



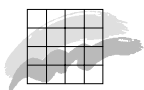
Danmarks Miljøundersøgelser
Miljøministeriet

Næringssaltbegrænsning af makroalger i danske kystområder

Et samarbejdsprojekt mellem Ringkøbing Amt,
Nordjyllands Amt, Viborg Amt, Århus Amt, Ribe Amt,
Sønderjyllands Amt, Fyns Amt, Roskilde
Universitetscenter og Danmarks Miljøundersøgelser

Faglig rapport fra DMU, nr. 392

[Tom side]



Danmarks Miljøundersøgelser
Miljøministeriet

Næringssaltbegrænsning af makroalger i danske kystområder

Et samarbejdsprojekt mellem Ringkøbing Amt,
Nordjyllands Amt, Viborg Amt, Århus Amt, Ribe Amt,
Sønderjyllands Amt, Fyns Amt, Roskilde
Universitetscenter og Danmarks Miljøundersøgelser

***Faglig rapport fra DMU, nr. 392
2002***

Dorte Krause-Jensen, *DMU*

Claus Jensen, *DMU*

Kurt Nielsen, *DMU*

Morten Foldager Petersen, *RUC*

Dorte F. Hansen, *Aarhus Amt*

Martha Laursen, *Ringkøbing Amt*

Else Marie Platz, *Viborg Amt*

Poul Brinch Madsen, *Ribe Amt*

Grethe Bruntse, *Sønderjyllands Amt*

Nanna Rask, *Fyns Amt*

Søren Larsen, *Fyns Amt*

Else Hvas, *Nordjyllands Amt*

Datablad

Titel:	Næringssaltbegrænsning af makroalger i danske kystområder
Undertitel:	Et samarbejdsprojekt mellem Ringkøbing Amt, Nordjyllands Amt, Viborg Amt, Århus Amt, Ribe Amt, Sønderjyllands Amt, Fyns Amt, Roskilde Universitetscenter og Danmarks Miljøundersøgelser
Forfattere:	Dorte Krause-Jensen ¹ , Claus Jensen ² , Kurt Nielsen ² , Morten Foldager Petersen ³ , Dorte F. Hansen ⁴ , Martha Laursen ⁵ , Else Marie Platz ⁶ , Poul Brinck Madsen ⁷ , Grethe Bruntse ⁸ , Nanna Rask ⁹ , Søren Larsen ⁹ , Else Hvas ¹⁰
Afdelinger:	¹ Afd. for Marin Økologi, ² Afd. for Ferskvandsøkologi, ³ Roskilde Universitetscenter, ⁴ Aarhus Amt, ⁵ Ringkøbing Amt, ⁶ Viborg Amt, ⁷ Ribe Amt, ⁸ Sønderjyllands Amt, ⁹ Fyns Amt, ¹⁰ Nordjyllands Amt
Serietitel og nummer:	Faglig rapport fra DMU nr. 392
Udgiver:	Miljøministeriet Danmarks Miljøundersøgelser©
URL:	http://www.dmu.dk
Udgivelsestidspunkt:	Marts 2002
Bedes citeret:	Krause-Jensen, D., Jensen, C., Nielsen, K., Petersen, M.F., Hansen, D.F., Laursen, M., Platz, E.M., Madsen, P.B., Bruntse, G., Rask, N., Larsen, S. & Hvas, E. 2002: Nærings-saltbegrænsning af makroalger i danske kystområder. Et samarbejdsprojekt mellem Ringkøbing Amt, Nordjyllands Amt, Viborg Amt, Århus Amt, Ribe Amt, Sønderjyllands Amt, Fyns Amt, Roskilde Universitetscenter og Danmarks Miljøundersøgelser. 114 s. - Faglig rapport fra DMU nr. 392. http://faglige-rapoorter.dmu.dk
	Gengivelse tilladt med tydelig kildeangivelse.
Sammenfatning:	Rapporten analyserer om kvælstof (N) og/eller fosfor (P) begrænser væksten af søsalat i 10 danske fjorde. Indikatorerne for næringssaltbegrænsning er vandets og søsalatens koncentrationer af N og P samt vækstofforsøg hvor søsalat er beriget med N og P hver for sig og i kombination. Resultaterne viste store forskelle i næringssaltbegrænsning mellem de 10 fjorde. P-begrænsning optrådte typisk i foråret og forsommeren. Midt på sommeren var søsalaten ofte begrænset af N og P samtidig, og effekterne af de to næringsalte forstærkede typisk hinanden. Sidst på sæsonen var algerne ikke næringsbegrænsede. Sammenligninger med tidligere undersøgelser viste, at P-begrænsning spiller større rolle nu end i 1980'erne og begyndelsen af 1990'erne hvilket afspejler de store reduktioner i tilførslen af P til kystområderne. Rapporten vurderer anvendeligheden af de forskellige indikatorer for næringsbegrænsning.
Emneord:	Søsalat (<i>Ulva lactuca</i>), kvælstof, fosfor, næringssaltbegrænsning, vækst, indikator, bioassay
Layout og korrektur:	Pia Nygaard Christensen
ISBN:	87-7772-666-9
ISSN elektronisk:	1600-0048
Internet-version:	Rapporten findes kun som PDF-fil på DMU's hjemmeside http://faglige-rapoorter.dmu.dk

Indhold

SAMMENFATNING	5
1 INTRODUKTION	7
1.1 BAGGRUND.....	7
1.2 FORMÅL.....	7
2 MATERIALER OG METODER	9
2.1 FELT- OG LABORATORIEARBEJDE	9
2.1.1 Gødningsforsøg	10
2.1.2 Indhold af N og P i søsalat	12
2.1.3 Støtteparametre	12
2.2 DATAANALYSER.....	13
2.2.1 Identifikation af næringssaltbegrænsning i de enkelte fjorde.....	13
2.2.2 Tværgående analyser.....	18
2.3 KVALITETSSIKRING	19
3 RESULTATER	21
3.1 SKIVE FJORD	21
3.1.1 Stationer	21
3.1.2 Vandprøver.....	21
3.1.3 N & P i algevæv.....	22
3.1.4 Gødningsforsøg.....	23
3.1.5 Tidligere undersøgelser.....	25
3.1.6 Sammenfatning.....	25
3.2 MARIAGER FJORD.....	26
3.2.1 Stationer	26
3.2.2 Uorganiske næringsalte i vandet	26
3.2.3 N & P i algevæv.....	27
3.2.4 Gødningsforsøg.....	29
3.2.5 Tidligere undersøgelser.....	31
3.2.6 Sammenfatning.....	31
3.3 NORSMINDE FJORD.....	32
3.3.1 Stationer	32
3.3.2 Uorganiske næringsalte i vandet	32
3.3.3 Indhold af N og P i uberiget algevæv.....	33
3.3.4 Gødningsforsøg.....	35
3.3.5 Tidligere undersøgelser.....	37
3.3.6 Sammenfatning.....	37
3.4 RINGKØBING FJORD.....	38
3.4.1 Stationer	38
3.4.2 Uorganiske næringsalte i vandet	39
3.4.3 Indhold af N og P i uberiget algevæv.....	40
3.4.4 Gødningsforsøg.....	40
3.4.5 Tidligere undersøgelser.....	42
3.4.6 Sammenfatning.....	43
3.5 NISSUM FJORD.....	44
3.5.1 Stationer	44
3.5.2 Indhold af N og P i uberiget algevæv.....	44
3.6 VADEHAVET	45
3.6.1 Stationer	45
3.6.2 Uorganiske næringsalte i vandet	45
3.6.3 Indhold af N og P i uberiget algevæv.....	46
3.6.4 Gødningsforsøg.....	49
3.6.5 Sammenfatning.....	50
3.7 GENNER BUGT.....	51
3.7.1 Stationer	51
3.7.2 Uorganiske næringsalte i vandet	51
3.7.3 Indhold af N og P i uberiget algevæv.....	52
3.7.4 Gødningsforsøg.....	53

3.7.5 Sammenfatning.....	55
3.8 HADERSLEV FJORD.....	55
3.8.1 Stationer	55
3.8.2 Uorganiske næringsalte i vandet	55
3.8.3 Indhold af N og P i uberiget algevæv.....	56
3.8.4 Gødningsforsøg.....	59
3.8.5 Sammenfatning.....	61
3.9 ODENSE FJORD.....	61
3.9.1 Stationer	61
3.9.2 Uorganiske næringsalte i vandet	61
3.9.3 Indhold af N og P i uberiget algevæv.....	61
3.9.4 Gødningsforsøg.....	64
3.9.5 Tidligere undersøgelser.....	65
3.9.6 Sammenfatning.....	66
3.10 ROSKILDE FJORD.....	67
3.10.1 Stationer	67
3.10.2 Uorganiske næringsalte i vandet	67
3.10.3 Indhold af N og P i uberiget algevæv.....	68
3.10.4 Gødningsforsøg.....	69
3.10.5 Sammenfatning.....	70
3.11 VELLERUP VIG.....	71
3.11.1 Stationer	71
3.11.2 Vandkemi.....	71
3.11.3 Indhold af N og P i uberiget algevæv.....	72
3.11.4 Gødningsforsøg.....	73
3.11.5 Sammenfatning.....	75
3.12 TVÆRGÅENDE ANALYSER.....	75
3.12.1 Vækstrater og indhold af N og P i alger og vand.....	75
3.12.2 Generelle mønstre for næringsbegrænsning vurderet ud fra gødningsforsøget	77
3.12.3 Vækstrater i relation til fysiske-kemiske variable i omgivelserne.....	78
3.12.4 Vækstrater i relation til algevevets næringsaltkoncentration.....	80
4 DISKUSSION	83
4.1 NÆRINGSSALTBEGRÆNSNING AF SØSALAT.....	83
4.2 NÆRINGSSALTBEGRÆNSNING AF SØSALAT FØR OG NU	84
4.3 INDIKATORER FOR NÆRINGSSALTBEGRÆNSNING – STYRKER OG SVAGHEDER	84
5 KONKLUSION	87
6 REFERENCER	89
BILAG.....	93
BILAG 1. TIDLIGERE MÅLINGER AF NÆRINGSSALTBEGRÆNSNING AF SØSALAT I DANSKE FARVANDE	93
BILAG 2. POSITIONER FOR PRØVETAGNINGSTATIONERNE.....	95
BILAG 3. OVERSIGT OVER INKUBATIONSPERIODER	97
BILAG 4. LYS, TEMPERATUR OG SALINITET I DE UNDERSØGTE FJORDE.....	99
BILAG 5. STATISTISK ANALYSE AF GØDNINGSEFFEKT PÅ TØRSTOF TILVÆKST....	105
BILAG 6. STATISTISK ANALYSE AF GØDNINGSEFFEKT PÅ AREAL TILVÆKST	107
BILAG 7. STATISTISK ANALYSE AF GØDNINGSEFFEKT PÅ N-OPTAGELSE	109
BILAG 8. STATISTISK ANALYSE AF GØDNINGSEFFEKT PÅ P-OPTAGELSE	111

Sammenfatning

Rapportens formål er at besvare spørgsmålene:

1. Begrænser kvælstof (N) og/eller fosfor (P) søsalatens vækst gennem året?
2. Udviser forskellige fjorde samme type næringssaltbegrænsning?
3. Er næringssaltbegrænsningen forandret i forhold til tidligere undersøgelser?
4. Hvilke indikatorer er bedst til at vurdere næringssaltbegrænsning?

Rapporten vurderer næringssaltbegrænsning af søsalat i 10 fjorde gennem vækstsæsonen vha. følgende indikatorer:

- Vandets koncentration af uorganisk N og P sammenholdt med mættende substratkoncentrationer for søsalatens vækst.
- Søsalatens koncentration af N og P sammenholdt med den "kritiske koncentration" og "minimumkoncentrationen" af N og P for vækst.
- N/P-forhold i søsalat.
- Vækst af søsalat efter berigning med N og P hver for sig og i kombination.

Undersøgelsen gav følgende svar på spørgsmål 1-4:

Ad spørgsmål 1

- Søsalaten var generelt begrænset af P i foråret og forsommeren.
- Midt på sommeren var søsalaten ofte begrænset af N og P samtidig, og effekterne af de to næringssalte forstærkede typisk hinanden.
- Sidst på sæsonen var algerne ikke næringsbegrænsede.

Ad spørgsmål 2

Der var store forskelle i næringssaltbegrænsning mellem fjordene:

- Skive Fjord, Ringkøbing Fjord og Mariager Fjord havde den længste periode med P-begrænsning.
- Kombineret N- og P-begrænsning var udbredt i Genner Bugt, Haderslev Fjord, Norsminde Fjord, Roskilde Fjord, Odense Fjord, og Vellerup Vig. I de tre sidstnævnte fjorde spillede N-begrænsning den største rolle. Søsalaten i Vadehavet var ikke næringssaltbegrænset.

Ad spørgsmål 3

- P-begrænsning af søsalat spiller større rolle nu end i 1980'erne og begyndelsen af 1990'erne hvilket afspejler de store reduktioner i tilførslen af P til kystområderne.

Ad spørgsmål 4

- Næringssaltkoncentrationer i vand og algevæv er nyttige støtteparametre i analysen af næringssaltbegrænsning, men kan ofte ikke stå alene. Oplysningerne om næringssaltkoncentrationer bekræfter ofte gødningsforsøgets resultater, men kan ikke vise om effekterne af berigning med N og P er uafhængige eller forstærker hinanden.

- Algevævet N/P-forhold var en dårlig indikator idet forholdet f.eks. kan indikere optimale næringssaltbetingelser selvom begge næringsalte optræder i begrænsende koncentrationer.
- Gødningsforsøg med tilsætning af N og P hver for sig og i kombination er den mest direkte metode til at vurdere næringssaltbegrænsning og er samtidig den eneste metode der viser, om effekterne af berigning med N og P er uafhængige eller forstærker hinanden. Gødningsforsøgene har dog den ulempe at der kan opstå en bur-effekt, hvis burenes netlukning tilstoppes af mikroalger.

1 Introduktion

1.1 Baggrund

Makroalger er vigtige primærproducenter i lavvandede kystnære områder. Øgede tilførsler af næringssalte til kystområderne har gennem en årrække fremmet produktionen af hurtigtvoksende, ustabile makroalger på bekostning af flerårige, mere stabile makroalgесamfund (Sand-Jensen & Borum 1991, Duarte 1995).

I forbindelse med planlægning af indgreb i næringsstofudledningen, er det nødvendigt at vide i hvor høj grad makroalgernes produktion er begrænset af hhv. kvælstof og fosfor.

Tidligere undersøgelser har vist, at kvælstof har været det mest begrænsende næringsstof for makroalgernes produktion i danske kystområder gennem størstedelen af vækstsæsonen (Pedersen & Borum 1996, samt referencer i Bilag 1). Udledningen af fosfor er imidlertid reduceret markant gennem de sidste 15 år som følge af en bedre spildevandsrensning. Det rejser spørgsmålet, om fosfor i større omfang end tidligere begrænser makroalgernes produktion.

1.2 Formål

Projektet skal besvare følgende spørgsmål:

- Begrænser kvælstof (N) og/eller fosfor (P) søsalatens vækst gennem året?
- udviser forskellige fjorde samme type næringssaltbegrænsning?
- Er næringssaltbegrænsningen forandret i forhold til tidligere undersøgelser?
- hvilke indikatorer er bedst til at vurdere næringssaltbegrænsning?

[Tom side]

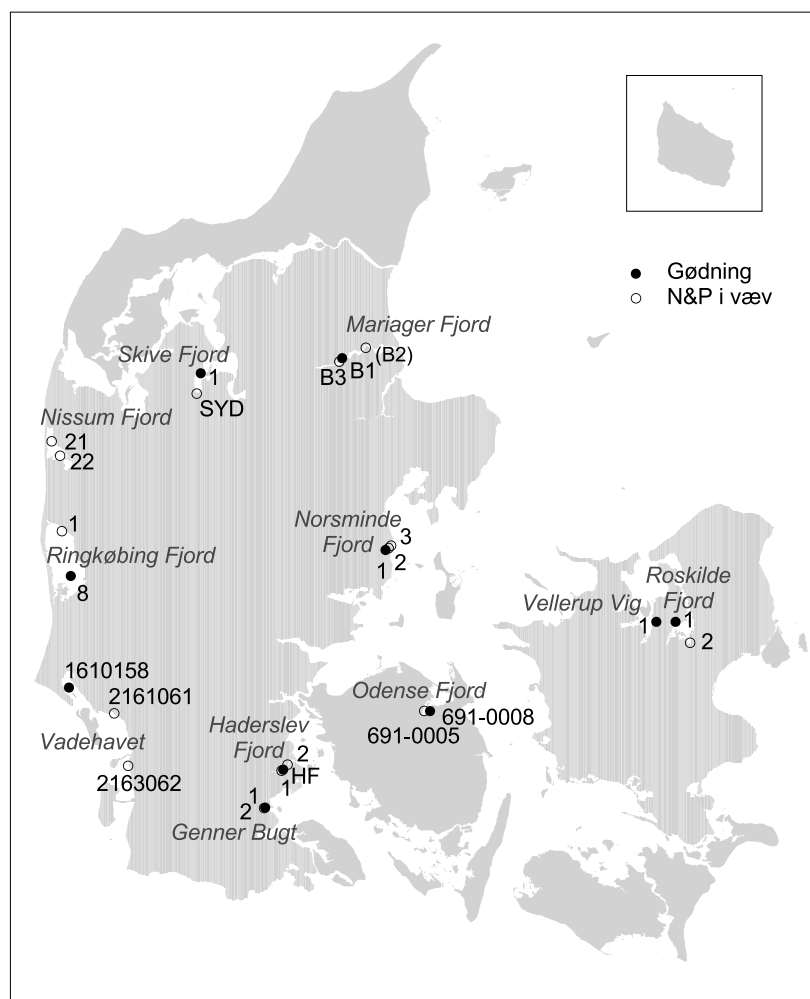
2 Materialer og metoder

2.1 Felt- og laboratoriearbejde

Undersøgelsen omfatter 10 fjorde fordelt i Danmark (Figur 2.1, Bilag 2 og 3). I hver fjord er der gennemført følgende program:

- Gødningsforsøg med søsalat på 1 station i inderfjorden. Hvis der tidligere er foretaget bioassays i fjorden, er samme station benyttet igen, ellers er der valgt en ny station beliggende ca. 1/3 fra åudløbet.
- Analyser af N og P i søsalat på stationen med gødningsforsøget samt på 1-2 ekstra stationer fordelt i fjorden.
- Vandkemiske og fysiske analyser på stationen med gødningsforsøget: uorganiske næringssalte, lysforhold, temperatur og salinitet.

Tabel 2.1 viser en samlet oversigt over prøvetagningsprogrammet, og i det følgende beskrives programmet i detaljer. Søsalatens vækst startede relativt sent i de fleste fjorde, og det er årsagen til, at der kun er få målinger fra forårsperioden.



Figur 2.1. Oversigt over fjorde og stationer, som indgår i undersøgelsen. Sorte cirkler markerer stationer, hvor der er foretaget gødningsforsøg med søsalat og målt indhold af N og P i søsalat og vand. Tomme cirkler markerer stationer, hvor der er udelukkende målt indhold af N og P i søsalat.

Table 2.1. Oversigt over prøvetagningsprogram. 'X' repræsenterer prøvetagninger i 2000, mens 'Y' repræsenterer prøvetagninger i 2001. Parentes indikerer, at der kun er få prøver (1-2 fra stationen).

Institution	Fjord	Stationer	Apr	Maj	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt
		Gødningsforsøg							
		N & P i søsalat							
Viborg Amt	Skive fjord	1							
Nordjyl. Amt	Mariager fjord	B1							
Århus Amt	Norsminde fjord	1							
Ringkøbing Amt	Ringkøbing fjord	8							
Ringkøbing Amt	Nissum Fjord								
Ribe Amt	Vadehavet	1610158							
Sønderjyl. Amt	Genner bugt	1							
Sønderjyl. Amt	Haderslev fjord	HF							
Fyns Amt	Odense fjord	691-0008							
RUC	Roskilde fjord	1							
RUC	Vellerup vig	1							

2.1.1 Gødningsforsøg

Søsalat (*Ulva lactuca*) blev benyttet som forsøgsorganisme. Algen blev inkuberet *in situ* i bure, hvor der var tilsat henholdsvis kvælstof (+N), fosfor (+P) eller begge næringssalte i kombination (+NP). Forsøget omfattede også kontroller, hvor der ikke var tilsat næringssalte (0). Næringssaltene blev tilsat som mættede opløsninger af hhv. NH_4Cl og KHPO_4 , der var blandet op i en 3% agar i små plasticvials, som passede til det enkelte vækstforsøg. Hver behandling omfattede 4 replikater. Inkubationerne blev gennemført i cylindriske pleksiglasbure, som hang fra overfladebøjer i en fast dybde ca. ½ m under vandoverfladen (Figur 2.2). Burenes ender blev lukket med net (maskestørrelse 1 mm) så tilgangen af græssere blev begrænset samtidig med at vandgennemstrømning i burene blev sikret. Metoden er tidligere benyttet af bl.a. Pedersen (1995) og Pedersen og Borum (1996 og 1997).

Søsalat til eksperimenterne blev som udgangspunkt indsamlet på den station, hvor vækstforsøget blev udført. I enkelte tilfælde blev forsøgsmaterialet til gødningsforsøgene dog indsamlet i et nærliggende område da egnet materiale manglede på forsøgsstationen. Når søsalat forekom som tykke måtter, blev et ensartet algemateriale indsamlet fra mättens overflade.

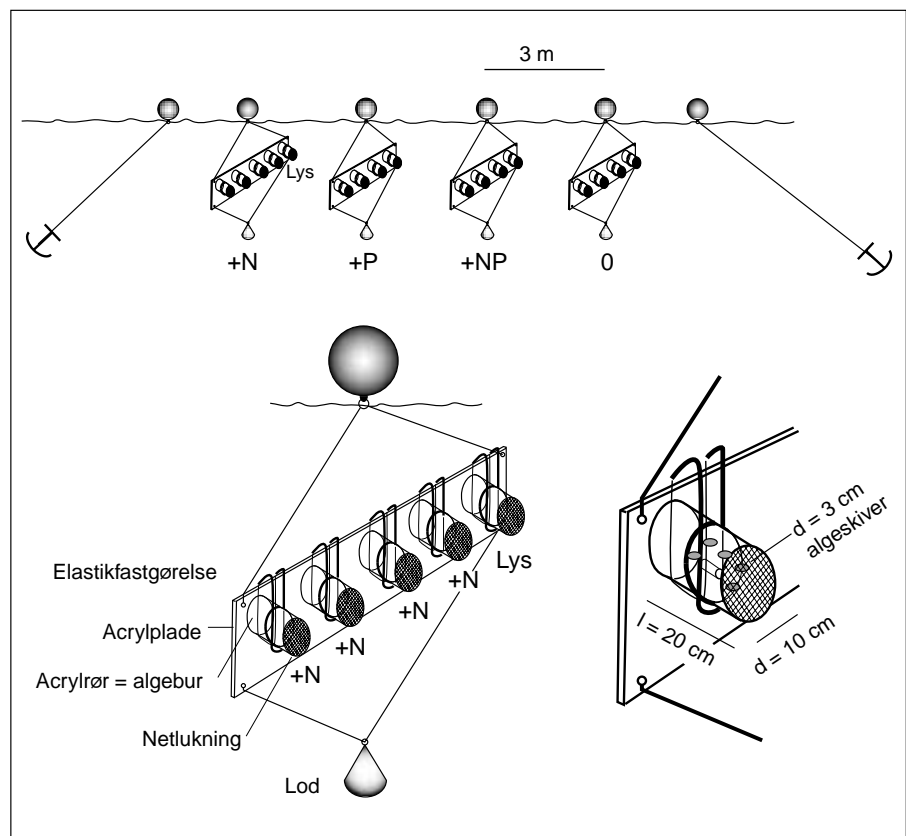
Den indsamlede søsalat blev placeret i en plasticbakke med havvand, og ca. 100 skiver blev standset ud af vævet med et korkbor (3,2 cm i diameter). Fem tilfældigt valgte skiver blev placeret i hvert af 16 prøveglasser med vand, og efterfølgende overført til inkubationsburene således at hver behandling (dvs. 0, +N, +P og +NP) bestod af 4 sande replikater, hver med 5 delprøver (algeskiver). Tyve tilfældigt udvalgte skiver blev endvidere placeret i lynlås-plasticposer med 5 stk. i hver. Disse "initialprøver" blev opbevaret i en køletaske og frosset ned ved ankomsten til laboratoriet.

