisk lav i områder med ulik luftkvalitet. ALLFORSK Rapport 2.
- 64 Wright, R.F. 1994. Bruk av dynamiske modeller for vurdering av vann- og jordforsuring som følge av redusert tilførsel av sur nedbør. Norsk institutt for vannforskning (NIVA), O-94112.
- 65 Hesthagen, T., A. Henriksen & Kvenild, L. 1994. Overskridelser av tålegrenser for overflatevann og skader på fiskebestander i norske innsjøer med spesiell vekt på Troms og Finnmark. Norsk institutt for naturforskning (NINA), Oppdragsmelding 298.
- 66 Sagmo Solli, I.M., Flatberg, K.I.F., Söderström, L., Bakken S. & Pedersen, B. 1996. Blanksigd og luftforurensningsstudier. NTNU. Vitenskapsmuseet. Rapport botanisk serie 1996-1.
- 67 Stuanes, A. & Abrahamsen, G. 1996. Tålegrenser for nitrogen i skog - en vurdering av kunnskapsgrunnet. Aktuelt fra Skogforsk 7-96.
- 68 Ogner, G. 1995. Tålegrenser for skog i Norge med hensyn til ozon. Aktuelt fra Skogforsk 3-95.
- 69 Thomsen, M., Nellemann, C. Frogner, T., Henriksen A., Tomter, S. & Mulder, J. 1995. Tilvekst og vitalitet for granskog sett i relasjon til tålegrenser og forurensning. Rapport fra Skogforsk 22-95.
- 70 Tomter, S. M. & Esser, J. 1995. Kartlegging av tålegrenser for nitrogen basert på en empirisk metode. Norsk institutt for jord- og skogkartlegging (NIJOS). Rapport nr 10/95.
- 71 Pedersen, H.Chr. (red.). 1995. Kadmium og bly i lirype: akkumulering og cellulære effekter. Stiftelsen for naturforskning og kulturminneforskning (NINA-NIKU) Oppdragsmelding 387
- 72 Bakken, S. & Flatberg, K.I.F. 1995. Effekter av økt nitrogendeposisjon på ombrotrof myrvegetasjon. En litteraturstudie. ALLFORSK Rapport 3.
- 73 Sogn, T.A., Stuanes, A.O. & Abrahamsen, G. 1995. Akkumulering av nitrogen - en kritisk parameter for beregning av tålegrenser for nitrogen i skog. Rapport fra Skogforsk 21/95.
- 74 Nygaard, P.H. & Eldhuset, T. 1996. Forholdet mellom basekationer og aluminium i jordløsning som kriterium for tålegrenser i skogsjord. Norsk institutt for skogforskning (NISK). Rapport fra Skogforsk 1/96
- 75 Mortensen, L. 1993. Effects of ozone on growth of several subalpine plant species. Norw. J. Agric. Sci. 7: 129-138.
- 76 Mortensen, L. 1994. Further studies on the effects of ozone concentration on growth of subalpine plant species. Norw. J. Agric. Sciences 8:91-97.
- 77 Fløisand, I. & Løbersli, E. (red.) 1996. Lufttransporterte forurensninger - tilførsler, virkninger og tålegrenser. Norsk institutt for luftforskning (NILU) OR 2/96.
- 78 Thomsen, M.G., Esser, J., Venn, K. & Aamlid, D. 1996. Sammenheng mellom træs vitalitet og næringsstatus i nåler og humus på skogovervåkingsflater i Sørøst-Norge (in prep).
- 79 Tørseth, K., Mortensen, L. & Hjellbrekke, A.-G. 1996. Kartlegging av bakkenær ozon etter tålegrenser basert på akkumulert dose over 40 ppb. Norsk institutt for luftforskning (NILU) OR 12/96.
- 80 Esser, J.M. & Tomter, S.M. 1996. Reviderte kart for tålegrenser for nitrogen basert på empiriske verdier for ulike vegetasjonstyper. Norsk institutt for jord- og skogkartlegging (NIJOS).