Algerne blev inkuberet *in situ* i 4-8 dage afhængigt af vækstraten. I april, maj og oktober var inkubationsperioden typisk 6-8 dage, mens den i juni, juli, august og september var ca. 4-6 dage. Der blev foretaget op til 8 serier af vækstmålinger i perioden april-oktober 2000 og 2001 (Tabel 2.1, Bilag 3).

Efter hver inkubationsperiode blev forsøgsopstillingen hentet i land, og algerne fra de enkelte bure blev overført til mærkede prøveglas med havvand. I laboratoriet blev algerne skyllet i havvand og eventuelle epifytter fjernet fra algernes overflade. Herefter blev algeskiverne fra hver enkelt behandling lagt i mærkede plasticchanteques og fotokopieret (1:1) sammen med en kontrolskive, der havde propborets størrelse (3,2 cm i diameter). Herefter blev algerne overført til mærkede lynlåsposer og frosset ned. Hvis en algeskive var sporuleret (sporulerede algeskiver er gennemsigtige og pergamentagtige) under forsøgsperioden, blev den udeladt af analysen.

De frosne algeprøver blev frysetørret til konstant vægt og herefter vejte. Det tørrede algevæv blev findelt, og indholdet af total-N blev analyseret på TCD-analysator (Roboprep-C/N med TCD detektor). Indholdet af total-P i det tørrede og findelte algevæv blev analyseret ved syredestruktion og efterfølgende kolorimetrisk analyse (Dansk Standard DS 291 og Koroleff (1983)).

Algernes tilvækst i areal og i biomasse (tørvægt) og algernes indhold af næringssalte i vævet efter inkubationerne blev benyttet som responsparametre for de enkelte behandlinger.



Figur 2.2. Skitse af vækstforsøgets opsætning. Algeburene blev placeret i acrylholdere som var fastgjort i en overfladebøjle og hang ½ meter under vandoverfladen. Der var 4 algebure pr. holder svarende til 4 replikater af hver af behandlingerne: 0, +N, +P samt +NP. I én af holderne var der placeret et ekstra bur med en lys sensor, som registrerede lysindstrålingen gennem udsætningsperioden.

2.1.2 Indhold af N og P i søsalat

Indsamling af umanipuleret søsalat til måling af N og P i vævet blev som udgangspunkt foretaget i forbindelse med opsætning og afslutning af gødningsforsøgene. Disse indsamlinger blev foretaget på 1-2 andre stationer end den station hvor gødningsforsøgene blev udført.

Et ensartet materiale af søsalat blev indsamlet som beskrevet under gødningsforsøget. Søsalaten blev placeret i en plasticbakke med havvand, og 40 skiver blev standset ud med et propbor (3,2 cm i diameter). Skiverne blev rensset for eventuelle epifyter og fordelt i 4 lynlåsposer med 10 stk. i hver. Prøverne blev opbevaret i en køletaske og frosset ned ved ankomsten til laboratoriet.

Søsalaten blev frysetørret og analyseret for indhold af total-N og total-P i vævet som beskrevet under gødningsforsøget.

2.1.3 Støtteparametre

Næringssalte

Vandprøver til analyse af opløst orthofosfat, nitrit+nitrat, ammonium og urea blev indsamlet på forsøgsstationerne i forbindelse med opstart og afslutning af gødningseksperimenterne.

Tre parallelle vandprøver (50 ml) blev udtaget fra ½ meters dybde med en rengjort, syreskyllet glas- eller plasticsprøjte. Et glasfiberfilter (Whatman GF/C) i Swinnex filterholder blev derefter monteret på sprøjten, og ca. 10 ml vand blev skyllet gennem filteret, inden resten af vandet blev fordelt på 4 reagensglas til analyser af hhv. orthofosfat, nitrat+nitrit, ammonium og urea.

Orthofosfatprøverne blev konserveret i felten ved at tilsætte 25 µl 4 M svovlsyre (ca. 2 dråber) pr. 10 ml vandprøve og prøverne blev derefter opbevaret i køleskab ved 4 °C. De øvrige prøver blev konserveret hurtigst muligt ved dybfrysning. Fosfat-analysen var modificeret efter Dansk Standard DS 291 og Koroleff (1983).

Nitrat-analysen fulgte Braman & Handrix (1989), mens ammonium-analysen var modificeret efter Dansk Standard DS 224 (1975) og Bower & Holm-Hansen (1980). Urea-analysen fulgte metoden beskrevet i Price & Harrison (1987).

Temperatur

Ved opstart og afslutning af hver vækstmåling blev vandtemperaturen målt i ½ meters dybde. Temperaturmålinger fremgår af Bilag 4.

Lys

Under gødningsforsøgets inkubationer blev lysindstrålingen målt kontinuert. En lyslogger (2K HOBO light intensity logger "HLI" (0.01-10.000 Lumens/sq ft)) blev monteret i et selvstændigt bur, svarende til algeburene så målingerne kunne repræsentere situationen i burene (se Figur 2.2). Lysloggeren blev monteret i et vandtæt gennemsigtigt plastichylster. Lysmålinger fremgår af Bilag 4.

Salinitet

Saliniteten blev målt i forbindelse med opstart og afslutning af gødningsforsøget. I enkelte tilfælde stammer data fra nærliggende vandkemistationer. Salinitetsmålinger fremgår af Bilag 4.

2.2 Dataanalyser

2.2.1 Identifikation af næringssaltbegrænsning i de enkelte fjorde

Undersøgelsen havde til formål at teste om algernes vækst periodevis var begrænset af N, P eller eventuelt begge næringssalte. I alt fire forskellige indikatorer blev anvendt i kombination for at identificere omfanget og typen af næringssaltbegrænsning hos søsalat i danske fjordsystemer:

- koncentrationer af N & P i vandet
- koncentrationer af N & P i algevæv
- N/P-forhold i algevæv
- vækstrespons på tilsætning af gødning

For hver af de involverede fjorde er de enkelte indikatorer analyseret over sæsonen efter de nedenfor angivne metoder.

Koncentrationer af N og P i vandet

De fleste makroalger, herunder søsalat og andre hurtigt-voksende arter, er i stand til effektivt at optage næringssalte fra vandet selv ved meget lave koncentrationer. Optagelseshastigheden af næringssalte afhænger som udgangspunkt af de koncentrationer hvormed stofferne findes i vandet. Sammenhængen mellem optagelseshastighed (V) og koncentration (S) beskrives ofte ved hjælp af Michaelis-Menten funktionen:

$$V = V_{\max} \times S / (k_m + S)$$

hvor V_{\max} er den maksimale optagelseshastighed og k_m er halvmætningskonstanten (dvs. den koncentration hvor $V = 0.5 V_{\max}$). En oversigt over halvmætningskonstanter hos en række hurtigt-voksende grønalger er angivet i Tabel 2.2.

Halvmætningskonstanterne for optagelse af næringsstoffer i Tabel 2.2 viser, at de fleste alger kræver relativt høje koncentrationer for at kunne optage næringsstoffer ved maksimal hastighed, hvilket kunne antyde at algernes vækst er begrænset af mangel på næringssalte i store dele af sæsonen. Denne konklusion kræver imidlertid at der er en direkte kobling mellem optagelse af næringssalte og vækst, hvilket ikke er tilfældet, idet algernes optagelseskapacitet ofte langt overstiger deres behov for næringssalte. En sammenligning mellem algernes k_m -værdier og koncentrationen af næringssalte er derfor i sig selv ikke særlig informativ.

Tabel 2.2. Halvmætningskonstanter (k_m) for optagelse af uorganiske næringsalte i hurtigtvoksende grønalger.

Næringsalt	Art	K_m (μM)	Kommentarer	Reference
NH_4^+	<i>Ulva lactuca</i>	41	N-mættede	Fujita 1985
		15	N-sultede	
	<i>Ulva lactuca</i>	5,2	N-mættede	Cohen & Neori 1991
	<i>Ulva lactuca</i>	21,4	N-sultede	Pedersen og Borum 1997
		5,9	N-mættede	
	<i>Ulva curvata</i>	14		Rosenberg 1981
	<i>Cladophora albida</i>	21±11		Gordon et al. 1981
	<i>Cladophora sp.</i>	17-42	Range (oktober-juli)	Lohman & Priscu 1992
	<i>Cladophora sericea</i>	12,5	N-sultede	Pedersen og Borum 1997
		4,6	N-mættede	
NO_3^-	<i>Chaetomorpha linum</i>	12,9	N-sultede	Pedersen og Borum 1997
		3,4	N-mættede	
	<i>Ulva lactuca</i>	4,5		Pedersen og Borum 1997
	<i>Ulva rigida</i>	18		Lavery & McComb 1991
	<i>Cladophora albida</i>	1,4±0,7		Gordon et al. 1981
	<i>Cladophora sp.</i>	7-15	Range (oktober-september)	Lohman & Priscu 1992
PO_4^{3-}	<i>Cladophora sericea</i>	4,9		Pedersen og Borum 1997
	<i>Chaetomorpha linum</i>	3		Pedersen og Borum 1997
	<i>Ulva lactuca</i>	5,6		Pedersen, upublicerede data
	<i>Ulva rigida</i>	3,2		Lavery & McComb 1991
	<i>Cladophora sp.</i>	0,4-2,5	Range (juli-december)	Lohman & Priscu 1992
	<i>Chaetomorpha linum</i>	9,2		Lavery & McComb 1991

I stedet kan man se på sammenhængen mellem koncentrationer af næringsalte i vandet og algernes vækst. Forudsat at algerne ikke er i stand til at akkumulere ("oplagre") næringsalte i perioder med høj tilgængelighed af næringsstoffer og lav vækst, kan sammenhængen mellem vækst (μ) og næringskoncentrationer (S) også beskrives ved hjælp af Michaelis-Menten funktionen:

$$\mu = \mu_{\max} \times S / (k_{\mu} + S)$$

hvor μ_{\max} er den maksimale væksthastighed og k_{μ} er halvmætningskonstanten for vækst (dvs. den koncentration hvor $\mu = 0.5 \mu_{\max}$). Sammenhængen mellem væksthastighed og koncentration af næringsalte kan fastlægges eksperimentelt (f.eks. Pedersen og Borum 1997). Sådanne eksperimenter giver blandt andet mulighed for at beregne den substratkoncentration (S_{sat}), der skal til for at opnå 90% af den maksimale vækstrate (Tabel 2.3).

Tabel 2.3. Estimer af maksimal vækstrate (μ_{\max}), halvmætningskonstanten for vækst (k_{μ}) og den mættende substratkoncentration (S_{sat}), som er den koncentration, der skal til for at opnå 90% af den maksimale vækstrate. Resultaterne repræsenterer hurtigtvoksende grønalger under steady-state betingelser. Kvælstof data er fra Pedersen og Borum 1997 mens P-data er upublicerede data af Pedersen.

Art	μ_{\max} (% per dag)	k_{μ} (μM)	S_{sat} (μM)
Ammonium:			
<i>Ulva lactuca</i>	45,2	0,75	6,71
<i>Chaetomorpha linum</i>	14,2	0,11	1,00
<i>Cladophora sericea</i>	20,8	0,36	3,28
Nitrat:			
<i>Ulva lactuca</i>	34,9	1,45	13,02
<i>Chaetomorpha linum</i>	13,9	0,13	1,18
<i>Cladophora sericea</i>	18,8	0,83	7,45
Fosfat:			
<i>Ulva lactuca</i>	61,9	0,60	1,12

Af Tabel 2.3 ses det at søsalats vækst må forventes at være N-begrænset når koncentrationen af ammonium er lavere end $6,7 \mu\text{M}$ eller når koncentrationen af nitrat er lavere end $13,0 \mu\text{M}$. Ved samtidig tilstedeværelse af både ammonium og nitrat i vandet kan grænseværdien for ammonium benyttes, idet tilstedeværelse af ammonium lader til at hæmme optagelsen af nitrat hos mange alger (hvis nitratkoncentrationen er væsentligt højere end den begrænsede koncentration er det dog usandsynligt at kvælstof begrænser væksten). Af tabellen fremgår det endvidere, at fosfor potentielt er begrænsende for søsalats vækst når koncentrationen er lavere end ca. $1 \mu\text{M}$. Det har ikke været muligt at skaffe tilsvarende oplysninger om søsalats vækst som funktion af ureakoncentrationen. Data om urea kan derfor kun bidrage med information om koncentrationsniveauet.

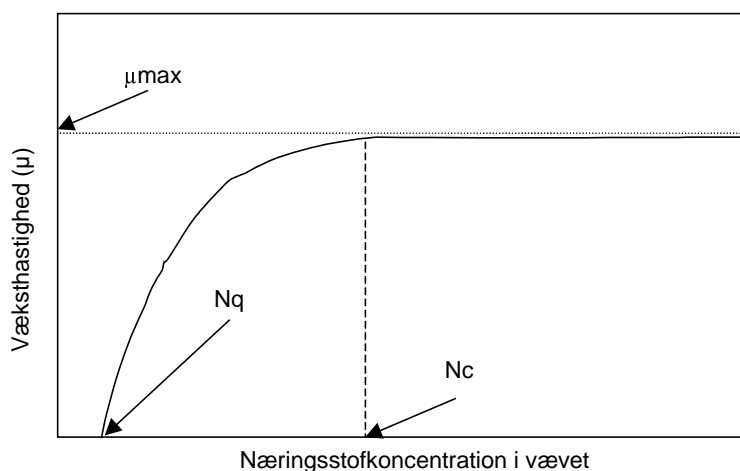
Det er vigtigt at huske, at disse "grænseværdier" forudsætter at algerne ikke har oplagret næringsstoffer der tillader dem at fortsætte maksimal vækst selvom tilgængeligheden i omgivelserne er lave.

Koncentrationer af N og P i algevæv

Da alle alger der er undersøgt til dato er i stand til at oplagre næringsstoffer, afhænger algernes vækst i højere grad af algevævet indhold af N og P end af koncentrationerne i omgivelserne uden for algen. Sammenhængen mellem væksthastighed (μ) og algevævet koncentrationer af essentielle næringsalte (N) er vist på Figur 2.3 og kan beskrives ved hjælp af en Droop funktion:

$$\mu = \mu_{\max} \times (1 - (N_q/N))$$

hvor μ_{\max} er algens maksimale væksthastighed og N_q er algens "minimumkoncentration" for det pågældende næringsalt. En alge skal have en vis "minimumkoncentration" af et givet næringsstof (f.eks. kvælstof (N_q) eller fosfor (P_q)) for overhovedet at kunne vokse. Vækstraten stiger med stigende indhold af næringsalte i vævet, indtil den maksimale vækstrate nås. Den mindste næringsaltkoncentration der skal til for at opretholde maksimal vækstrate kaldes den "kritiske koncentration" og benævnes N_c og P_c for henholdsvis kvælstof og fosfor.



Figur 2.3. Sammenhængen mellem en alges vækst og dens indhold af næringsalte i vævet. Figuren angiver den kritiske vævskoncentration (N_c) og minimumkoncentration (N_q) for kvælstof i algevævet. Den kritiske koncentration (P_c) og minimumkoncentration (P_q) for fosfor fastlægges på tilsvarende vis.

Koncentrationerne af N og P i kontrolprøverne fra gødningsforsøget og i vævsprøverne fra de øvrige stationer repræsenterer algernes naturlige indhold af næringssalte på de pågældende lokaliteter over sæsonen. Sammenligninger af disse N og P vævskoncentrationer med de fastlagte værdier for minimumskoncentrationer og kritiske koncentrationer indikerer om kvælstof eller fosfor begrænser algernes vækst.

En oversigt over eksisterende data for minimumskoncentrationer og kritiske koncentrationer for N og P i søsalat og i andre hurtigtvoksende grønalger findes i Tabel 2.4. Det er tydeligt at både minimumskoncentrationer og kritiske koncentrationer varierer betragteligt imellem arterne, hvilket sandsynligvis skyldes genetiske forskelle. Yderligere ses der også en markant variation indenfor den enkelte art. Årsagen til den store intra-specifikke variation i disse grænseværdier kendes ikke, men skyldes sandsynligvis at samspillet med andre vækstfaktorer (f.eks. lys, temperatur, tilgængeligheden af andre næringsstoffer) påvirker fastlæggelsen af grænserne.

Med udgangspunkt i de eksisterende data antages det, at væksten hos søsalat er N-begrænset når kvælstofkoncentrationen i vævet falder til under ca. 2,2% af TV, og at væksten stopper, når koncentrationen er under ca. 0,7% af TV. Tilsvarende antager vi, at væksten hos søsalat er P-begrænset, når fosforkoncentrationen i algevævet kommer under 0,14% af TV og at væksten stopper, når koncentrationen er under 0,06% af TV (Tabel 2.4).

Tabel 2.4. Minimumkoncentrationer for kvælstof (N_q) og fosfor (P_q) og kritiske koncentrationer for kvælstof (N_c) og fosfor (P_c) for en række hurtigtvoksende grønalger. Enheden er % af tørvægt (TV).

Art	N_q	N_c	P_q	P_c	Reference
<i>Ulva lactuca</i>	0,71	2,17			Pedersen & Borum 1996
			0,06	0,14	Pedersen, upublicerede data
<i>Ulva rigida</i>		2,0		0,03	Lavery & McComb 1991
<i>Ulva rigida</i>	1,2	2,4 -3			Fujita et al. 1989
<i>Ulva sp.</i>	1,57	2,75			Cambell 2000
<i>Cladophora sp.</i>		1,2-1,5		0,16	Wong & Clark 1976
<i>Cladophora albida</i>	1,2	2,1	0,05	0,33	Gordon et al. 1981
<i>Cladophora sericea</i>	0,68	2,05			Pedersen & Borum 1996
<i>Chaetomorpha linum</i>		1,2		0,05	Lavery & McComb 1991
<i>Chaetomorpha linum</i>	0,38	1,15			Pedersen 1994 (spec. rapport)

N/P-forhold i algevæv

Forholdet mellem koncentrationerne af N og P i algevæv kan også indikere, om algerne er begrænsede af det ene eller det andet næringssalt. Vi følger her de grænseværdier for N/P-forhold (vægtbasis) i *Ulva fenestra* som blev publiceret af Björnsäter og Weeler i 1990:

$N/P < 7$: antyder N-begrænsning

$7 < N/P < 11$: antyder optimale næringsforhold

$N/P > 11$: antyder P-begrænsning

Disse grænseværdier udgør dog en væsentlig svagere indikator for næringssaltbegrænsning end de absolutte målinger af N og P i vævet, idet der eksempelvis kan forekomme situationer, hvor N/P-forholdet

i vævet indikerer optimale næringssaltbetingelser, selvom begge næringssalte optræder i begrænsende koncentrationer i vævet. Ligeledes kan forhold der antyder at N eller P er begrænsende optræde i væv hvor begge næringssalte er til stede i overskud.

Vækstrespons på tilsætning af gødning

Eksperimenter hvor man manipulerer med mængden af essentielle næringssalte udgør den mest direkte måde at vurdere næringssaltbegrænsning på. Vækstresponset hos alger, der var berigede med henholdsvis N, P eller både N og P blev sammenlignet med kontroller, der ikke var berigede.

Algernes vækstrate (μ) blev beregnet som tilvækst i henholdsvis areal og biomasse under antagelse af at tilvæksten var eksponentiel:

$$\mu = (\ln B_t - \ln B_0) / t,$$

hvor B_0 og B_t henholdsvis repræsenterer arealet eller biomassen ved inkubationens start og slutning, og t repræsenterer inkubationstiden. En vækstrate på eksempelvis $0,15 \text{ dag}^{-1}$ svarer til ca. 15% TV tilvækst pr. dag. Alle vækstrater er angivet i % pr. dag ud fra denne simple approximation. Vækstraten kan også udtrykkes som fordoblingstid (T , i dage):

$$T = \ln 2 / \mu$$

Rapporten præsenterer algernes vækst udtrykt i både biomasse og areal men fokuserer på biomassetilvæksten, som er det mest direkte mål for vækst. Ud fra målingerne af algernes biomassetilvækst og algevævet koncentration af N og P ved gødningsforsøgenes opstart (N_0 & P_0) og afslutning (N_t & P_t) beregnede vi ligeledes algernes optagelsesrate for N (N_{opt}) og P (P_{opt}) for dermed at vurdere om berigingen med næringssalte havde virket:

$$N_{opt} = (\ln(B_t * N_t) - \ln(B_0 * N_0)) / t,$$

Optagelsesraten for fosfor blev beregnet på tilsvarende måde.

For hver undersøgelsesperiode blev effekten af behandlingen analyseret ved hjælp af 2-faktor variansanalyse under antagelse af, at data var normalfordelte og at middelværdien afhang af behandlingen:

$$y_{ijk} = \mu_{ij} + e_{k(ij)}$$

$$\text{hvor } \mu_{ij} = \mu + N_i + P_j + NP_{ij} \quad i, j = "0", "+" ; k = 1, \dots, 4$$

hvor

$$N_i = \begin{cases} N_0 & \text{ingen N - behandling} \\ N_+ & \text{N - behandling} \end{cases}$$

$$P_j = \begin{cases} P_0 & \text{ingen P - behandling} \\ P_+ & \text{P - behandling} \end{cases}$$

k er gentagelserne

Bartlett's test blev brugt til at teste om varianserne var ens i de fire grupper.

Først testede vi hypotesen om additivitet af effekten af N og af effekten af P, dvs.

$$H_1 = \mu_{ij} = \mu + N_i + P_j$$

H_1 blev testet for ingen interaktion vha. F-test. Hvis H_1 forkastes ($p < 0,05$) er der interaktion, dvs. at effekterne af N og P enten forstærker hinanden (synergieffekt), eller svækker hinanden (antagonieffekt). I disse tilfælde sammenlignes hver af de tre behandlinger N_+ , P_+ og NP_{++} med kontrollen NP_{00} i et én-sidet test, hvor vi kun forkaster hypotesen om ingen behandlingseffekt, hvis effekten af behandlingen er positiv. Korrektion for multiple sammenligninger (3) sker vha. Bonferroni's metode, dvs. signifikantniveauet i de tre parvise sammenligninger sættes til $5\%/3 \sim 2\%$.

Hvis H_1 accepteres, undersøges om effekten af henholdsvis N og P er statistisk signifikant. Igen benytter vi et én-sidet test, hvor vi kun accepterer en positiv effekt som værende signifikant. Her benyttes signifikans-niveauet på 5%, da der kun er én sammenligning.