- 81 Henriksen, A., Hindar, A., Styve, H., Fjeld, E. & Lien, L. 1996. Forsuring av overflatevann, beregningsmetodikk, trender og mottiltak. Norsk institutt for vannforskning (NIVA). Rapport LNR 3528-96.

- 82 Henriksen, A., Hesthagen, T. & Fjeld, E. 1996. Overskridelser av tålegrenser for overflatevann og skader på fiskebestander. Norsk institutt for vannforskning (NIVA). Rapport LNR 3565-96.
- 83 Wright, R. F., Raastad, I.A., & Kaste, Ø. 1996. Atmospheric deposition of nitrogen, runoff of organic nitrogen, and critical loads for soils and waters. Norsk institutt for vannforskning (NIVA) Report SNO 3592-97
- 84 Mortensen, L.M. 1995. The influence of ozone pollution on growth of young plants of *Betula pubescens* Ehrh. And *Phleum alpinum* L. Dose-response relations. Norw. J. Agr. Sci. 9:249-262
- 85 Mortensen, L.M. 1996. Ozone senistivity of *Betula pubescens* at different growth stages after budburst in spring. Norw. J. Agr. Sci. 10:187-196.
- 86 Tørseth, K., Rosendahl, K.E., Hansen, A.C., Høie, H. & Mortensen, L.M. 1997. Avlingstap som følge av bakkenært ozon. Vurderinger for perioden 1989-1993. SFT-rapport.
- 87 Rognerud, S, Hognve, D. & Fjeld, E. 1997. Naturlige bakgrunnskonsentrasjoner av metaller. Kan amosfæriske avsetninger påvirke metall-konsentrasjoner slik at det ikke reflekterer berggrunnens geokjemi? Norsk institutt for vannforskning (NIVA) Rapport LNR 3670-97
- 88 Skjelkvåle, B.L., Wright, R.F. & Tjomsland, T. 1997. Vannkjemi, forsuringstatus og tålegrenser i nasjonalparker; Femundsmarka og Rondane. Norsk institutt for vannforskning (NIVA) Rapport LNR 3646-97
- 89 Nordbakken; J.-F. 1997. Småskalaendringer i ombrotrof myrvegetasjon i SØ-Norge 1990/91-96. Botanisk Hage og Museum, Univ. Oslo Rapp. 1
- 90 Sogn, T.A., Kjønnås, J., Stuanes, A.O., & Abrahamsen, G. 1997. Akkumulering av nitrogen - variasjoner avhengig av bestandsutvikling, nitrogen tilførsel og simulert snødekke. Norges Landbrukshøgskole, Institutt for jord- og vannfag, Rapport nr. 10/97.
- 91 Nygaard, P.H., Ødegård, T. & Flatberg, K.I.F. Vegetasjonsendringer over 60 år i fattig skog- og myrvegetasjon i Karlshaugen skogreservat. Skogforsk (in prep)
- 92 Knutzen, J., Gabrielsen, G.W., Henriksen, O.E., Hylland, K., Källqvist, T. Nygård, T., Pacyna, J.S. Skjegstad, N. & Steinnes, E. 1997. Assessment of the applicability for pollution authorities of the concept "critical load" of long-range transported micropollutants in relation to aquatic and terrestrial ecosystems. Norsk institutt for vannforskning (NIVA) Report SNO 3751-97.
- 93 Tørseth, K. & Semb, A. 1997. Deposition of major inorganic components in Norway 1992-1996. Norsk institutt for luftforskning (NILU), OR 67/97.