Analyserne blev foretaget for både algernes tørstoffilvækst og deres arealtilvækst, men vi fokuserer på tørstoffilvæksten, som generelt er det bedste mål for vækst. Tilsvarende analyser blev foretaget for algernes optagelsesrater for N og P.

2.2.2. Tværgående analyser

Størrelsesordenerne af vækstrater, næringsindhold af uberigede alger samt vandets næringsindhold gennem sæsonen blev illustreret for de enkelte fjorde vha. box- og -whiskers plots.

Herudover sammenstillede vi resultaterne af gødningsforsøgene for samtlige fjorde med henblik på at vurdere forskelle og ligheder i næringssaltbegrænsning mellem områderne.

Sammenhænge mellem vækstrate og fysisk-kemiske variable blev indledningsvist vurderet vha. korrelationsanalyse. Herefter analyserede vi vækstraterne som funktion af vandets koncentration af uorganisk N og P. Den teoretiske Michaelis-Menten funktion blev estimeret ved hjælp af ikke-lineær regression. Estimationen af parametrene μ_{\max} og k_{μ} foregik ved den iterative Marquardt-metode. Endelig analyserede vi søsalatens vækstrate som funktion af indholdet af hhv. N og P i algevævet samt N/P-forholdet i algevævet for det samlede datasæt fra gødningsforsøget. Vækstraten som funktion af N, udtrykt ved Droop-funktionen blev estimeret ved hjælp af kvantil-regression. Dels blev 95% kvantilen estimeret for hele materialet og dels blev mediankurven estimeret for de tre lysgrupper: 1) lys < 50, 2) lys mellem 50 og 125 og 3) lys > 125. Kurven, der beskriver 95% fraktilen kan fortolkes som potentialet for vækstraten. Gennem disse analyser ønskede vi at teste, om sammenhængene mellem vækstrater og algevævet og vandets koncentration af næringssalte *in situ* matcher de sammenhænge, der er fundet gennem laboratorieforsøg (jvf. afsnit 2.2.1.).

2.3 Kvalitetssikring

Da projektet har involveret mange institutioner har det været vigtigt at sikre, at prøvetagning og analyser blev foretaget ensartet. Derfor blev alle metoder før projektets opstart beskrevet i en detaljeret metodehåndbog, alle benyttede ensartet prøvetagningsudstyr, og alle analyser blev gennemført på samme laboratorium.

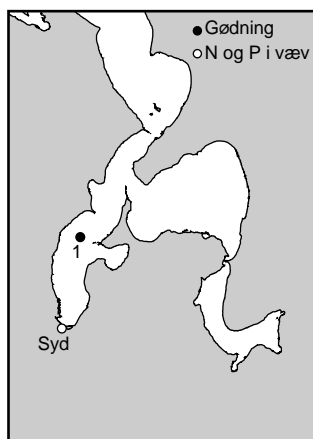
[Tom side]

3 Resultater

3.1 Skive Fjord

3.1.1 Stationer

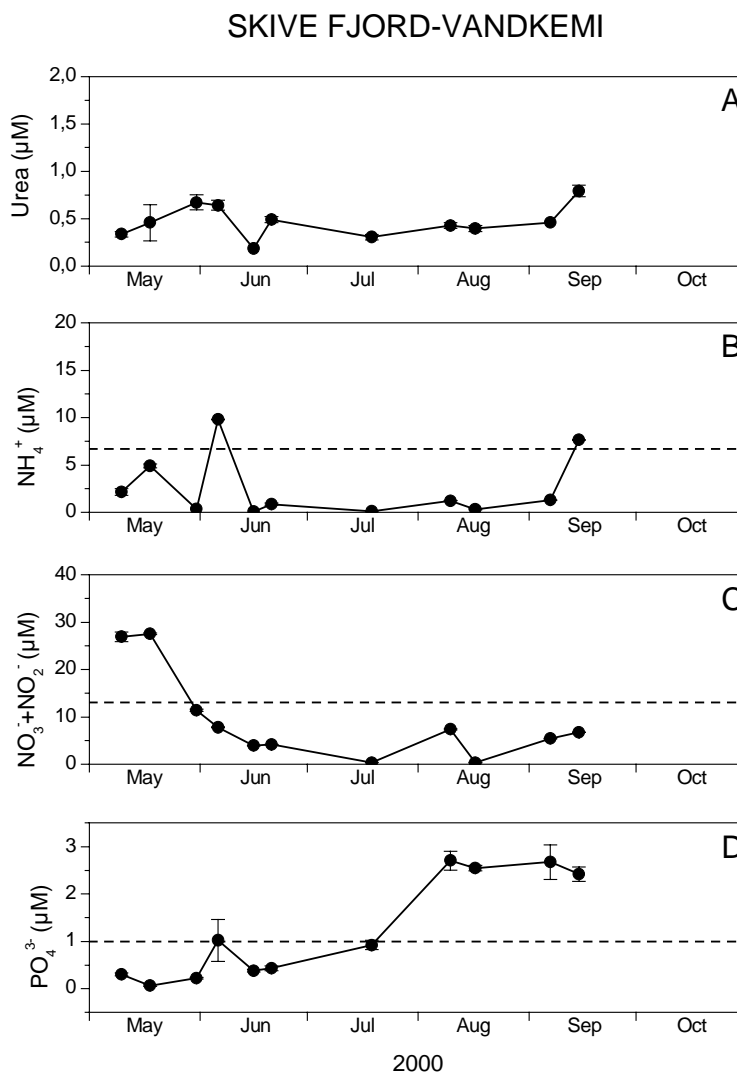
Gødningsforsøget samt de vandkemiske/fysiske målinger foregik på st. 1, langt fra kysten, hvor vanddybden var 5 m, og hvor der ikke var naturlige forekomster af søsalat (Figur 3.1.1). Søsalaten til gødningsforsøget blev derfor indsamlet på St. Syd, der lå på lavt vand (0,2-0,4m) tæt ved kysten.



Figur 3.1.1. Stationsplaceringer i Skive Fjord.

3.1.2 Vandprøver

Koncentrationen af urea var relativt lav ($<1\mu\text{M}$) gennem hele sæsonen (Figur 3.1.2).



Figur 3.1.2. Koncentrationen af urea (A), NH_4^+ (B), $\text{NO}_3^- + \text{NO}_2^-$ (C) og PO_4^{3-} (D) i vandet omkring gødningsforsøget. Data er gennemsnit af 3 delprøver per indsamling. Error bars viser standard error. De stiplede linier angiver formodede begrænsende substrat koncentrationer.

Koncentrationen af uorganisk N var høj og mættende for algernes vækst frem til begyndelsen af juni. Fra midt i juni til først i september var koncentrationen af uorganisk N relativt lav og potentielt begrænsende for produktionen. I september steg koncentrationen igen (Figur 3.1.2b og c).

Koncentrationen af fosfat var lav og potentielt begrænsende for væksten frem til midt i juli ($<1\mu\text{M}$). I august og september var koncentrationen steget til knap $2,5\text{-}3\mu\text{M}$ og var ikke længere begrænsende (Figur 3.1.2d).

3.1.3 N & P i algevæv

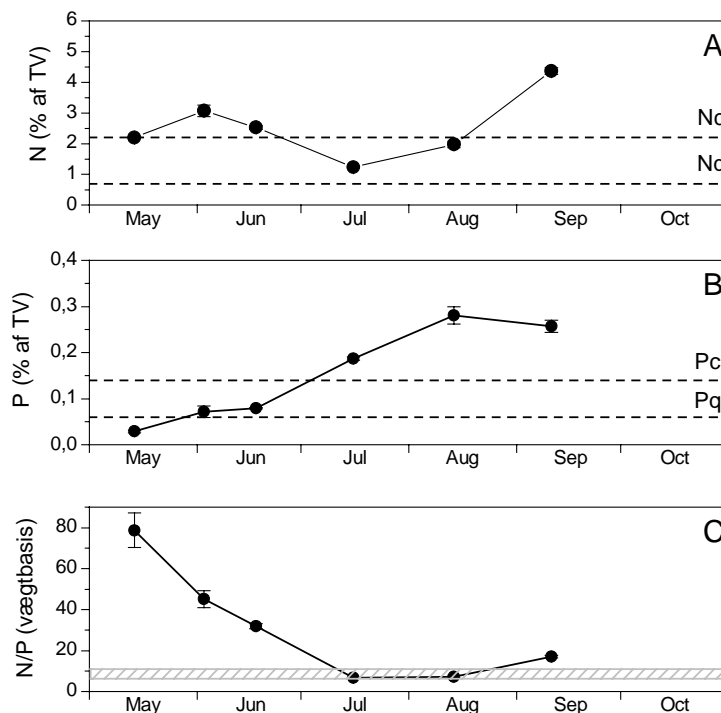
St. 1

På st. 1, hvor gødningsforsøget foregik, lå algevævet kvælstofindhold over den kritiske koncentration i maj og juni, men faldt til potentielt begrænsende koncentrationer i juli og tildels i august. I september toppede N-indholdet med over 4 % af TV (Figur 3.1.3a).

P-indholdet var ekstremt lavt midt i maj og potentielt begrænsende frem til midt i juni. Herefter steg P-indholdet til maksimale værdier i august og september (Figur 3.1.3b).

Det ekstremt lave P-indhold og relativt høje N-indhold i algerne i maj resulterede i N/P-forhold omkring 80, som stærkt indikerede P-begrænsning. N/P-forholdet faldt støt til et minimum i juli og august på under 10. I september steg N/P-forholdet svagt og indikerede igen P-begrænsning (Figur 3.1.3c).

SKIVE FJORD-ALGEVÆV (ST. 1)



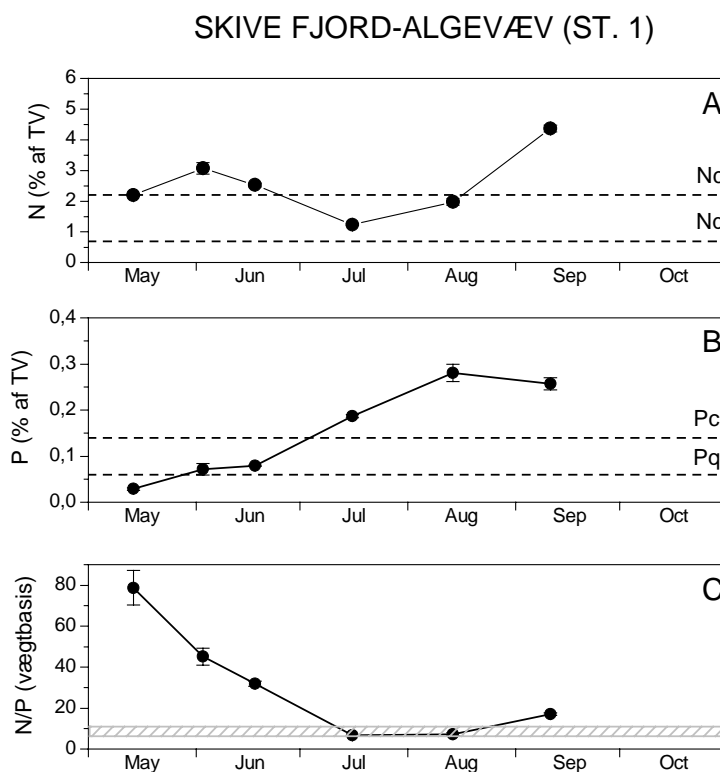
Figur 3.1.3. Indhold af kvælstof (a) og fosfor (b) samt N/P-forhold (c) i uberiget søsalat. Data repræsenterer uberigede kontrolprøver efter afslutning af gødningsforsøget. Data er gennemsnit af 4 delprøver per indsamling. Error bars viser standard error. Formodede kritiske koncentrationer (Nc og Pc) og minimumkoncentrationer (Nq og Pq) samt intervallet for optimale N/P-forhold er indtegnede.

St. Syd

N-indholdet var højest i maj (ca. 3 % af TV) samt ved en enkelt måling i juni (ca. 5 % af TV). Ellers lå N-indholdet på 1,8-2,2 % af TV fra midt i juni til midt i august og var dermed lige omkring den kritiske koncentration. I september steg N-indholdet igen til ca. 3 % af TV (Figur 3.1.4a).

P-indholdet var væsentligt højere på st. Syd end på st. 1, med knap 0,3 % af TV i maj og 0,13-0,25 % af TV i juni-september (Figur 3.1.4b).

N/P-forholdet lå i intervallet 8-22 med minimum i juli (Figur 3.1.4c).

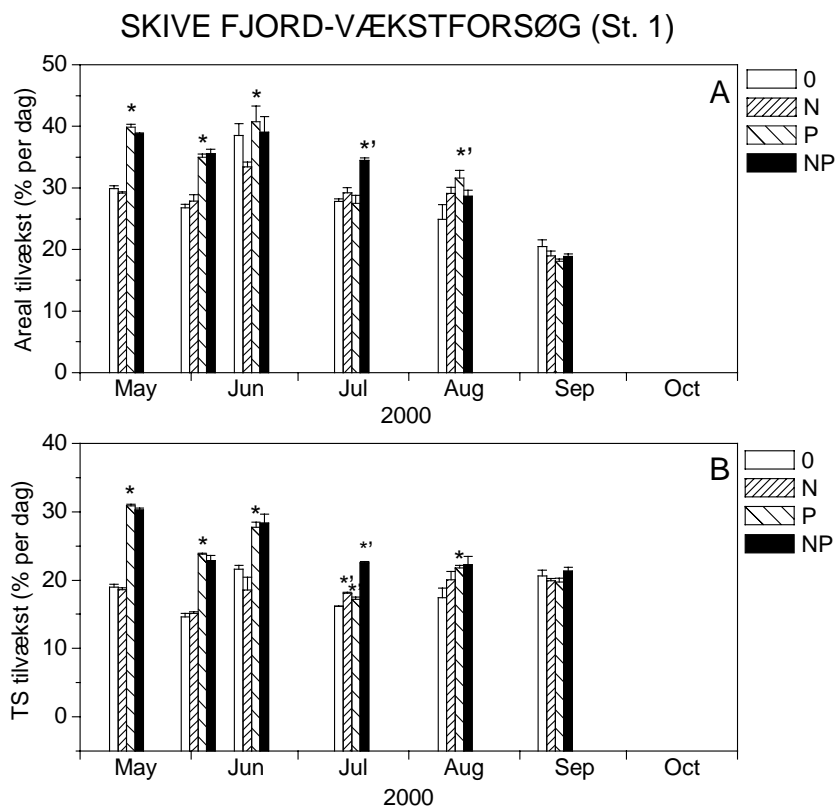


Figur 3.1.4. Indhold af kvælstof (a) og fosfor (b) samt N/P-forhold (c) i uberiget søsalat. Prøverne repræsenterer st. Syd og omfatter dels initialprøverne, der blev indsamlet til gødningsforsøget (○), og dels ekstra vævsprøver (●). Data er gennemsnit af 4 delprøver per indsamling. Error bars viser standard error. Formodede kritiske koncentrationer (Nc og Pc) og minimumkoncentrationer (Nq og Pq) samt intervallet for optimale N/P-forhold er indtegnet.

3.1.4 Gødningsforsøg

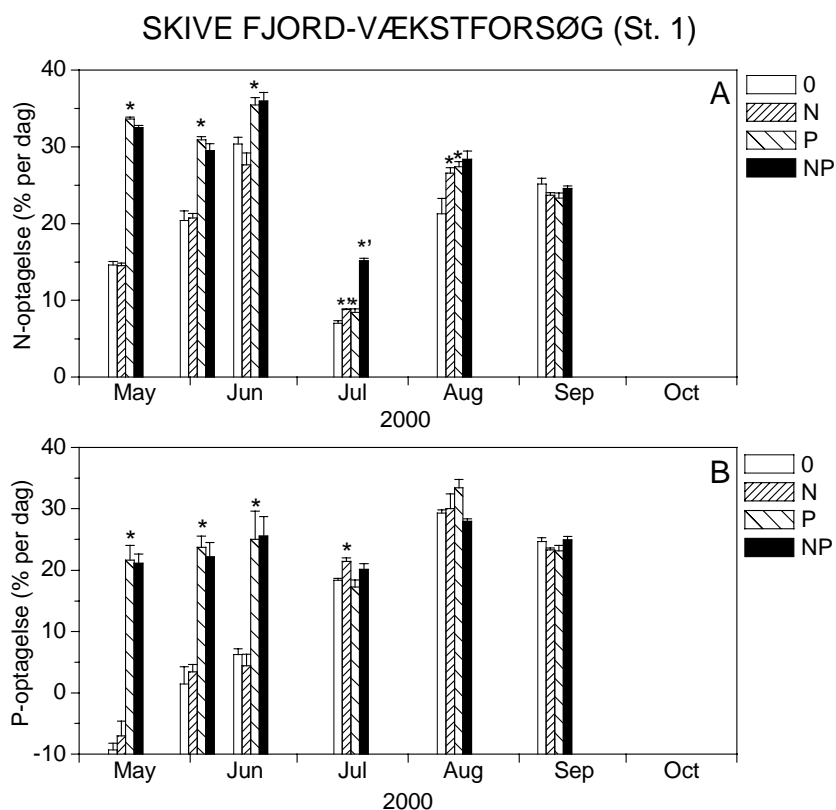
Gødningsforsøget indikerede, at søsalatens tilvækst (i tørstof) var markant fosforbegrænset fra midt i maj til midt i juni. I juli var væksten begrænset af både N og P og effekterne af de to næringssalte forstærkede hinanden (dvs. der var synergieffekt). I august var det igen primært P, der begrænsede væksten. I september var der ikke tegn på næringssaltbegrænsning (Figur 3.1.5, Bilag 5 og 6).

Figur 3.1.5. Tilvækst i areal (a) og biomasse (b) af søsalat beriget med hhv. kvælstof (N), fosfor (P), og begge næringsalte (NP) sammenlignet med uberigede kontroller (0). Søjlerne viser gennemsnit af 4 delprøver per behandling. Error bars viser standard error. *: signifikant effekt af N, P eller NP i situationer med interaktion mellem N og P. *: signifikant effekt af N eller P i situationer uden interaktion mellem N og P.



I maj-juni stimulerede P-berigning også algerne N-optagelse markant. I juli stimulerede begge næringsalte N-optagelsen, og effekterne af næringssaltene forstærkede hinanden. Den positive effekt af begge næringsalte fortsatte i august men nu uden interaktion mellem behandlingerne (Figur 3.1.6a, Bilag 7).

Figur 3.1.6. Optagelseshastighed af kvælstof (a) og fosfor (b) for søsalat beriget med hhv. kvælstof (N), fosfor (P), og begge næringsalte (NP) sammenlignet med uberigede kontroller (0). Søjlerne viser gennemsnit af 4 delprøver per behandling. Error bars viser standard error. *: signifikant effekt af N, P eller NP i situationer med interaktion mellem N og P. *: signifikant effekt af N eller P i situationer uden interaktion mellem N og P.



Algevævet optog markant mere P efter P-berigning fra midt i maj til midt i juni, men herefter var der ingen effekt af P-berigning. I juli gav N-berigningen en lille men signifikant stigning i P-optagelsen (Figur 3.1.6b, Bilag 8).

3.1.5 Tidligere undersøgelser

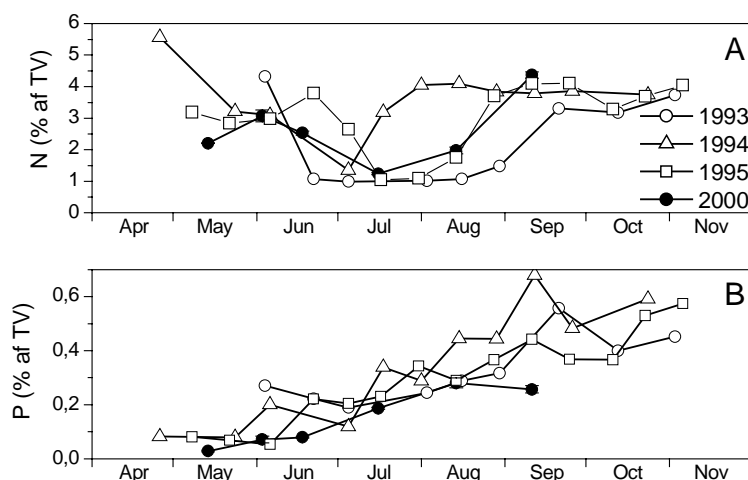
Der er tidligere foretaget målinger af vækst samt N og P indhold i søsalat på St. 1 i Skive Fjord gennem vækstsæsonen 1993, 1994 og 1995 (Bilag 1). Målingerne blev foretaget i 1 og 3,5 meters dybde, og vi refererer her til undersøgelserne i 1 meters dybde, da de er mest sammenlignelige med undersøgelserne i 2000.

Den maksimale vækstrate hos de uberigede alger lå på samme niveau i 2000 som ved tidligere undersøgelser. I maj-september 2000 var vækstraten ca. 15-22 % per dag svarende til fordoblingstider på 3,2-4,6 dage, mens den i samme periode 1993 var ca. 8-21 % per dag, i 1994 ca. 10-20% per dag og i 1995 ca. 8-22% per dag.

Algernes N-indhold fra juni til september 2000 lå indenfor samme interval som ved tidligere undersøgelser (Figur 3.1.7a). I 2000 var algerne N-begrænsede (defineret ud fra en kritisk koncentration på 2,2 % N af TV) fra midt i juli til midt i august, hvilket svarede til situationen i 1995. Perioden med kvælstofbegrænsning var væsentligt længere i 1993, hvor den strakte sig fra midt i juni til først i september. I 1994 var der kun N-begrænsning i en kort periode omkring 1. juli.

Algernes P-indhold var lavt i 2000 sammenlignet med tidligere undersøgelser (Figur 3.1.7b) og perioden med P-begrænsning (defineret ud fra en kritisk koncentration på 1,4 % P af TV) strakte sig frem til og med juni. I 1993 var der ikke tegn på P-begrænsning, mens algerne i 1994 var mere eller mindre P-begrænsede frem til først i juli og i 1995 frem til først i juni.

SKIVE FJORD - ST. 1 (1993-2000)



Figur 3.1.7. Indhold af N (a) og P (b) i søsalat gennem vækstsæsonen 1993, 1994, 1995 og 2000.

3.1.6 Sammenfatning

Både gødningsforsøg, næringsindhold i algerne og vandets koncentrationer af næringsalte viste, at søsalaten var P-begrænset frem til

midt i juni 2000 (Tabel 3.1.1). I juli viste gødningsforsøget kombineret N- og P-begrænsning, og i august P-begrænsning, mens koncentrationen af næringsalte i algevævet og i vandet tydede på, at der i august snarere var tale om ren N-begrænsning. I september var der ingen næringsaltbegrænsning.

I 2000 viste næringsaltkoncentrationerne i algevævet, at stationen på åbent vand (st. 1) var langt mere P-begrænset og mindre N-begrænset end stationen nær kysten (st. Syd).

I 2000 var perioden med potentiel N-begrænsning tilsyneladende kortere end i 1993, længere end i 1994 og på niveau med situationen i 1995. Der var tegn på kraftigere P-begrænsning i 2000 end tidligere.

Tabel 3.1.1. Oversigt over mulig N- og P -begrænsning gennem vækstsæsonen vurderet ud fra 4 indikatorer: 1) N&P i vandet, 2) N&P i uberiget algevæv, 3) N/P i uberiget algevæv og 4) Gødningsforsøg (tilvækst i tørstof efter næringsberigning).

	Maj	Juni	Juli	Aug	Sep	Okt
N & P i vandet (1)						
- N begrænsning	-	-	-	(N)	N	-
- P begrænsning	P	P	P	P	-	-
N&P i algevæv (1)						
- N begrænsning	-	-	-	N	(N)	-
- P begrænsning	P	P	P	-	-	-
N/P i Algevæv (1)						
- N begrænsning	-	-	-	-	-	-
- P begrænsning	P	P	P	-	-	P
N&P i algevæv (SYD)						
- N begrænsning	-	-	(N)	N	N	-
- P begrænsning	-	(P)	-	-	P	-
N/P i Algevæv (SYD)						
- N begrænsning	-	-	-	-	-	-
- P begrænsning	-	-	(P)	-	(P)	P
Gødningsforsøg (1)						
- N begrænsning	-	-	-	N	-	-
- P begrænsning	P	P	P	P	P	-
- NP synergi-effekt	-	-	-	N	-	-

3.2 Mariager Fjord

3.2.1 Stationer

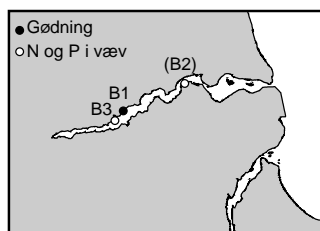
Gødningsforsøget foregik på st. B1, hvor vanddybden var ca. 1,2 m (Figur 3.2.1). Algerne til gødningsforsøget blev indsamlet omkring st. B1.

Der blev indsamlet supplerende algeprøver på st. B2 og B3.

3.2.2 Uorganiske næringsalte i vandet

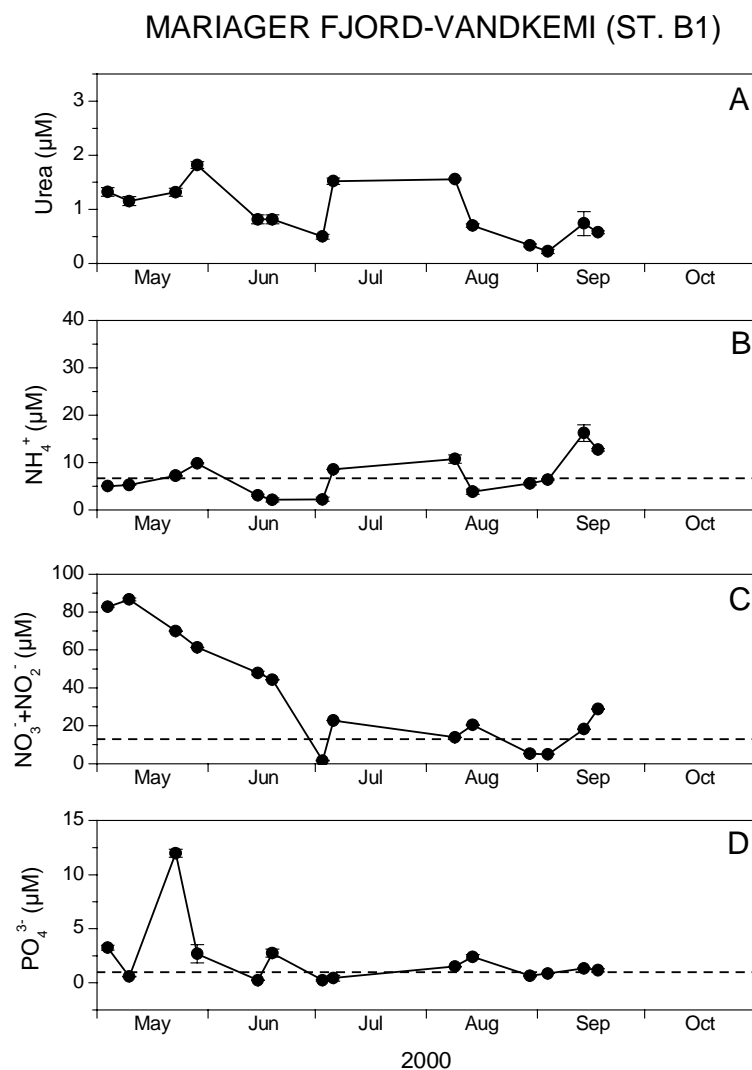
Koncentrationen af urea var relativt lav ($<2\mu\text{M}$) gennem hele sæsonen (Figur 3.2.2a).

Koncentrationen af uorganisk N var ekstremt høj i maj og juni og forblev relativt høj resten af året bortset fra omkring 1. juli, hvor N potentielt kunne være begrænsende (Figur 3.2.2b og c).



Figur 3.2.1. Stationsplaceringer i Mariager Fjord.

Bortset fra en enkelt måling sidst i maj var koncentrationen af fosfat relativt lav ($<3 \mu\text{M}$) gennem hele sæsonen og nåede flere gange i maj-juli ned på potentielt begrænsende koncentrationer (Figur 3.2.2d).



Figur 3.2.2. Koncentrationen af urea (A), NH_4^+ (B), $\text{NO}_3^- + \text{NO}_2^-$ (C) og PO_4^{3-} (D) i vandet omkring gødningsforsøget. Data er gennemsnit af 3 delprøver per indsamling. Error bars viser standard error. De stiplede linier angiver formodede begrænsende substrat koncentrationer.

3.2.3 N & P i algevæv

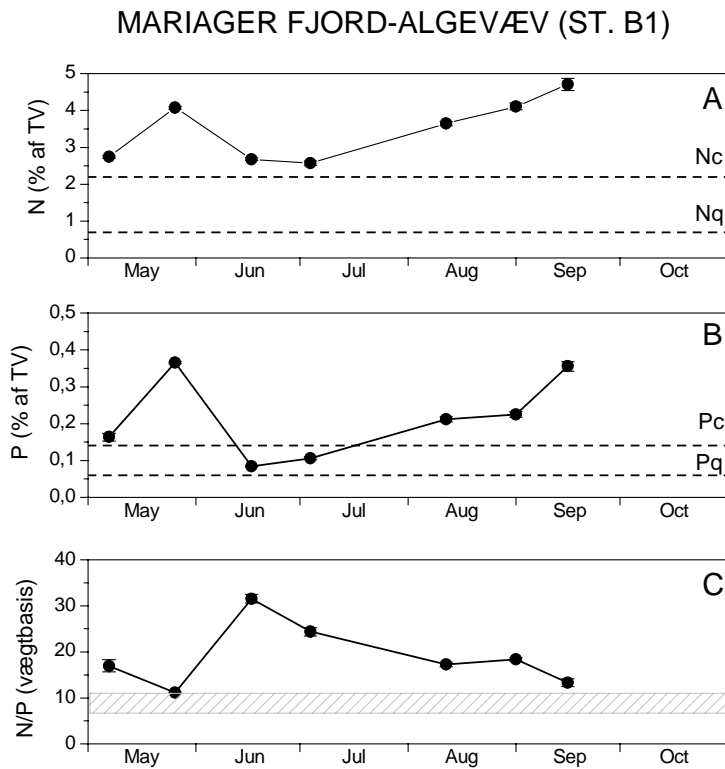
St. B1

På st. B1, hvor gødningsforsøget foregik, lå algevævet kvælstofindhold over den kritiske koncentration gennem hele måleperioden (Figur 3.2.3a).

P-indholdet steg fra 0,16 til knap 0,4% af TV i løbet af maj og faldt markant til potentielt begrænsende koncentrationer i juni og juli. I august og september var P-indholdet igen højt (Figur 3.2.3b).

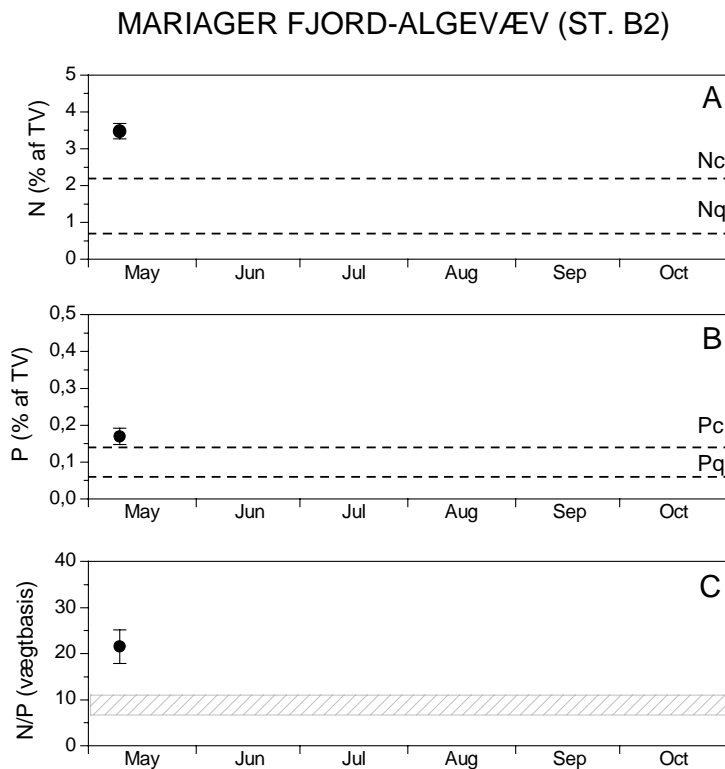
På trods af det høje P-indhold i både maj og august/september indikerede N/P-forholdet P-begrænsning gennem næsten hele vækstsæsonen (Figur 3.2.3c).

Figur 3.2.3. Indhold af kvælstof (a) og fosfor (b) samt N/P-forhold (c) i uberiget søsalat. Data repræsenterer uberigede kontrolprøver efter afslutning af gødningsforsøget. Data er gennemsnit af 4 delprøver per indsamling. Error bars viser standard error. Formodede kritiske koncentrationer (Nc og Pc) og minimumkoncentrationer (Nq og Pq) samt intervallet for optimale N/P-forhold er indtegnet.



St. B2

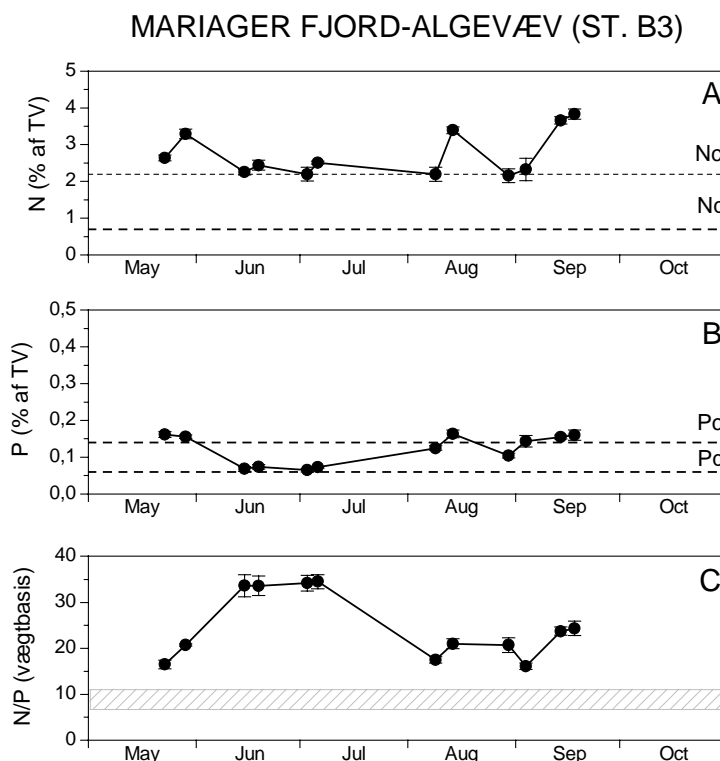
På station B2 var der kun en enkelt prøvetagning, som lå i maj 2000. N- og P-indholdet tydede ikke på, at algerne var næringssaltbegrænsede, men N/P-forholdet indikerede P-begrænsning (Figur 3.2.4).



Figur 3.2.4. Indhold af kvælstof (a) og fosfor (b) samt N/P-forhold (c) i uberiget søsalat. Prøverne repræsenterer St. B2. Data er gennemsnit af 4 delprøver per indsamling. Error bars viser standard error. Formodede kritiske koncentrationer (Nc og Pc) og minimumkoncentrationer (Nq og Pq) samt intervallet for optimale N/P-forhold er indtegnet.

St. B3

På station B3 var algernes N-indhold lige over den kritiske koncentration gennem hele sæsonen. P-indholdet var derimod lavt gennem hele sæsonen og ekstremt lavt i juni og juli. N/P-forholdet indikerede P-begrænsning gennem hele sæsonen (Figur 3.2.5).



Figur 3.2.5. Indhold af kvælstof (a) og fosfor (b) samt N/P-forhold (c) i uberiget søsalat. Prøverne repræsenterer St. B3. Data er gennemsnit af 4 delprøver per indsamling. Error bars viser standard error. Formodede kritiske koncentrationer (N_c og P_c) og minimumkoncentrationer (N_q og P_q) samt intervallet for optimale N/P-forhold er indtegnet.

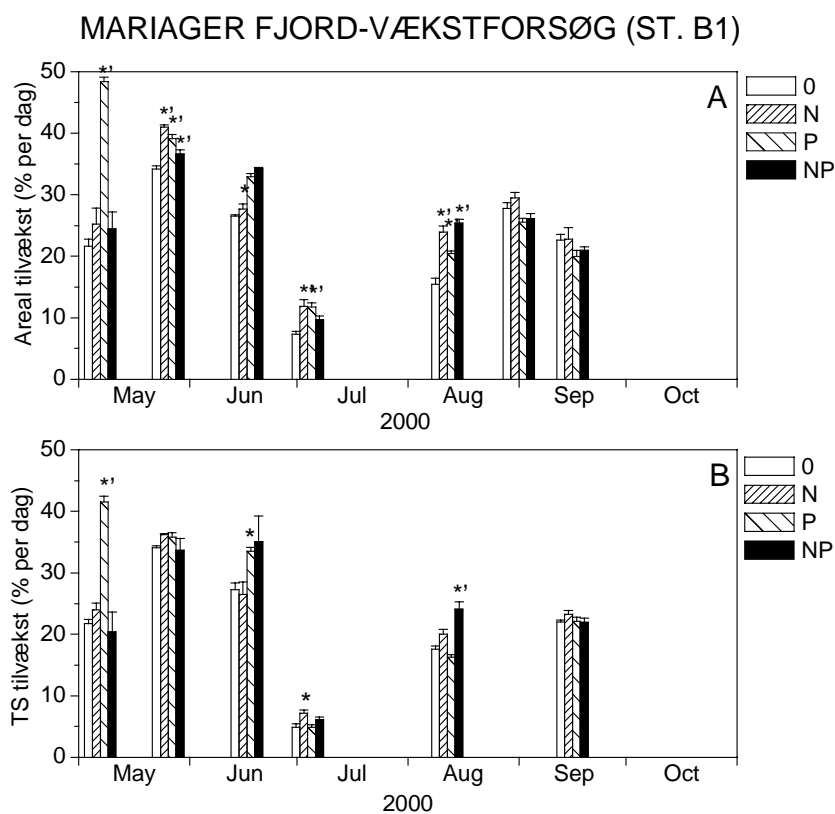
3.2.4 Gødningsforsøg

Først i maj blev søsalatens tilvækst (i tørstof) markant stimuleret af P-berigning, men besynderligt nok ikke af kombineret N- og P-berigning. Sidst i maj var der ingen signifikant effekt af berigning, men i juni var algerne klart P-begrænsede. I august var billedet vendt, så der nu var tegn på kombineret N- og P-begrænsning. I september var algerne ikke næringssaltbegrænsede (Figur 3.2.6, Bilag 5 og 6).

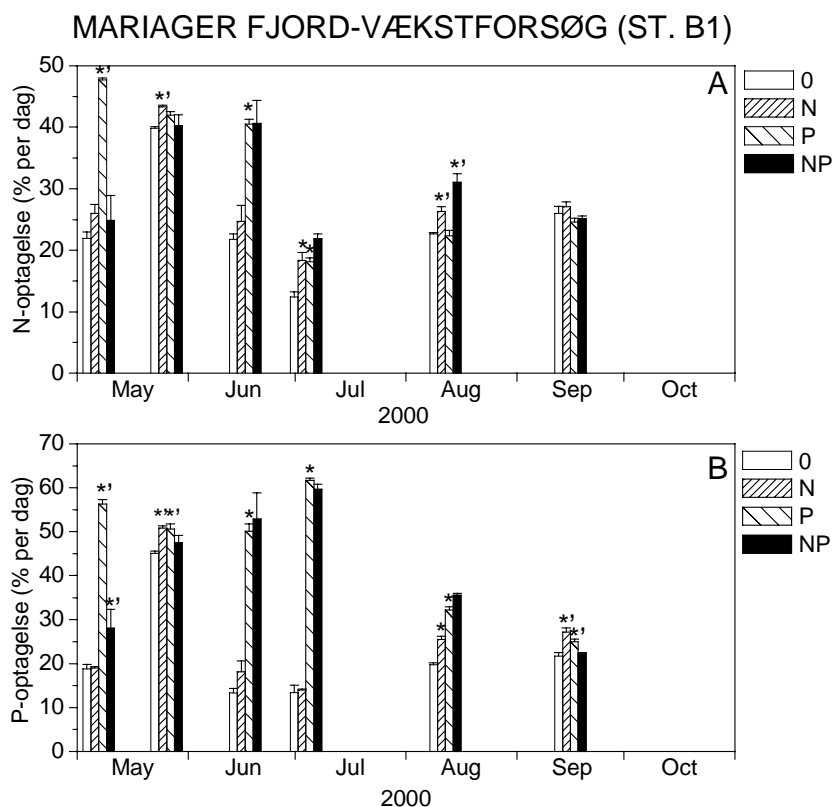
Først i maj og i juni stimulerede P-berigning N-optagelsen, men sidst i maj var der positiv effekt af N-berigning. I juli og august stimulerede N og P i kombination N-optagelsen (Figur 3.2.7a, Bilag 7).

P-berigning fremmede P-optagelsen gennem hele prøvetagningsperioden. I maj, august og september var der samtidig en positiv effekt af N-berigning på P-optagelsen (Figur 3.2.7b, Bilag 8).

Figur 3.2.6. Tilvækst i areal (a) og biomasse (b) af søsalat beriget med hhv. kvælstof (N), fosfor (P), og begge næringssalte (NP) sammenlignet med uberigede kontroller (0). Søjlerne viser gennemsnit af 4 delprøver per behandling. Error bars viser standard error. *: signifikant effekt af N, P eller NP i situationer med interaktion mellem N og P. *: signifikant effekt af N eller P i situationer uden interaktion mellem N og P.



Figur 3.2.7. Optagelsestastighed af kvælstof (a) og fosfor (b) for søsalat beriget med hhv. kvælstof (N), fosfor (P), og begge næringssalte (NP) sammenlignet med uberigede kontroller (0). Søjlerne viser gennemsnit af 4 delprøver per behandling. Error bars viser standard error. *: signifikant effekt af N, P eller NP i situationer med interaktion mellem N og P. *: signifikant effekt af N eller P i situationer uden interaktion mellem N og P.

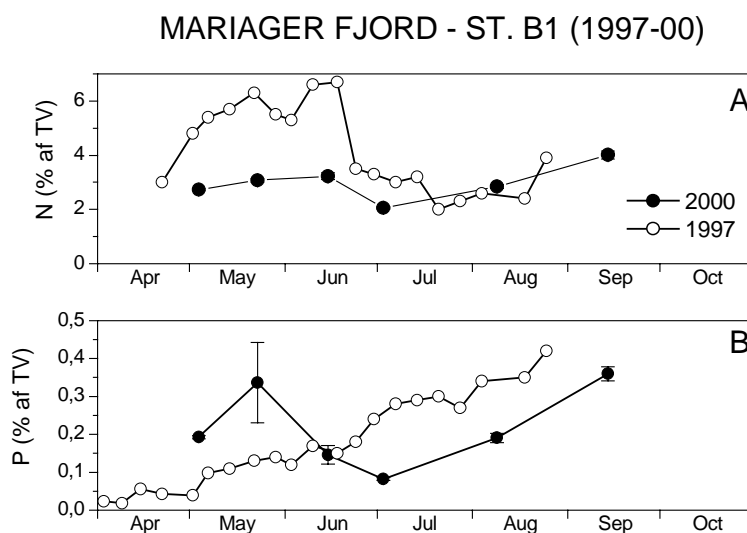


3.2.5 Tidligere undersøgelser

Der er tidligere foretaget målinger af vækst samt N og P indhold i søsalat på st. B1 i Mariager Fjord gennem vækstsæsonen 1997 (Bilag 1). Der foreligger også en undersøgelse fra st. B2 i 1994, men da vi kun har en enkelt måling fra st. B2 i 2000, har det ikke været muligt at foretage en sammenligning.

Frem til begyndelsen af juli 2000 var algernes N-indhold på st. B1 betydeligt lavere end i samme periode i 1997, men i august var N-indholdet omtrent på samme niveau begge år (Figur 3.2.8a). Algerne viste kun tegn på N-begrænsning i en kort periode begge år, i 1997 var det sidst i juli og i 2000 i begyndelsen af juli.

I maj 2000 var algernes P-indhold betydeligt højere end i samme periode året før, i juni var P-indholdet på samme niveau begge år, men resten af sæsonen var P-indholdet væsentligt lavere i 2000 end i 1997 (Figur 3.2.8b).



Figur 3.2.8. Indhold af N (A) og P (B) i søsalat gennem vækstsæsonen 1997 og 2001.

3.2.6 Sammenfatning

Koncentrationen af næringssalte i vandet og i algevævet på st. B1 tydede på, at algernes vækst overvejende var P-begrænset i 2000. Fosfatindholdet i vandet på st. B1 var lavt sæsonen igennem, og afspejlede sig i lave P-koncentrationer i algevævet bortset fra sidst i maj og i september. Høje N-koncentrationer i både vandet og algevævet udelukkede N-begrænsning bortset fra omkring 1. juli. Resultaterne af gødningsforsøget var dog ikke entydige – i begyndelsen af maj og i juni var der overvejende tegn på P-begrænsning, mens der omkring 1. juli var tegn på N-begrænsning og i august på kombineret N+P-begrænsning (Tabel 3.2.1).

I 2000 viste næringssaltkoncentrationerne i algevævet, at st. B3 var langt mere P-begrænset og mindre N-begrænset end st. B1.

Tabel 3.2.1. Oversigt over mulig N- og P -begrænsning gennem vækstsæsonen vurderet ud fra 4 indikatorer: 1) N&P i vandet, 2) N&P i uberiget algevæv, 3) N/P i uberiget algevæv og 4) Gødningsforsøg (tilvækst i tørstof efter næringsberigning).