- 94 Henriksen, A. 1998. Application of the first order acidity balance (FAB) model to Norwegian surface waters. Norsk institutt for vannforskning (NIVA) Report SNO 3809-98
- 95 Sogn, T.A. & Wright, R.F. 1998. The model MERLIN applied to Nordmoen, Norway. Norsk institutt for vannforskning (NIVA) Report SNO 3844-98
- 96 Skjelkvåle, B.L. & A. Henriksen, 1998. Vannkjemi, forsuringstatus og tålegrenser i nasjonalparker; Hardangervidda. Norsk institutt for vannforskning (NIVA). Report SNO 3895-98
- 97 Henriksen, A. 1998. Binding grid cells – Norway. An evaluation. Norsk institutt for vannforskning (NIVA) Report SNO 3942-98
- 98 Lükewille, A. & A. Semb. 1998. Deposition in Norwegian Mountain areas. Norsk institutt for luftforskning (NILU) OR 66/97
- 99 Strand, L.T., Stuanes, A.O. & G. Abrahamsen. 1998. Akkumulering av karbon og nitrogen i unge jordsmonn. Institutt for jord og vannfag, rapport nr 9/98.
- 100 Wright, R.F. & Henriksen, A. 1999. Gap closure; use of MAGIC model to predict time required to achieve steady-state following implementation of the Oslo protocol. Norsk institutt for vannforskning (NIVA) Report SNO 4012-99

- 101 Henriksen, A. 1999. Tålegrenser i fjellområder. Hva vet vi og hva bør vi vite? Rapport fra seminar 16.-17. Februar 1999. Rondablikk Føyfjellshotell. Norsk institutt for vannforskning (NIVA) Rapport LNR 4017-99
- 102 Wright, R.F. 1999. Risk of N leaching from forests to surface waters in Norway. Norsk institutt for vannforskning (NIVA) Report SNO 4038-99
- 103 Wright, R.F., Mulder, J. & Esser, J.M., 1999. Soils in mountain uplands regions of southwestern Norway: nitrogen leaching and critical loads. Norsk institutt for vannforskning (NIVA) Report SNO 4130-99
- 104 Lindstrøm, E.A., Kjellberg, G. & Wright, R.F. 1999. Tålegrensen for nitrogen som næringsstoff i norske fjellvann: økt "grønske"? Norsk institutt for vannforskning (NIVA) Rapport LNR 4187-2000
- 105 Thomsen, M.G. & Nellemann, Chr. 2000. Mortalitet og tilvekst i relasjon til forurensningsbelastningen i Sør Norge 1920-2000 (under trykking)
- 106 Henriksen, A & Buan, A.K. 2000. Tålegrenser og overskridelse av tålegrenser for overflatevann, skogsjord og vegetasjon i Norge. Norsk institutt for vannforskning (NIVA). Rapport LNR 4179-2000
- 107 Aarrestad, P.A. & Vandvik, V. 2000. Vegetasjonsendringer i vestnorsk kystlynghei - effekter av skjøtelsesformene brann og sauebeite ved rehabilitering av gammel lynghei på Lurekalven i Hordaland. - NINA fagrapport 044.
- 108 Oredalen, J.T. & Aas, W. 2000. Vurdering av atmosfærisk fosforavsetning i sørøst-Norge. Norsk institutt for vannforskning Rapport LNR 4310-2000.
- 109 Bruteig, I., Thomsen, M.G. & Altin, D. 2001. Vekstrespons hos tre aerofyttiske algar på tilførsel av nitrogen. NINA oppdragsmelding 680. (*Rapporten er feilnummerert og har fått nummer 108*)
- 110 Sogn, T.A., Mulder, J., Haugen, L.E., Berge, G., Rustad, K.B. & Stuanes, A. 2001. N-omsetning i hei-/fjellområder: En første tilnærming til dynamisk modellering av N-omsetningen. Institutt for jord- og vannfag, Norges landbrukshøgskole. Rapport nr 11/2001.
- 111 Kroglund, F., Wright, R.F. & Burchart, C. 2001. Acidification and Atlantic salmon: critical limits for Norwegian rivers. Norwegian Institute for Water Research Report No O-20191
- 112 Lindstrøm, E.A. 2001. Økt plantevekst i uberørt fjellvann: et samspill mellom langtransporterte forurensninger og klima. Norsk institutt for vannforskning. Rapport LNR 4459-2001.

Henvelndelser vedrørende rapportene rettes til utførende institusjon