	Maj	Juni	Juli	Aug	Sep	Okt
N & P i vandet (B1)						
- N begrænsning	-	-	(N)	-	(N)	-
- P begrænsning	P	P	P	P	P	P
N&P i algevæv (B1)						
- N begrænsning	-	-	-	-	-	-
- P begrænsning	-	-	P	P	-	-
N/P i Algevæv (B1)						
- N begrænsning	-	-	-	-	-	-
- P begrænsning	P	(P)	P	P	P	P
N&P i algevæv (B2)						
- N begrænsning	-	-	-	-	-	-
- P begrænsning	P	-	-	-	-	-
N/P i Algevæv (B2)						
- N begrænsning	-	-	-	-	-	-
- P begrænsning	-	-	-	-	-	-
N&P i algevæv (B3)						
- N begrænsning	-	-	-	-	-	-
- P begrænsning	-	-	P	P	(P)	(P)
N/P i Algevæv (B3)						
- N begrænsning	-	-	-	-	-	-
- P begrænsning	P	P	P	P	P	P
Gødningsforsøg (B1)						
- N begrænsning	-	-	-	N	-	-
- P begrænsning	P	-	P	-	-	-
- NP synergi-effekt	-	-	-	-	NP	-

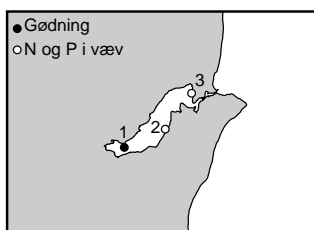
Sammenlignet med undersøgelser i 1997, var algernes N-indhold lavere og P-indholdet højere i forsommeren 2000. Senere på sommeren var N-indholdet på samme niveau og P-indholdet væsentligt lavere end ved undersøgelserne i 1997.

3.3 Norsminde Fjord

3.3.1 Stationer

Gødningsforsøget foregik på st. 1 inderst i fjorden, og algerne til forsøget blev som oftest indsamlet på st. 3 yderst i fjorden (Figur 3.3.1).

Herudover blev der foretaget supplerende indsamlinger af algevæv på st. 2 midt i fjorden og på st. 3 (Figur 3.3.1).



Figur 3.3.1. Stationsplaceringer i Norsminde Fjord.

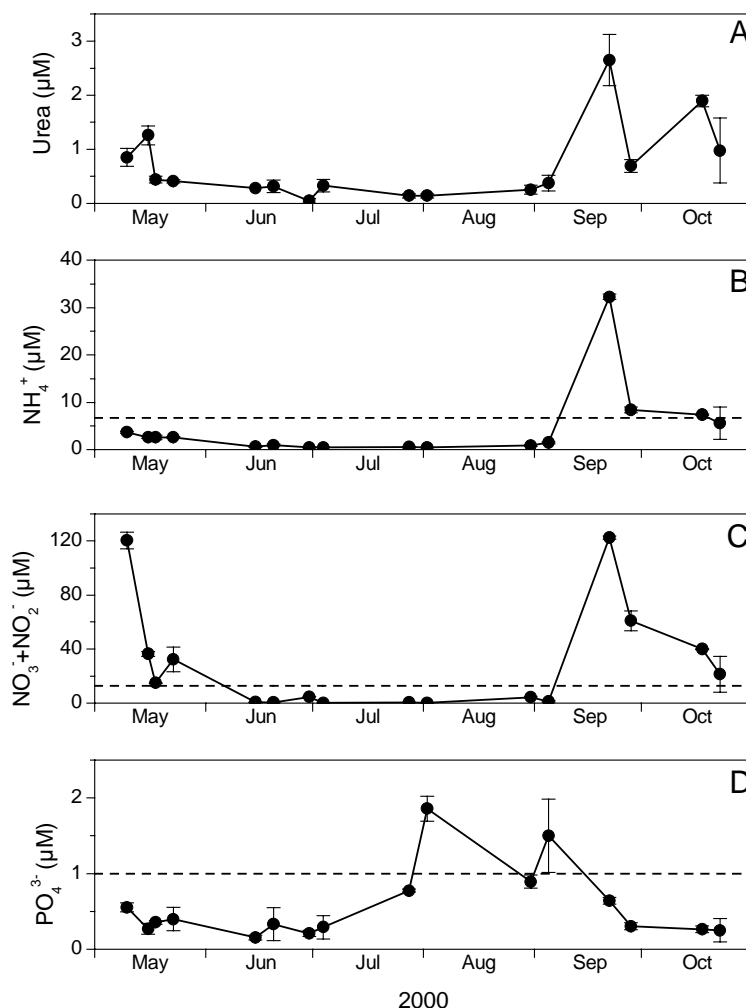
3.3.2 Uorganiske næringsalte i vandet

Vandets koncentration af urea var under 1 μM fra midt i maj til midt i september, hvor koncentrationen steg til knap 3 μM (Figur 3.3.2a).

I maj var koncentrationen af uorganisk N meget høj pga. høje nitrat koncentrationer, og der var derfor ikke tale om N begrænsning. Fra juni til september var koncentrationen af både nitrat og ammonium meget lav og potentielt begrænsende for væksten. I september og oktober var der igen høje koncentrationer af både ammonium og nitrat i vandet, og N begrænsning var ikke sandsynlig (Figur 3.3.2b, c).

Koncentrationen af fosfat var lav året igennem og potentielt begrænsende for produktionen frem til sidst i juli og igen i slutningen af september og i oktober. De højeste fosfat koncentrationer forekom i august og september, men de nåede aldrig over 2 μM (Figur 3.3.2d).

NORSMINDE-VANDKEMI



Figur 3.3.2. Koncentrationen af urea (A), NH_4^+ (B), $\text{NO}_3^- + \text{NO}_2^-$ (C) og PO_4^{3-} (D) i vandet omkring gødningsforsøget. Data er gennemsnit af 3 delprøver per indsamling. Error bars viser standard error. De stiplede linier angiver formodede begrænsende substrat koncentrationer.

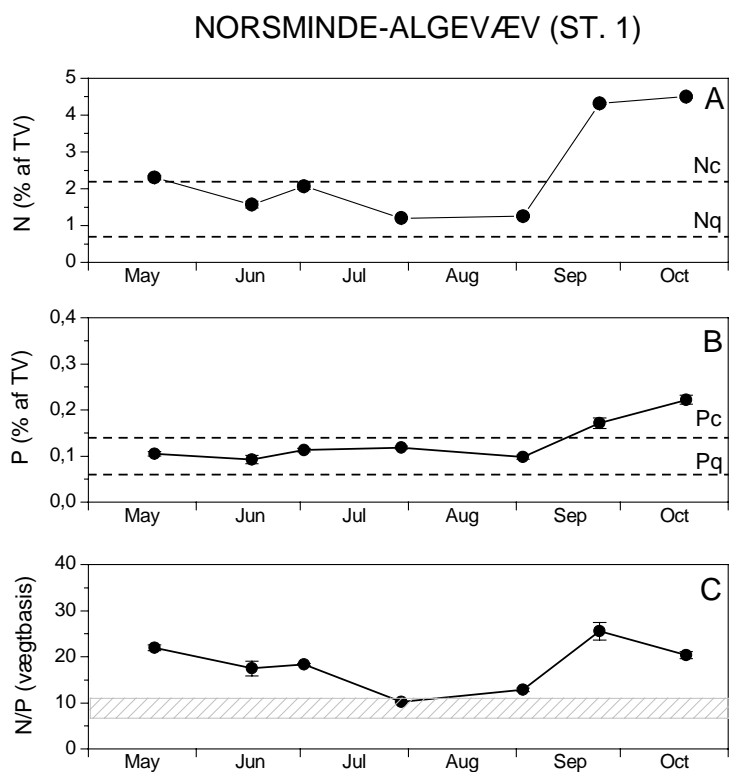
3.3.3 Indhold af N og P i uberiget algevæv

St. 1

På st. 1 faldt algevævet's indhold af N gradvist fra maj til sidst i juli. N-indholdet var lavt gennem sommeren men steg så markant i september og bevarede det høje niveau i oktober (Figur 3.3.3a). Fra juni til begyndelsen af september var N-indholdet under 2 % af TV og dermed potentielt begrænsende for algerne's vækst.

P-indholdet var under den kritiske koncentration fra maj til først i september og var dermed potentielt begrænsende for algerne's vækst (Figur 3.3.3b).

N/P-forholdet tydede på P-begrænsning gennem hele sæsonen bortset fra sidst i juli (Figur 3.3.3c).



Figur 3.3.3. Indhold af kvælstof (A) og fosfor (B) samt N/P-forhold (C) i uberiget søsalat. Data repræsenterer uberigede kontrolprøver efter afslutning af gødningsforsøget. Data er gennemsnit af 4 delprøver per indsamling. Error bars viser standard error. Formodede kritiske koncentrationer (N_c og P_c) og minimumkoncentrationer (N_q og P_q) samt intervallet for optimale N/P-forhold er indtegnet.

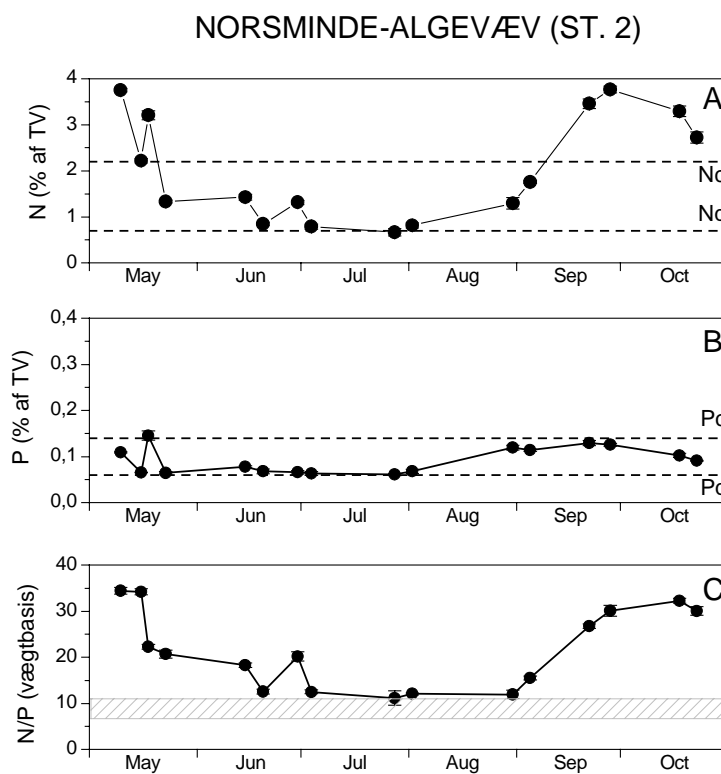
St. 2

Gennem sommerperioden var indholdet af N og P i algevævet på st. 2 lavere end på station 1, og algerne var derfor endnu mere næringsbegrænsede end på st. 1 (Figur 3.3.4).

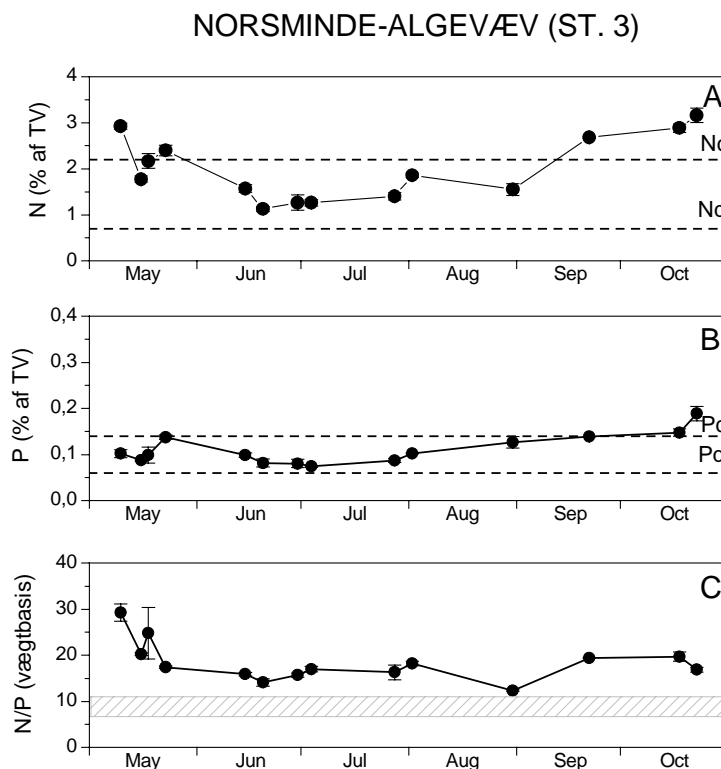
St. 3

N- og P-indholdet fulgte samme sæsonforløb som på station 1 (Figur 3.3.5). Fra juni til først i september var der tegn på N-begrænsning og fra maj til sidst i september var der tillige tegn på P-begrænsning. N/P-forholdet tydede på P-begrænsning gennem hele sæsonen.

Figur 3.3.4. Indhold af kvælstof (a) og fosfor (b) samt N/P-forhold (c) i uberiget søsalat. Prøverne repræsenterer St. 2. Data er gennemsnit af 4 delprøver per indsamling. Error bars viser standard error. Formodede kritiske koncentrationer (Nc og Pc) og minimumkoncentrationer (Nq og Pq) samt intervallet for optimale N/P-forhold er indtegnet.



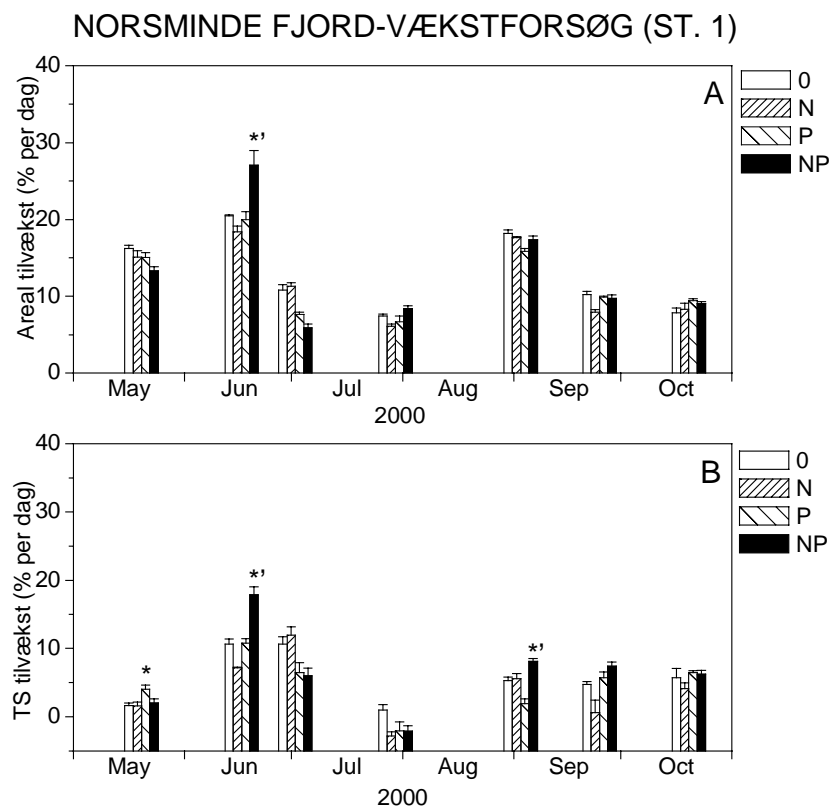
Figur 3.3.5. Indhold af kvælstof (a) og fosfor (b) samt N/P-forhold (c) i uberiget søsalat. Prøverne repræsenterer St. 3. Data er gennemsnit af 4 delprøver per indsamling. Error bars viser standard error. Formodede kritiske koncentrationer (Nc og Pc) og minimumkoncentrationer (Nq og Pq) samt intervallet for optimale N/P-forhold er indtegnet.



3.3.4 Gødningsforsøg

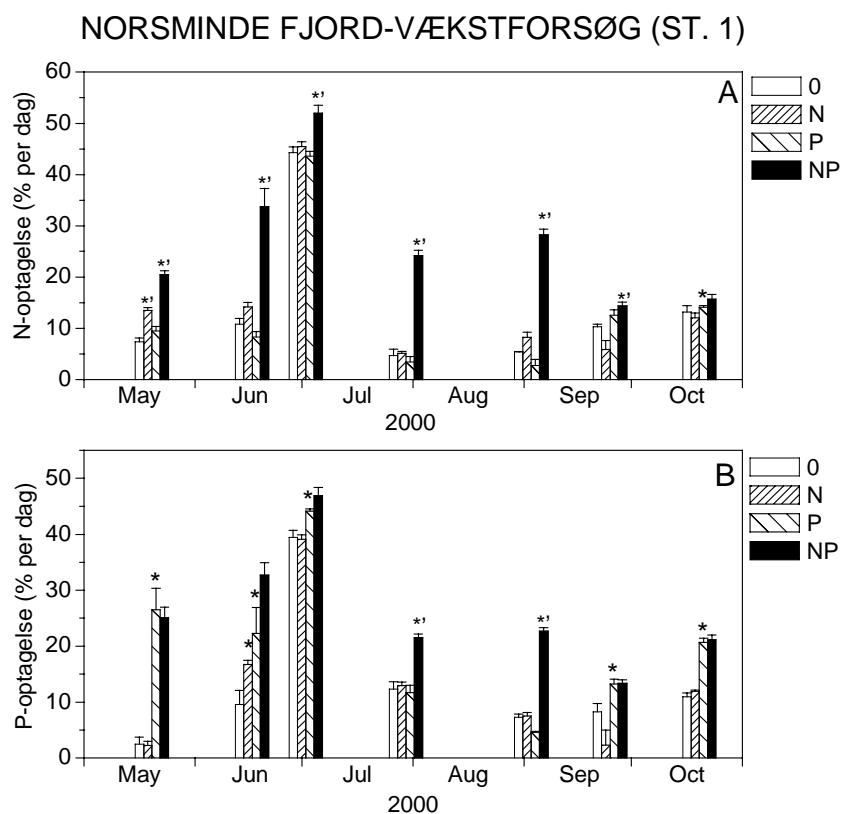
Gennem hele sæsonen var vækstraten relativt lav. P-berigning stimulerede væksten i maj måned mens N og P i kombination stimulerede væksten i juni og sidst i august (Figur 3.3.6, Bilag 5 og 6).

Figur 3.3.6. Tilvækst i areal (a) og biomasse (b) for søsalat beriget med hhv. kvælstof (N), fosfor (P), og begge næringssalte (NP) sammenlignet med uberigede kontroller (0). Søjlerne viser gennemsnit af 4 delprøver per behandling. Error bars viser standard error. *: signifikant effekt af N, P eller NP i situationer med interaktion mellem N og P. *: signifikant effekt af N eller P i situationer uden interaktion mellem N og P.



I maj stimulerede N-berigning N-optagelsen og i maj-september forstærkede effekterne af de to næringssalte hinanden. I oktober stimulerede P-berigning N-optagelsen (Figur 3.3.7a, Bilag 7).

Figur 3.3.7. Optagelseshastighed af kvælstof (a) og fosfor (b) for søsalat beriget med hhv. kvælstof (N), fosfor (P), og begge næringssalte (NP) sammenlignet med uberigede kontroller (0). Søjlerne viser gennemsnit af 4 delprøver per behandling. Error bars viser standard error. *: signifikant effekt af N, P eller NP i situationer med interaktion mellem N og P. *: signifikant effekt af N eller P i situationer uden interaktion mellem N og P.

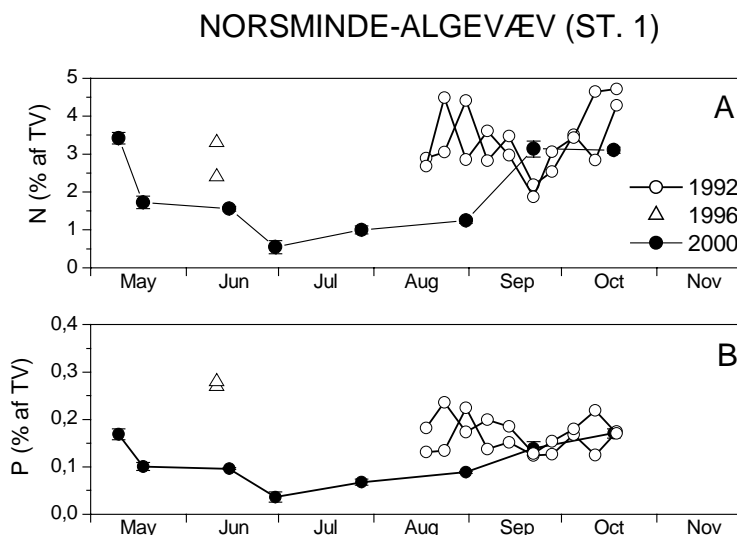


P-berigning stimulerede P-optagelsen i maj-juni og september-oktober, mens der i juni, sidst i juli og sidst i august var en kombineret effekt af begge næringsalte. Sidst i juli og august forstærkede effekterne af næringsaltene hinanden (Figur 3.3.7b, Bilag 8).

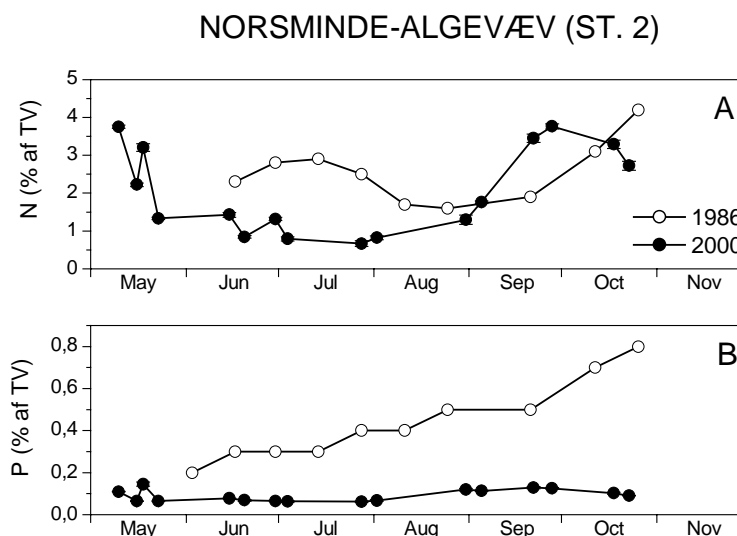
3.3.5 Tidligere undersøgelser

En sammenligning med tidligere undersøgelser nær St. 1 i Norsminde Fjord viser, at både N og P-indholdet i søsalat var højere i juni 1992 og i august 1996 end i dag. N- og P-indholdet i september og oktober 1996 var derimod på samme niveau som i dag (Figur 3.3.8; Bilag 1).

Figur 3.3.8. Indhold af N (A) og P (B) i søsalat gennem vækstsæsonen 1992, 1996 og 2000.



Figur 3.3.9. Indhold af N (A) og P (B) i søsalat gennem vækstsæsonen 1986 og 2000.



Ved st. 2 var søsalatens N indhold væsentligt højere gennem sommeren 1986 sammenlignet med sommeren 2000. N-indholdet først på efteråret 1986 og 2000 var derimod mere ensartet. P-indholdet var væsentligt højere gennem hele perioden juni-oktober 1986 end gennem samme periode 2000 (Figur 3.3.9; Bilag 1).

3.3.6 Sammenfatning

Gennem hele sæsonen var fosfatkoncentrationen i vandet potentielt begrænsende for produktionen. Det samme gjaldt P-koncentrationen i algevævet bortset fra i begyndelsen af maj og i oktober. For N tegne-

de der sig næsten det samme billede – koncentrationen af uorg-N i vandet og af N i algevævet var begrænsende fra juni til omkring 1. september. Algernes tilvækst var da også meget begrænset, men kun i enkelte tilfælde var der respons på næringsberigning (Tabel 3.3.1). Baggrunden for det manglende respons er muligvis, at algerne har været så næringsbegrænsede, at de først har skullet indbygge de tilførte næringssalte i basale cellestrukturer før de kunne optimere væksten, og derfor ikke har kunnet nå at respondere indenfor de korte inkubationsperioder. Desuden var tilgængeligheden af lys relativt lav i flere inkubationsperioder, og det er muligt at løstliggende alger har skygget forsøgsopstillingen og dermed hæmmet søsalatens vækst.

Sammenlignet med tidligere undersøgelser var algernes indhold af N og P væsentligt mindre i vækstsæsonen 2000.

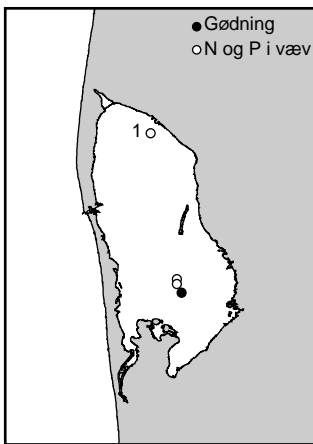
Tabel 3.3.1. Oversigt over mulig N- og P -begrænsning gennem vækstsæsonen vurderet ud fra 4 indikatorer: 1) N&P i vandet, 2) N&P i uberiget algevæv, 3) N/P i uberiget algevæv og 4) Gødningsforsøg (tilvækst i tørstof efter næringsberigning).

	Maj	Juni	Juli	Aug	Sep	Okt
N & P i vandet (1)						
- N begrænsning	-	N	N	-	-	-
- P begrænsning	- P	P	P	P	P	P
N&P i algevæv (1)						
- N begrænsning	-	N	N	N	N	-
- P begrænsning	P	P	P	P	P	-
N/P i Algevæv (1)						
- N begrænsning	-	-	-	-	-	-
- P begrænsning	P	P	P	-	P	P
N&P i algevæv (2)						
- N begrænsning	- N	N	N	N	N	-
- P begrænsning	P P	P	P	P	P	P
N/P i Algevæv (2)						
- N begrænsning	-	-	-	-	-	-
- P begrænsning	P P	P	P	(P)	P	P
N&P i algevæv (3)						
- N begrænsning	-	-	-	-	-	-
- P begrænsning	P P	P	P	P	P	P
N/P i Algevæv (3)						
- P begrænsning	P P	-	-	-	-	-
- N begrænsning	-	(N)	(N)	-	N	-
Gødningsforsøg (1)						
- N begrænsning	-	-	-	-	-	-
- P begrænsning	P	-	-	-	-	-
- NP synergi-effekt	-	NP	-	-	NP	-

3.4 Ringkøbing Fjord

3.4.1 Stationer

Gødningsforsøget blev udsat på station 8, hvor vanddybden er 2,8 m (Figur 3.4.1). Søsalat til forsøgsopstillingen blev så vidt muligt indsamlet på stationen, men da søsalaten drev rundt i fjorden afhængig af vind- og strømretning var det ikke altid muligt. Nogle gange blev søsalaten derfor indsamlet på skrænterne ind mod Haurvig Grund på 1 til 1½ meters dybde, andre gange på de sydlige skrænter ved Klæg-



Figur 3.4.1. Stationsplaceringer i Ringkøbing Fjord.

banken – også på ca. 1½ meters dybde, og nogle få gange i den nordlige ende af fjorden ved station 1 på 3,2 meters dybde.

Supplerende indsamlinger af algevæv blev foretaget på St. 1.

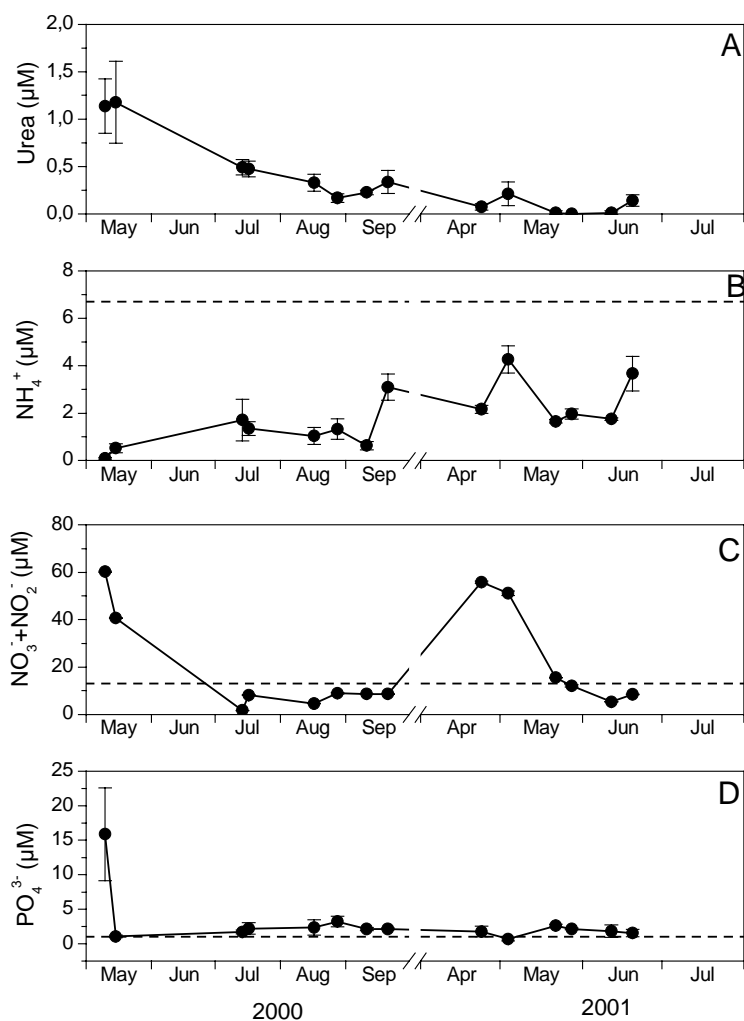
3.4.2 Uorganiske næringsalte i vandet

Vandets koncentration af urea var knap 1,5 μM i maj 2000 og under 0,5 μM resten af året. I 2001 var koncentrationen konstant under 0,25 μM (Figur 3.4.2a).

I maj 2000 var koncentrationen af uorganisk N meget høj (ca. 60 μM) pga. høje nitratkoncentrationer. Fra juli til september 2000 var koncentration af nitrat omkring 10 μM og ammoniumkoncentrationen omkring 1, og muligvis begrænsende for algernes vækst. I 2001 var nitratkoncentrationen på samme niveau som i 2000, mens ammoniumkoncentrationen var lidt højere end i 2000. N-begrænsning kunne muligvis optræde i juni 2001 (Figur 3.4.2b, c).

Koncentrationen af fosfat var relativt lav gennem hele måleperioden bortset fra i maj 2000 og tæt på den formodede begrænsende koncentration på 1 μM (Figur 3.4.2d). Der var ikke markante forskelle mellem 2000 og 2001, bortset fra en enkelt høj koncentration i maj 2000.

RINGKØBING FJORD-VANDKEMI (ST. 8)



Figur 3.4.2. Koncentrationen af urea (A), NH_4^+ (B), $\text{NO}_3^- + \text{NO}_2^-$ (C) og PO_4^{3-} (D) i vandet omkring gødningsforsøget. Data er gennemsnit af 3 delprøver per indsamling. Error bars viser standard error. De stiplede linier angiver formodede begrænsende substrat koncentrationer.

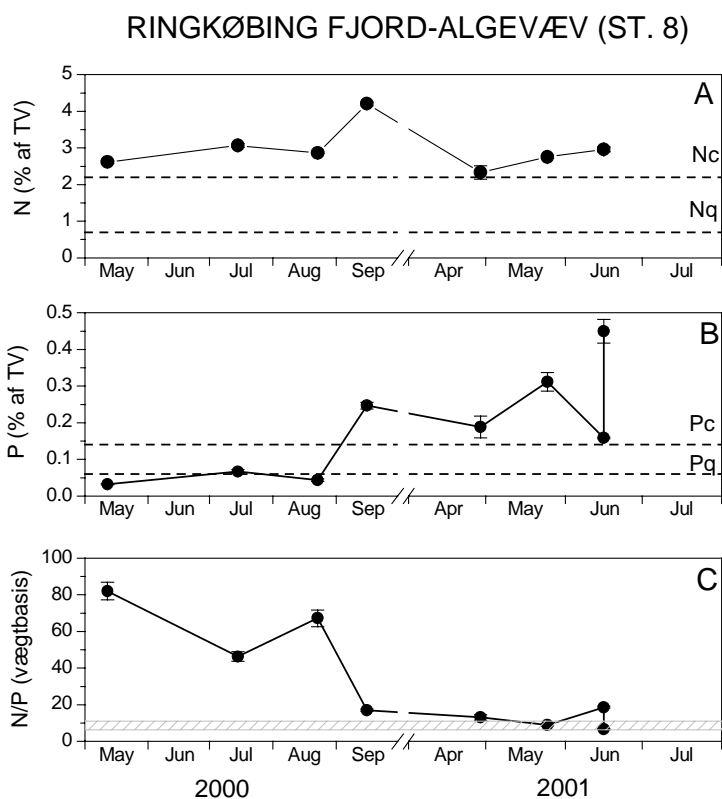
3.4.3 Indhold af N og P i uberiget algevæv

St. 8

På st. 8, hvor gødningsforsøget foregik, var N-indholdet i algevævet relativt højt gennem hele måleperioden (Figur 3.4.3a).

P-indholdet var lavt fra maj til august 2000 og potentielt begrænsende for produktionen. I september 2000 var der ingen P-begrænsning (Figur 3.4.3b). I april-juni 2001 var P-koncentrationen væsentligt højere (0,24-0,45 % af TV) end i samme periode året før og dermed ikke begrænsende for produktionen.

Den høje N-koncentration og ekstremt lave P-koncentration i algevævet resulterede i ekstremt høje N/P-forhold i foråret og sommeren 2000, og indikerede dermed P-begrænsning. N/P-forholdet viste også tegn på P-begrænsning i september 2000 og i april og juni 2001 (Figur 3.4.3c).



Figur 3.4.3. Indhold af kvælstof (A) og fosfor (B) samt N/P-forhold (C) i uberiget søsalat. Data repræsenterer uberigede kontrolprøver efter afslutning af gødningsforsøget. Data er gennemsnit af 4 delprøver per indsamling. Error bars viser standard error. Formodede kritiske koncentrationer (Nc og Pc) og minimumkoncentrationer (Nq og Pq) samt intervallet for optimale N/P-forhold er indtegnet.

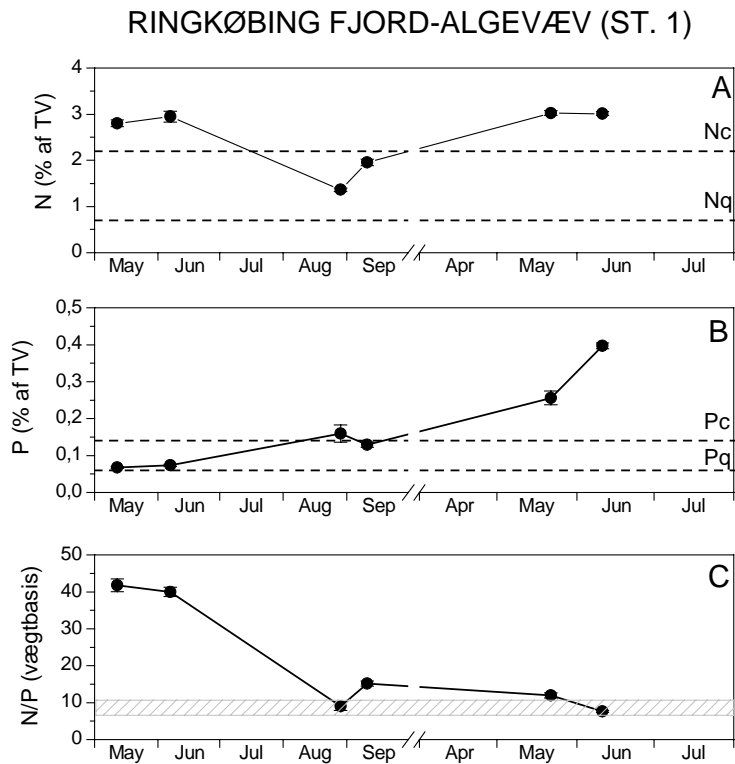
St. 1

Indholdet af N og P i algevævet på st. 1 fulgte samme forløb som på st. 8 bortset fra, at N-indholdet var lavt i august 2000 (Figur 3.4.4).

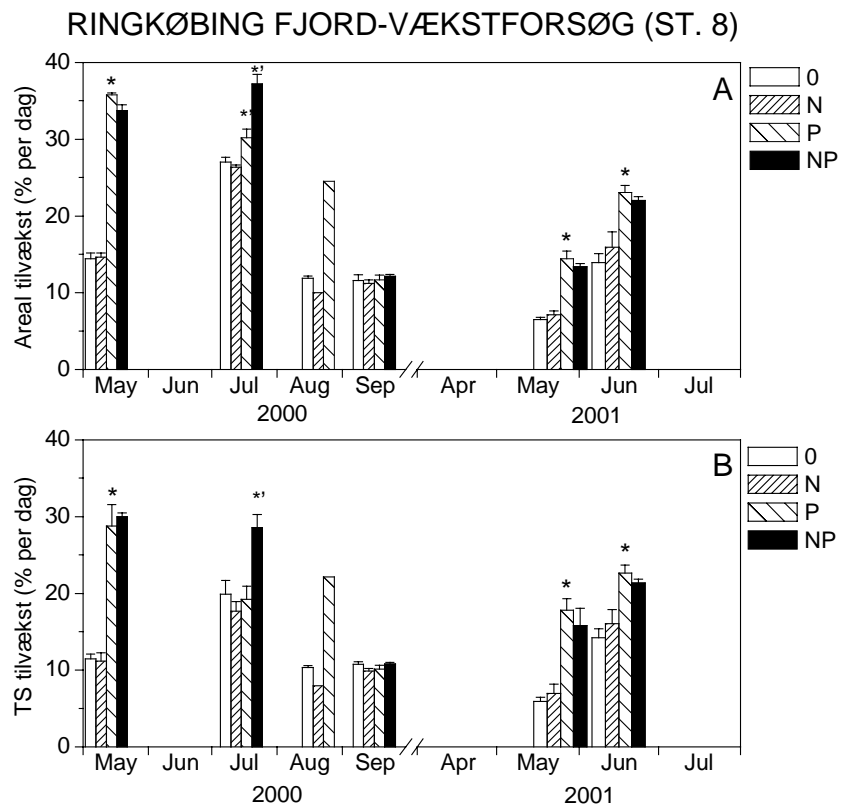
3.4.4 Gødningsforsøg

N-berigning stimulerede på intet tidspunkt tilvæksten i tørstof. Derimod var der en signifikant effekt af P-berigning i maj 2000 og i maj-juni 2001. I juli 2000 forstærkede effekterne af N og P hinanden. I august 2000 manglede der nogle delprøver, så det var ikke muligt at teste effekten af næringsberigningen. I september 2000 var der ikke tegn på næringssaltbegrænsning (Figur 3.4.5, Bilag 5 og 6).

Figur 3.4.4. Indhold af kvælstof (a) og fosfor (b) samt N/P-forhold (c) i uberiget søsalat. Prøverne repræsenterer St. 1. Data er gennemsnit af 4 delprøver per indsamling. Error bars viser standard error. Formodede kritiske koncentrationer (Nc og Pc) og minimumkoncentrationer (Nq og Pq) samt intervallet for optimale N/P-forhold er indtegnet.

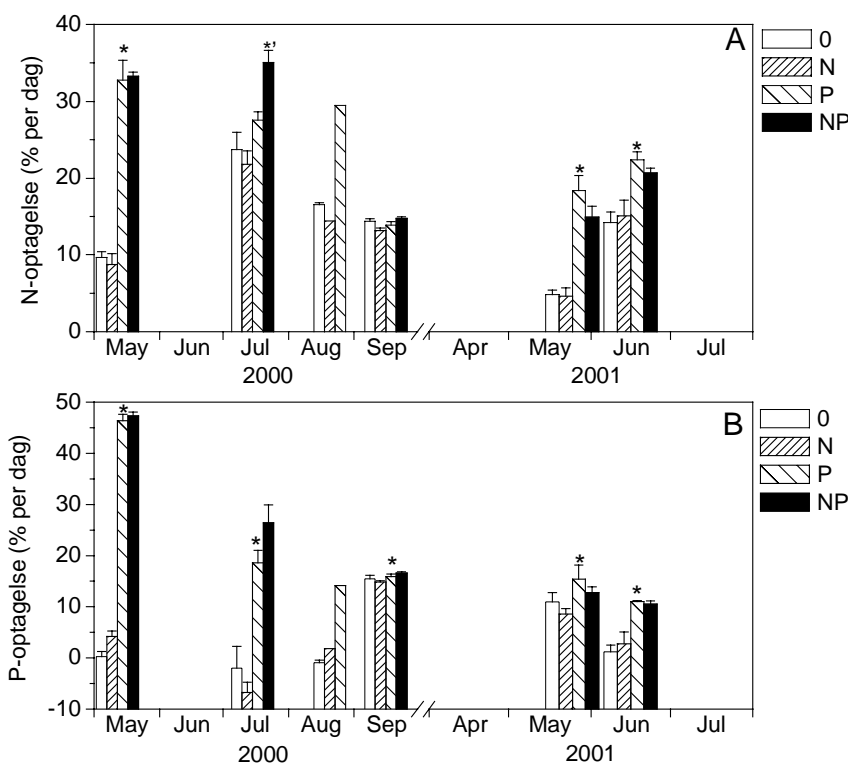


Figur 3.4.5. Tilvækst i areal (a) og biomasse (b) for søsalat beriget med hhv. kvælstof (N), fosfor (P), og begge næringssalte (NP) sammenlignet med uberigede kontroller (0). Søjlerne viser gennemsnit af 4 delprøver per behandling. Error bars viser standard error. *: signifikant effekt af N, P eller NP i situationer med interaktion mellem N og P. *: signifikant effekt af N eller P i situationer uden interaktion mellem N og P.



Berigning med N alene gav ikke på noget tidspunkt en forøget N-optagelse. Derimod gav berigning med N og P i kombination en forstærket effekt på N-optagelsen i juli 2000. I maj 2000 og maj-juni 2001 resulterede P-berigning i forøget N-optagelse (Figur 3.4.6a, Bilag 7).

RINGKØBING FJORD-VÆKSTFORSØG (ST. 8)



Figur 3.4.6. Optagelseshastighed af kvælstof (a) og fosfor (b) for søsalat beriget med hhv. kvælstof (N), fosfor (P), og begge næringssalte (NP) sammenlignet med uberigede kontroller (0). Søjlerne viser gennemsnit af 4 delprøver per behandling. Error bars viser standard error. *: signifikant effekt af N, P eller NP i situationer med interaktion mellem N og P. *: signifikant effekt af N eller P i situationer uden interaktion mellem N og P.

Efter berigning med P steg P-optagelsen markant i maj og juli 2000 og svagt i september 2000. I maj-juni 2001, hvor algevæves P-indhold var væsentligt højere end i 2000 (Figur 3.4.3) steg P-optagelsen kun svagt efter berigning med P (Figur 3.4.6b, Bilag 8).

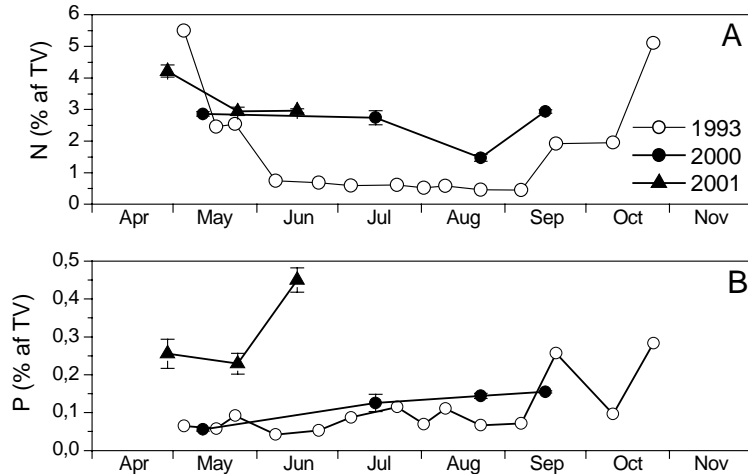
3.4.5 Tidligere undersøgelser

Der er tidligere foretaget målinger af vækst samt N og P indhold i søsalat i Ringkøbing Fjord gennem vækstsæsonen 1993 (Bilag 1). Målingerne blev foretaget i 0,25 og 1,25 meters dybde, og vi refererer her til undersøgelserne i 0,25 meters dybde, da de er mest sammenlignelige med undersøgelserne i 2000-01.

I 2000 og 2001 voksede de uberigede alger med hastigheder mellem 7 og 27% per dag og dermed betydeligt hurtigere end i 1993, hvor vækstraterne lå i intervallet 6-17% per dag.

I juni til september 2000 var N-indholdet betydeligt højere end i samme periode i 1993 (Figur 3.4.7a). Algerne var således kun N begrænsede i august 2000, mens de potentielt var N begrænsede fra juni til oktober 1993.

RINGKØBING FJORD - ST. 8 (1993-2001)



Figur 3.4.7. Indhold af N (A) og P (B) i søsalat gennem vækstsæsonen 1993, 2000 og 2001.

Algerne P-indhold i 2000 lignede P-indholdet i 1993, og begge år var algerne potentielt P-begrænsede fra maj til september. I 2001 var P-indholdet derimod væsentligt højere (Figur 3.4.7b).

3.4.6 Sammenfatning

Høje koncentrationer af uorganisk N i vandet udelukkede N-begrænsning gennem næsten hele måleperioden 2000-01. Derimod var fosfatkoncentrationen i vandet lav, selvom den principielt kun i maj 2001 var under den formodede begrænsende substratkoncentration ($1\mu\text{M}$). Undersøgelserne tyder dog på, at fosfat også var begrænsende i koncentrationer på omkring $2\mu\text{M}$, for gødningsforsøget og algevævets næringssaltkoncentration viste P-begrænsning i sådanne perioder (Tabel 3.4.1).

Både i 1993 og i 2000 var algerne P-begrænsede til langt hen på sommeren, men mens der i 1993 samtidig var N-begrænsning i juni-september, var dette ikke tilfældet i 2000.

Tabel 3.4.1. Oversigt over mulig N- og P-begrænsning gennem vækstsæsonen vurderet ud fra 4 indikatorer: 1) Gødningsforsøg (tilvækst i tørstof efter næringsberigning), 2) N&P i uberiget algevæv, 3) N/P i uberiget algevæv og 4) N&P i vandet. *Fosfatkoncentrationen var lav (under 2,5µM) selvom den ikke nåede ned på den formodede begrænsende koncentration (1µM).

	Maj 00	Juni 00	Juli 00	Aug 00	Sep 00	Apr 01	Maj 01	Jun 01
N & P i vandet (1)								
- N begrænsning	-		N	-	-	-	-	-
- P begrænsning	-		.*	.*	.*	.*	P	-
N&P i algevæv (8)								
- N begrænsning	-		-	-	-	-	-	-
- P begrænsning	P		P	P	-	-	-	-
N/P i Algevæv (8)								
- N begrænsning	-		-	-	-	-	-	-
- P begrænsning	P		P	P	P	P	-	(P)
N&P i algevæv (1)								
- N begrænsning	-	-		N	(N)		-	-
- P begrænsning	P	P		(P)	P		-	-
N/P i Algevæv (1)								
- N begrænsning	-	-		-	-		-	-
- P begrænsning	P	P		-	P		-	-
Gødningsforsøg (8)								
- N begrænsning	-		-	-	-	-	-	-
- P begrænsning	P		-	P	-	-	P	P
- NP synergi-effekt	-		NP	-	-	-	-	-

3.5 Nissum Fjord

3.5.1 Stationer

I Nissum Fjord blev der ikke gennemført gødningsforsøg, men der blev foretaget enkelte indsamlinger af algevæv til analyser af N og P på st. 21 og 22 (Figur 3.5.1).

3.5.2 Indhold af N og P i uberiget algevæv

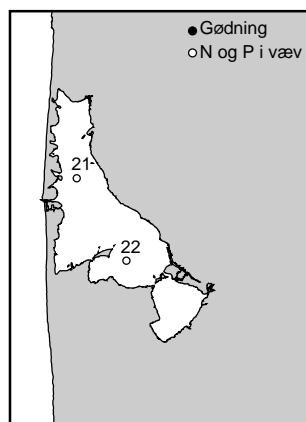
St. 22

Der blev foretaget en enkelt måling i juni 2000 på st. 22. Både N og P indholdet var relativt lave og potentielt begrænsende for væksten (Figur 3.5.2).

St. 21

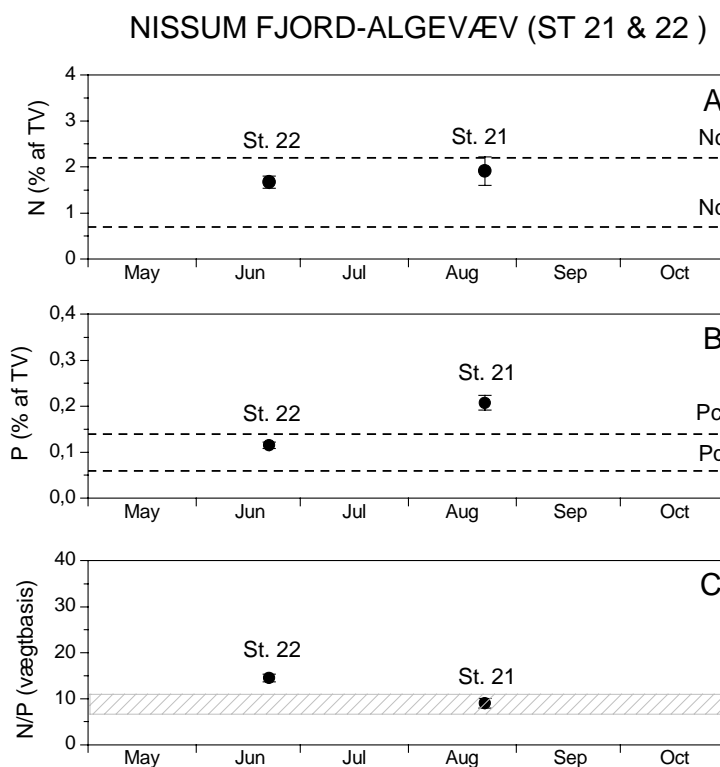
Der blev foretaget en enkelt måling i august 2000 på st. 21. Her var N-indholdet lidt højere og P-indholdet betydeligt højere end på st. 22, og der var ingen tydelige tegn på næringssaltbegrænsning (Figur 3.5.2).

Da omfanget af undersøgelserne i Nissum Fjord er meget begrænset er der ikke tilstrækkelig grundlag for at foretage en sammenligning med tidligere undersøgelser.



Figur 3.5.1. Stationsplacering i Nissum Fjord.

Figur 3.5.2. Indhold af kvælstof (a) og fosfor (b) samt N/P-forhold (c) i uberiget søsalat. Prøverne repræsenterer St. 21 og 22. Data er gennemsnit af 4 delprøver per indsamling. Error bars viser standard error. Formodede kritiske koncentrationer (Nc og Pc) og minimumkoncentrationer (Nq og Pq) samt intervallet for optimale N/P-forhold er indtegnet.

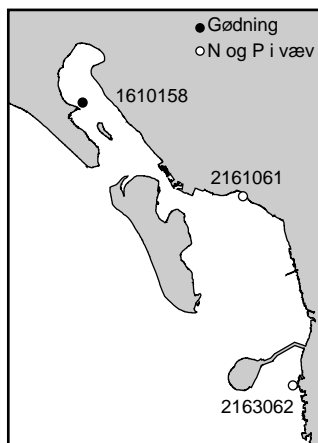


3.6 Vadehavet

3.6.1 Stationer

Gødningsforsøget foregik på st. 1610158 i Ho Bugt hvor vanddybden var 1,5-3,2 m. Algerne til gødningsforsøget blev indsamlet i en lavvandet lagune (0-30 cm) 2,7 km herfra.

Supplerende algeprøver til analyse af N og P blev indsamlet på st. 2161061 i Grådyb Tidevandsområde og på st. 2163062 i Juvre Dyb tidevandsområde. Begge lokaliteter var tørlagte ved lavvande og havde en vanddybde på 20-30 cm ved højvande.



Figur 3.6.1. Stationsplaceringer i Vadehavet.

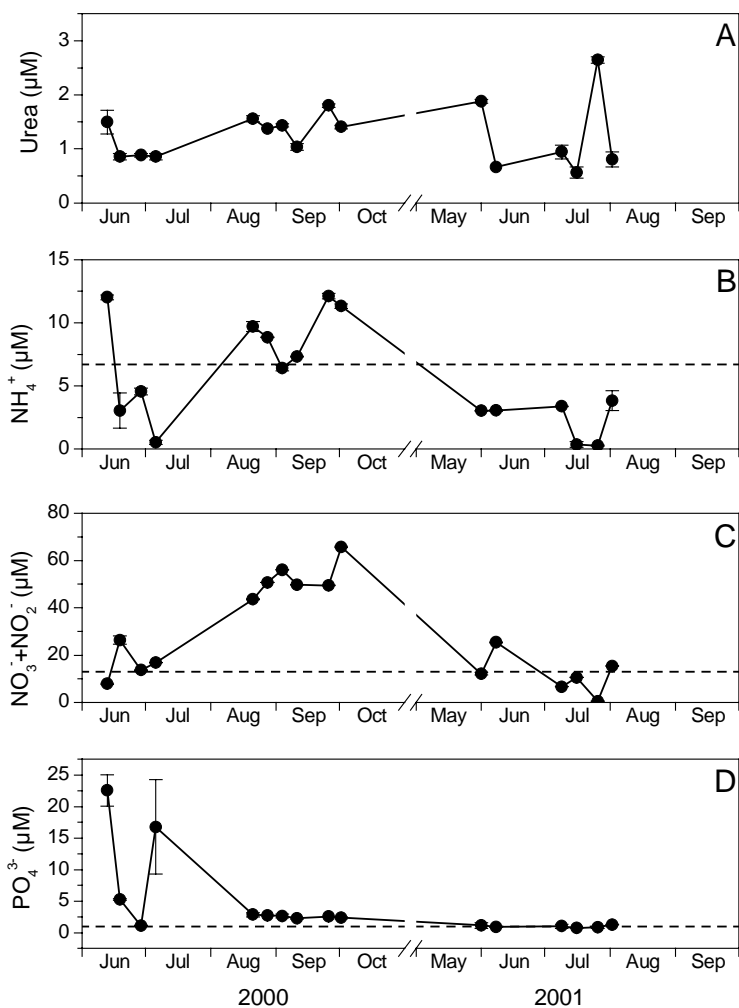
3.6.2 Uorganiske næringssalte i vandet

På stationen med gødningsforsøget var vandets koncentration af urea konsekvent under $2 \mu\text{M}$, bortset fra sidst i juli 2001, hvor koncentrationen var ca. $2,5 \mu\text{M}$ (Figur 3.6.2a).

Koncentrationen af uorganisk N var høj gennem hele prøvetagningsperioden og var betydeligt højere i 2000 end i 2001. Kun i juli 2001 var der mulighed for, at N kunne begrænse algevæksten (Figur 3.6.2b,c).

I juni og begyndelsen af juli 2000 var fosfatkoncentrationen høj, men fra august 2000 og gennem resten af prøvetagningsperioden var koncentrationen konsekvent under $3 \mu\text{M}$ og i juni-juli 2001 helt nede omkring $1 \mu\text{M}$ (Figur 3.6.2d).

VADEHAVET-VANDKEMI (St 1610158)



Figur 3.6.2. Koncentrationen af urea (a), NH_4^+ (b), $\text{NO}_3^- + \text{NO}_2^-$ (c) og PO_4^{3-} (d) i vandet omkring gødningsforsøget. Data er gennemsnit af 3 delprøver per indsamling. Error bars viser standard error. De stiplede linier angiver formodede begrænsende substrat koncentrationer.

3.6.3 Indhold af N og P i uberiget algevæv

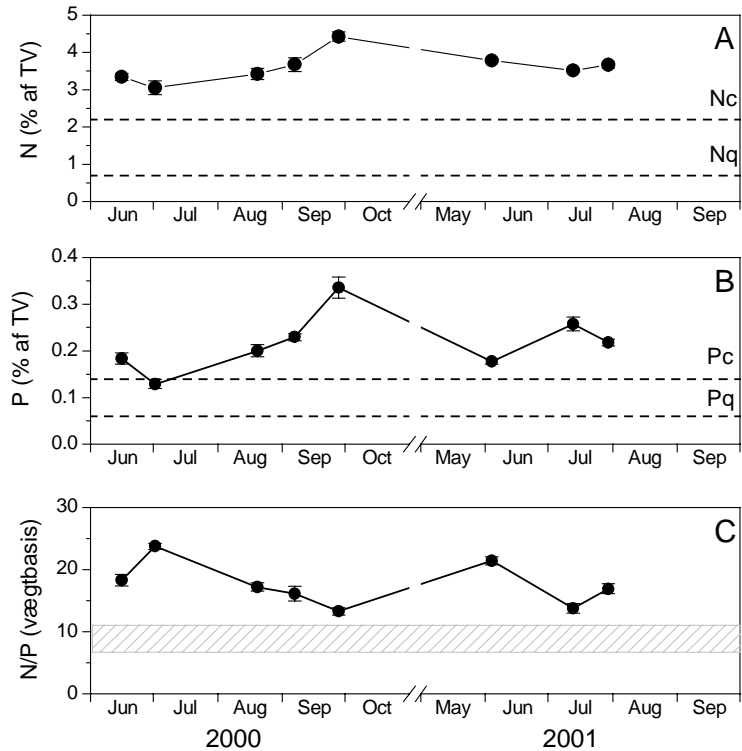
St. 1610158

På stationen, hvor gødningsforsøget foregik, var N-indholdet højt gennem hele prøvetagningsperioden og der var ingen tegn på N-begrænsning (Figur 3.6.3a).

P-indholdet i algevævet var også relativt højt gennem prøvetagningsperioden. Kun omkring 1. juli 2000 kan væksten have været fosforbegrænset (Figur 3.6.3b).

N/P-forholdet varierede fra 13 til 24 og selvom vævets koncentration af N og P var højt året igennem, tydede N/P-forholdet dermed på at algerne var P-begrænsede gennem hele måleperioden (Figur 3.6.3c).

VADEHAVET-ALGEVÆV (ST 1610158)



Figur 3.6.3. Indhold af kvælstof (a) og fosfor (b) samt N/P-forhold (c) i uberiget søsalat. Data repræsenterer uberigede kontrolprøver efter gødningsforsøget. Data er gennemsnit af 4 delprøver per indsamling. Error bars viser standard error. Formodede kritiske koncentrationer (Nc og Pc) og minimumkoncentrationer (Nq og Pq) samt intervallet for optimale N/P-forhold er indtegnet.

St. 2161061

N-indholdet havde et minimum på ca. 1,2 % af TV i juni 2000 og i juli 2001, og i disse perioder kan N have begrænset for væksten. Gennem resten af prøvetagningsperioden var N-indholdet mellem 2,5 og 3,7 og viste dermed ingen tegn på N-begrænsning (Figur 3.6.4a).

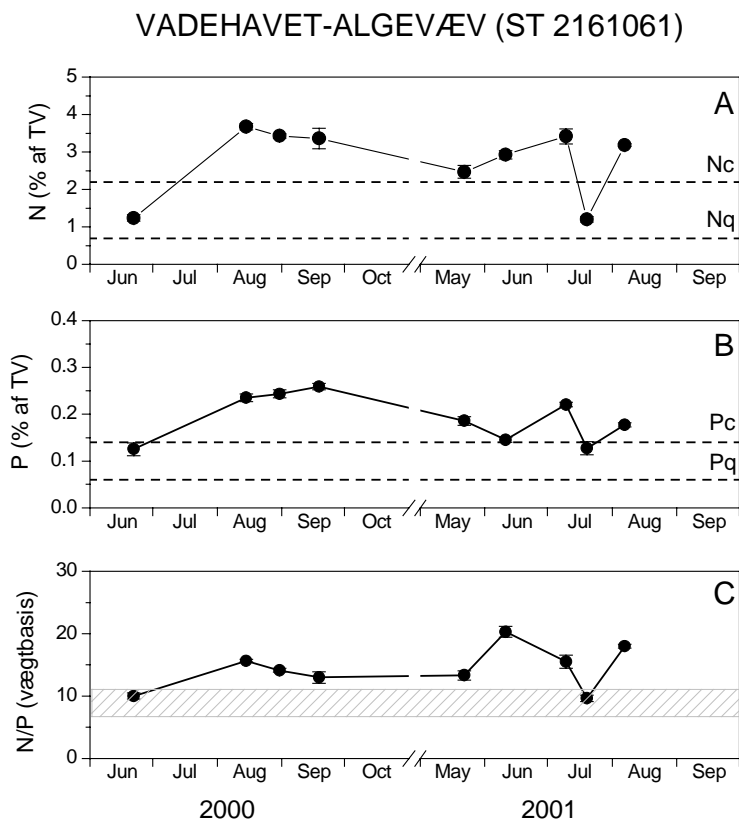
I juni 2000 samt i juni og juli 2001 var P-indholdet under 0,14 % af TV og dermed potentielt begrænsende for algevæksten. Gennem resten af prøvetagningsperioden var der ingen tegn på, at væksten var P-begrænset (Figur 3.6.4b).

N/P-forholdet viste ingen tegn på næringsbegrænsning i juni 2000 og juli 2001, men tydede i alle andre perioder på P-begrænsning (Figur 3.6.4c).

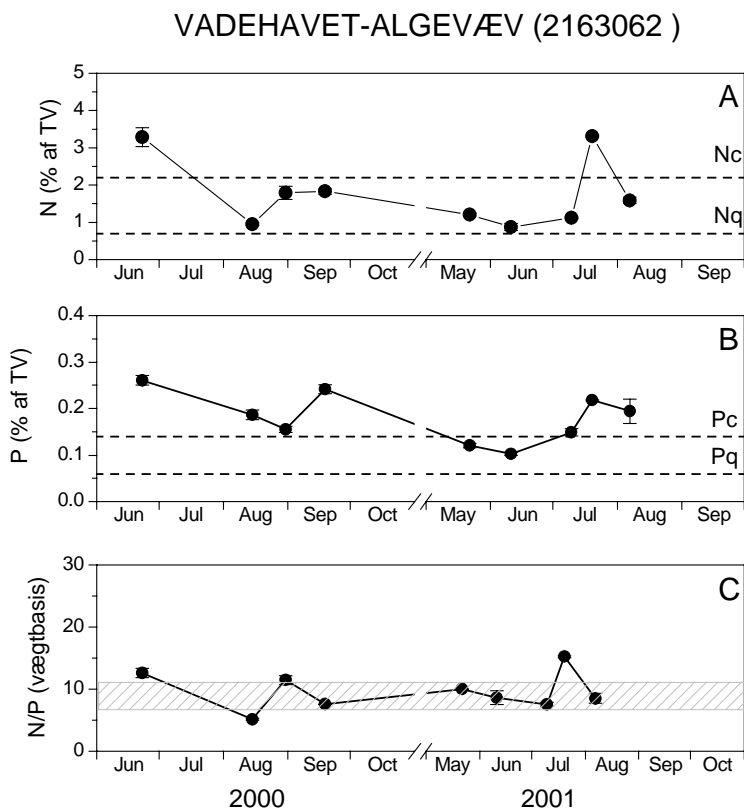
St. 2163062

N-indholdet på st. 2163062 var meget forskelligt fra indholdet på de to øvrige stationer. Det største N-indhold på knap 3,5 % af TV blev målt i juni 2000 og juli 2001. Gennem resten af prøvetagningsperioden var N-indholdet under 2 % af TV og dermed potentielt begrænsende for væksten (Figur 3.6.5a).

Figur 3.6.4. Indhold af kvælstof (A) og fosfor (B) samt N/P-forhold (C) i uberiget søsalat. Prøverne repræsenterer St. 2161061. Data er gennemsnit af 4 delprøver per indsamling. Error bars viser standard error. Formodede kritiske koncentrationer (Nc og Pc) og minimumkoncentrationer (Nq og Pq) samt intervallet for optimale N/P-forhold er indtegnet.



Figur 3.6.5. Indhold af kvælstof (a) og fosfor (b) samt N/P-forhold (c) i uberiget søsalat. Prøverne repræsenterer St. 2163062. Data er gennemsnit af 4 delprøver per indsamling. Error bars viser standard error. Formodede kritiske koncentrationer (Nc og Pc) og minimumkoncentrationer (Nq og Pq) samt intervallet for optimale N/P-forhold er indtegnet.

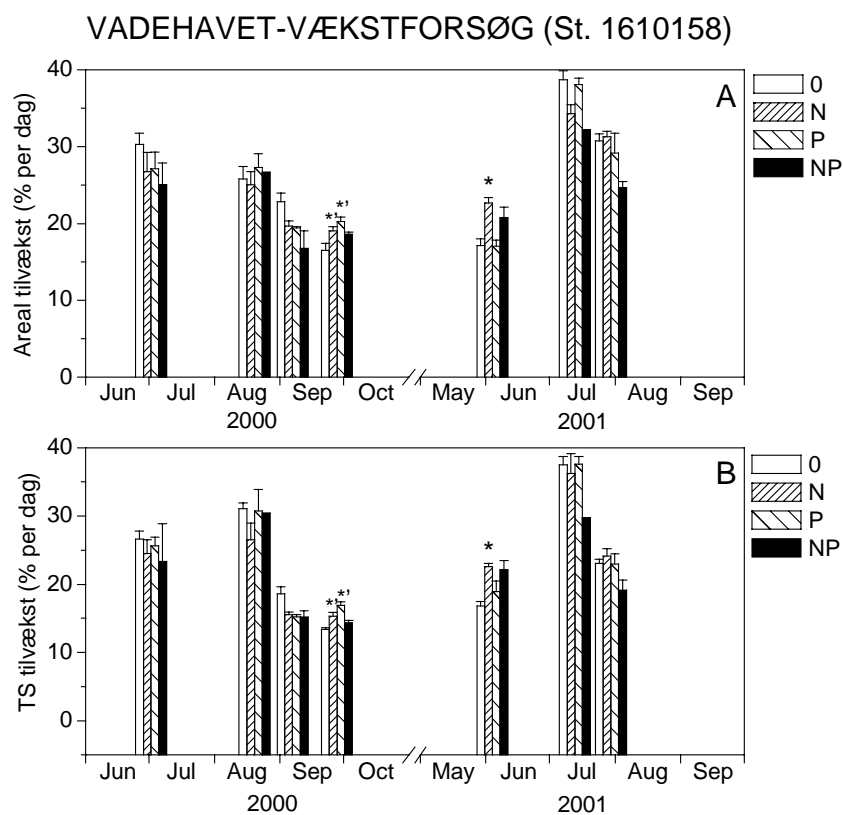


P-indholdet fulgte omtrent samme forløb som N-indholdet. I 2000 nåede P-indholdet kun omkring 1. september ned på koncentrationer, der var potentielt begrænsende for væksten. I forsommeren 2001 var P-koncentrationen lavere end i samme periode året før, og i maj-juni var der tegn på, at P begrænsede væksten (Figur 3.6.5b).

N/P-forholdet varierede mellem 5 og 16 og var typisk omkring 10. N/P-forholdet indikerede dermed optimale næringsforhold gennem størstedelen af perioden (Figur 3.6.5c).

3.6.4 Gødningsforsøg

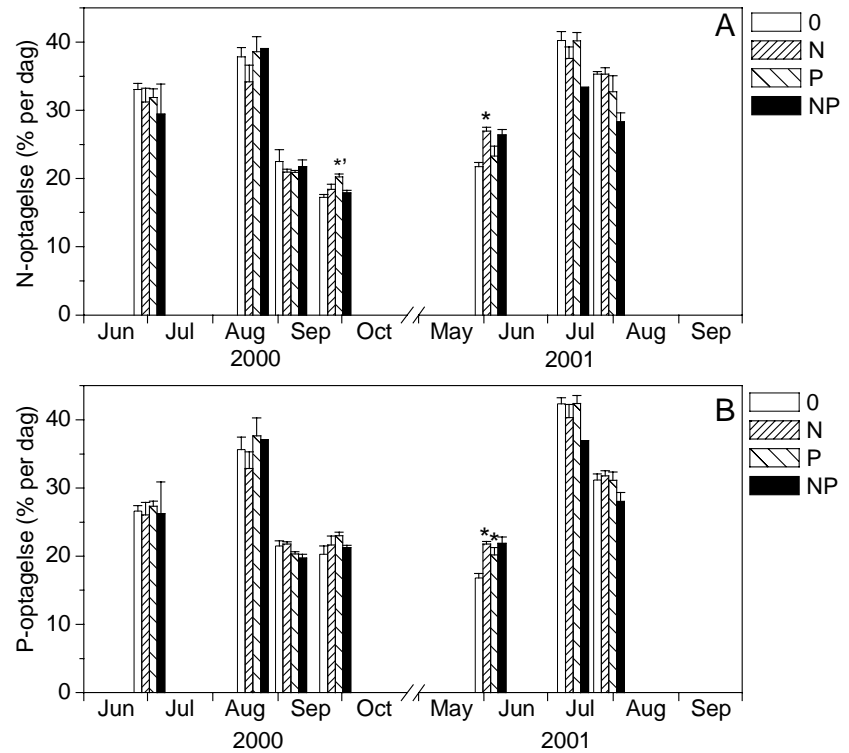
I september 2000 var vækstraten (tørstof) signifikant større efter separat berigning med N og P og forsøget tydede dermed på, at væksten var begrænset af begge næringssalte. Sidst i maj 2001 var der tegn på N-begrænsning. I de øvrige perioder var der ikke tegn på nærings-saltbegrænsning (Figur 3.6.6, Bilag 5 og 6).



Figur 3.6.6. Tilvækst i areal (a) og biomasse (b) for søsalat beriget med hhv. kvælstof (N), fosfor (P), og begge næringssalte (NP) sammenlignet med uberigede kontroller (0). Søjlerne viser gennemsnit af 4 delprøver per behandling. Error bars viser standard error. *: signifikant effekt af N, P eller NP i situationer med interaktion mellem N og P. **: signifikant effekt af N eller P i situationer uden interaktion mellem N og P.

Næringssaltberigning resulterede ikke i markante ændringer i algerne næringsoptagelse. Kun i september 2000 steg N-optagelsen efter berigning med P og i maj 2000 efter berigning med N. P-optagelsen steg efter berigning med N og P i maj 2000 (Figur 3.6.7a,b, Bilag 7 og 8).

VADEHAVET-VÆKSTFORSØG (St. 1610158)



Figur 3.6.7. Optagelseshastighed af kvælstof (a) og fosfor (b) for søsalat beriget med hhv. kvælstof (N), fosfor (P), og begge næringssalte (NP) sammenlignet med uberigede kontroller (0). Søjlerne viser gennemsnit af 4 delprøver per behandling. Error bars viser standard error. *: signifikant effekt af N, P eller NP i situationer med interaktion mellem N og P. *: signifikant effekt af N eller P i situationer uden interaktion mellem N og P.

3.6.5 Sammenfatning

Høje koncentrationer af uorganisk N i vandet udelukkede N-begrænsning gennem hele måleperioden bortset fra sidst i juli 2001. Derimod var fosfatkoncentrationen i vandet lav fra sidst i juni 2000 og året ud samt i maj-juli 2001, men nåede kun i maj-juli 2001 under det niveau vi formoder begrænser væksten. Gødningsforsøget viste ikke væsentlige tegn på næringssaltbegrænsning, og algevævets koncentration af N og P var heller ikke alarmerende lav (Tabel 3.6.1).

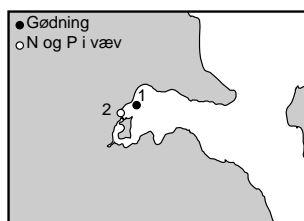
N-indholdet i algerne på st. 2163062 var betydeligt lavere end på de to øvrige stationer.

Tabel 3.6.1. Oversigt over mulig N- og P -begrænsning gennem vækstsæsonen vurderet ud fra 4 indikatorer: 1) N&P i vandet, 2) N&P i uberiget algevæv, 3) N/P i uberiget algevæv og 4) Gødningsforsøg (tilvækst i tørstof efter næringsberigning). *Fosfatkoncentrationen var lav (under 2,5µM) selvom den ikke nåede ned på den formodede begrænsende koncentration (1µM).

	Juni 00	Juli 00	Aug 00	Sep 00	Maj 01	Jun 01	Jul 01	Aug 01
N & P i vandet (1610158)								
- N begrænsning	-	-	-	-	-	-	-	N
- P begrænsning	-	-	*	*	*	P	P	P
N&P i algevæv (1610158)								
- N begrænsning	-	-	-	-	-	-	-	-
- P begrænsning	-	P	-	-	-	-	-	-
N/P i Algevæv (1610158)								
- N begrænsning	-	-	-	-	-	-	-	-
- P begrænsning	P	P	P	P	P	P	P	P
N&P i algevæv (2161061)								
- N begrænsning		N	-	-	-	-	-	N -
- P begrænsning		P	-	-	-	(P)	-	P -
N/P i Algevæv (2161061)								
- N begrænsning		-	-	-	-	-	-	-
- P begrænsning		-	P	P	P	P	P	- P
N&P i algevæv (2163062)								
- N begrænsning		-	N	N	N	N	N	- N
- P begrænsning		-	-	-	-	P	P	- -
N/P i Algevæv (2163062)								
- N begrænsning		-	N	-	-	-	-	-
- P begrænsning		P	-	(P)	-	-	-	P -
Gødningsforsøg (1610158)								
- N begrænsning		-	-	-	N	N	-	-
- P begrænsning		-	-	-	P	-	-	-
- NP synergi-effekt		-	-	-	-	-	-	-

3.7 Genner Bugt

3.7.1 Stationer



Figur 3.7.1. Stationsplacering i Genner Bugt.

Der var ganske lidt søsalat i de sønderjyske fjorde i 2000 og 2001 og derfor er der kun gennemført to prøvetagninger i Genner Bugt. Gødningsforsøget foregik på st. 1 (Figur 3.7.1). Prøverne til gødningsforsøget blev i august 2000 indsamlet i et lukket område med lille vandudskiftning, mens de i juni 2001 blev indsamlet langs kysten omkring st. 2. Supplerende algeprøver til analyser af N og P i algevævet blev indsamlet på st. 2.

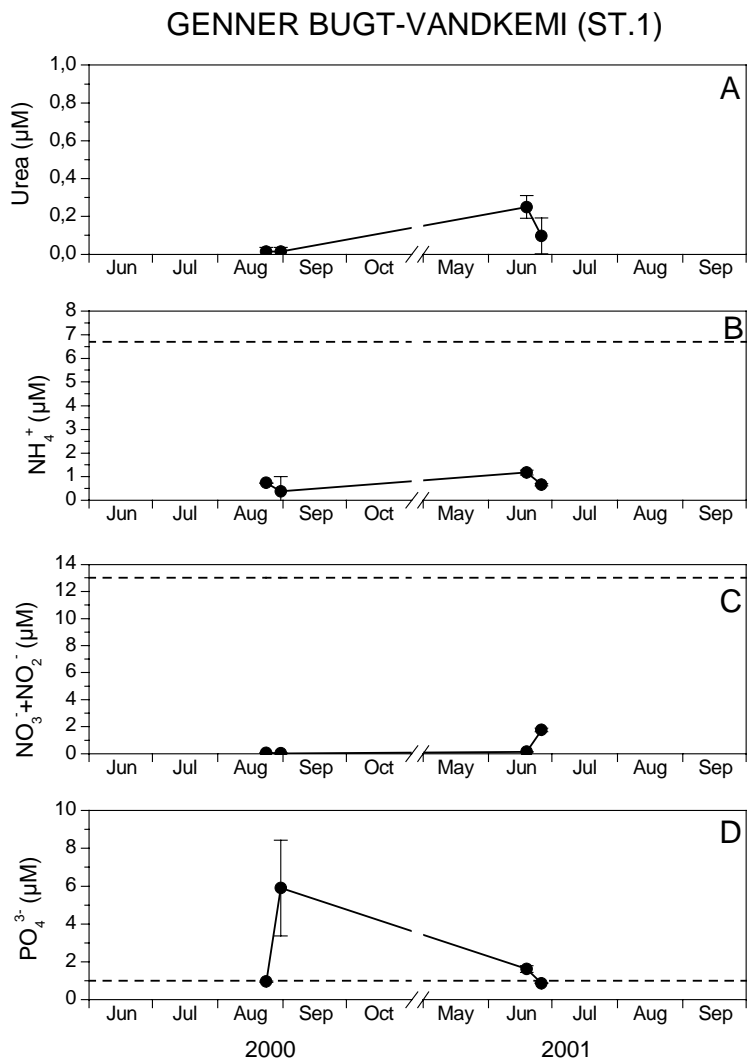
3.7.2 Uorganiske næringsalte i vandet

Vandets koncentration af urea var meget lav (<0,3µM) ved begge prøvetagninger (Figur 3.7.2a).

Vandets koncentration af uorganisk N var meget lav og potentielt begrænsende for algevæksten i begge prøvetagningsperioder (Figur 3.7.2b og c).

I begge prøvetagningsperioder optrådte fosfat koncentrationer omkring det begrænsende niveau (1µM, Figur 3.7.2d).

Figur 3.7.2. Koncentrationen af urea (A), NH_4^+ (B), $\text{NO}_3^- + \text{NO}_2^-$ (C) og PO_4^{3-} (D) i vandet omkring gødningsforsøget. Data er gennemsnit af 3 delprøver per indsamling. Error bars viser standard error. De stiplede linier angiver formodede begrænsende substratkoncentrationer.



3.7.3 Indhold af N og P i uberiget algevæv

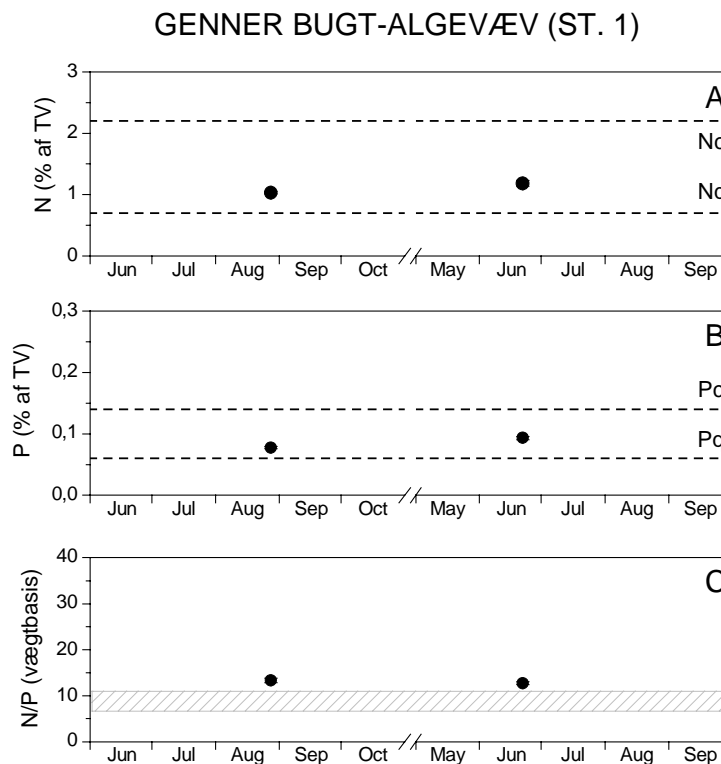
St. 1

På st. 1, hvor gødningsforsøget fandt sted, var både N- og P-indholdet i algerne lavt og potentielt begrænsende for produktionen i begge prøvetagningsperioder. N/P-forholdet tydede på svag P-begrænsning (Figur 3.7.3).

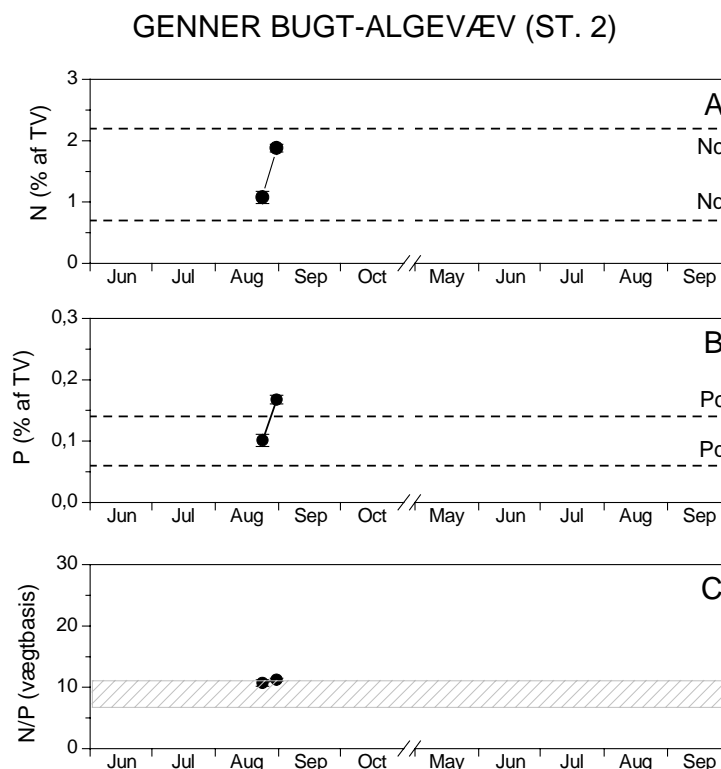
St. 2

Koncentrationerne af N og P i algevævet på station 2 lignede niveauet på station 2, og både P og N kunne potentielt have begrænset væksten i august 2000 (Figur 3.7.4).

Figur 3.7.3. Indhold af kvælstof (A) og fosfor (B) samt N/P-forhold (C) i uberiget søsalat. Data repræsenterer uberigede kontrolprøver efter afslutning af gødningsforsøget. Data er gennemsnit af 4 delprøver per indsamling. Error bars viser standard error. Formodede kritiske koncentrationer (Nc og Pc) og minimumkoncentrationer (Nq og Pq) samt intervallet for optimale N/P-forhold er indtegnat.



Figur 3.7.4. Indhold af kvælstof (A) og fosfor (B) samt N/P-forhold (C) i uberiget søsalat. Prøverne repræsenterer St. 2. Data er gennemsnit af 4 delprøver per indsamling. Error bars viser standard error. Formodede kritiske koncentrationer (Nc og Pc) og minimumkoncentrationer (Nq og Pq) samt intervallet for optimale N/P-forhold er indtegnat.



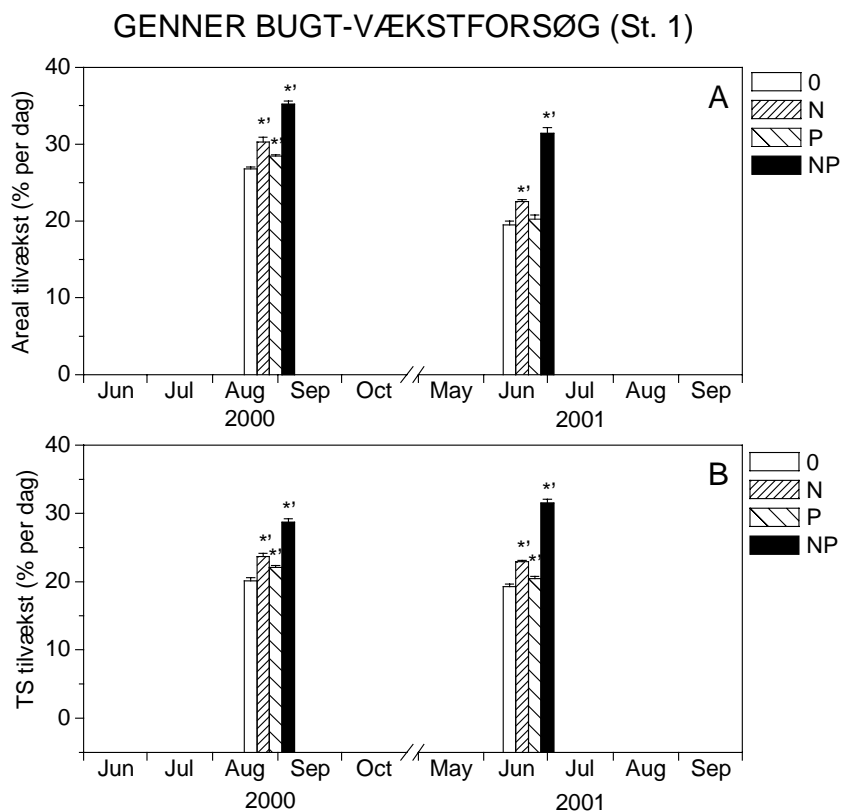
3.7.4 Gødningsforsøg

I august 2000 og i juni 2001 var algerne begrænsede af både N og P og effekterne af de to næringssalte forstærkede hinanden (Figur 3.7.5, Bilag 5 og 6).

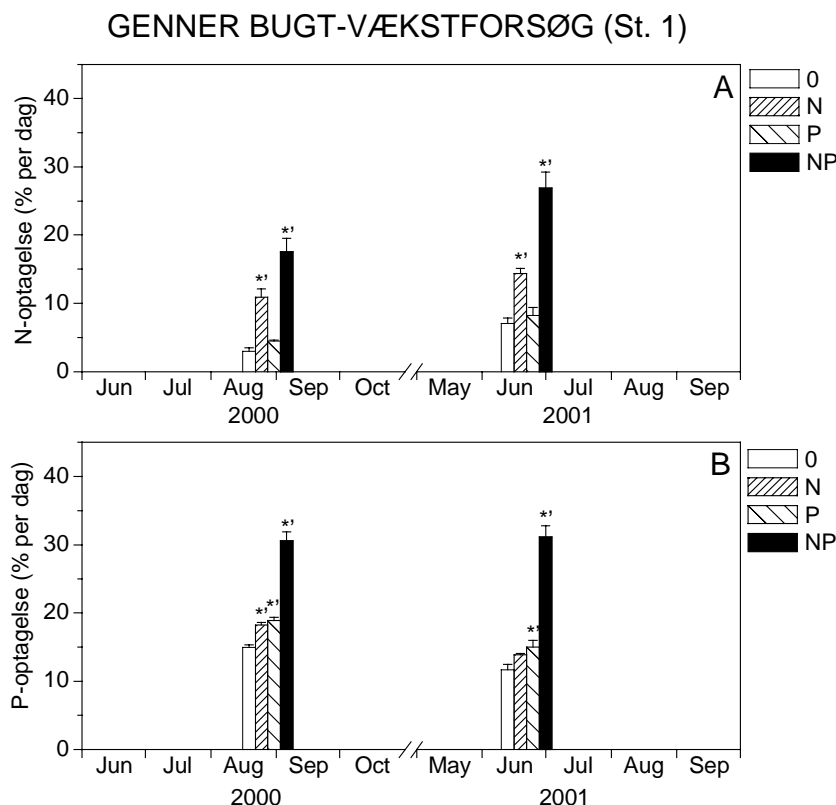
Berigning med N forøgede algerne N-optagelse markant i begge forsøgsperioder. Denne effekt blev forstærket ved berigning med N og P i kombination, men berigning med P alene havde ingen effekt (Figur 3.7.6a, Bilag 7).

Berigning med N og P hver for sig forøgede algerne P-optagelse en smule, mens berigning med N og P i kombination forstærkede effekten markant (Figur 3.7.6b, Bilag 8).

Figur 3.7.5. Tilvækst i areal (a) og biomasse (b) for søsalat beriget med hhv. kvælstof (N), fosfor (P), og begge næringsalte (NP) sammenlignet med uberigede kontroller (0). Søjlerne viser gennemsnit af 4 delprøver per behandling. Error bars viser standard error. *: signifikant effekt af N, P eller NP i situationer med interaktion mellem N og P. *: signifikant effekt af N eller P i situationer uden interaktion mellem N og P.



Figur 3.7.6. Optagelseshastighed af kvælstof (a) og fosfor (b) for søsalat beriget med hhv. kvælstof (N), fosfor (P), og begge næringsalte (NP) sammenlignet med uberigede kontroller (0). Søjlerne viser gennemsnit af 4 delprøver per behandling. Error bars viser standard error. *: signifikant effekt af N, P eller NP i situationer med interaktion mellem N og P. *: signifikant effekt af N eller P i situationer uden interaktion mellem N og P.



3.7.5 Sammenfatning

Både gødningsforsøget, næringskoncentrationerne i algevævet og nærings saltkoncentrationerne i vandet pegede på, at algerne produktion var begrænset af både N og P i såvel august 2000 som juni 2001 (Tabel 3.7.1).

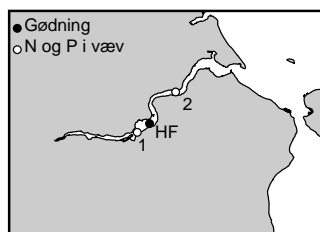
Tabel 3.7.1. Oversigt over mulig N- og P -begrænsning gennem vækstsæsonen vurderet ud fra 4 indikatorer: 1) N&P i vandet, 2) N&P i uberiget algevæv, 3) N/P i uberiget algevæv og 4) Gødningsforsøg (tilvækst i tørstof efter næringsberigning).

	Aug 00	Juni 01
N & P i vandet (I)		
- N begrænsning	N	N
- P begrænsning	P	P
N&P i algevæv (I)		
- N begrænsning	N	N
- P begrænsning	P	P
N/P i Algevæv (I)		
- N begrænsning	-	-
- P begrænsning	P	P
Gødningsforsøg (I)		
- N begrænsning	N	N
- P begrænsning	P	P
- NP synergi-effekt	NP	NP

3.8 Haderslev Fjord

3.8.1 Stationer

Gødningsforsøget foregik på st. HF midt i Haderslev Fjord. Prøverne til gødningsforsøget blev indsamlet langs kysten i varierende afstand fra st. HF (Figur 3.8.1). Supplerende prøver til analyser af N og P i algevæv blev indsamlet på st. 1, længere inde i fjorden, og på st. 2 nærmere fjordens udmunding (Figur 3.8.1).



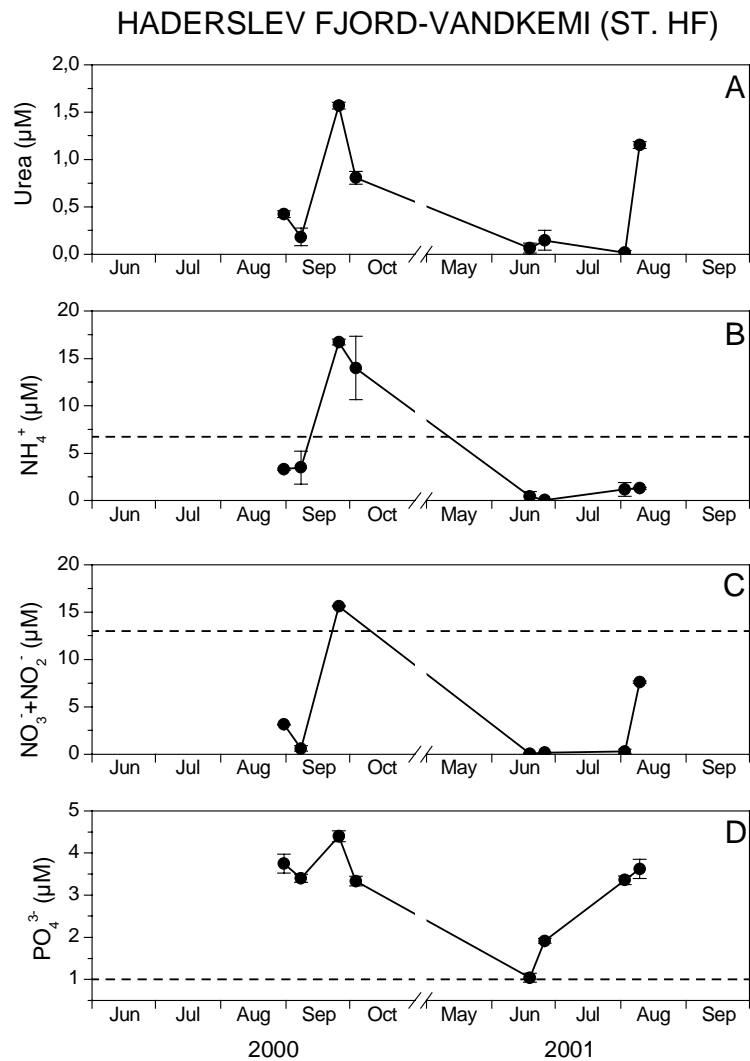
Figur 3.8.1. Stationsplacering i Haderslev Fjord.

3.8.2 Uorganiske næringsalte i vandet

På stationen med gødningsforsøget var vandets koncentration af urea relativt lav. Den højeste koncentration på godt 1,5 μM blev målt i september 2000 (Figur 3.8.2a).

Koncentrationen af uorganisk N nåede ned på potentielt begrænsende niveauer for algevæksten sidst i august 2000 og i juni-august 2001 (Figur 3.8.2b,c).

Lave koncentrationer af fosfat tydede på, at væksten var P-begrænset i juni 2001 (Figur 3.8.2d).



Figur 3.8.2. Koncentrationen af urea (a), NH₄⁺ (b), NO₃⁻+NO₂⁻ (c) og PO₄³⁻ (d) i vandet omkring gødningsforsøget. Data er gennemsnit af 3 delprøver per indsamling. Error bars viser standard error. De stiplede linier angiver formodede begrænsende substrat koncentrationer.

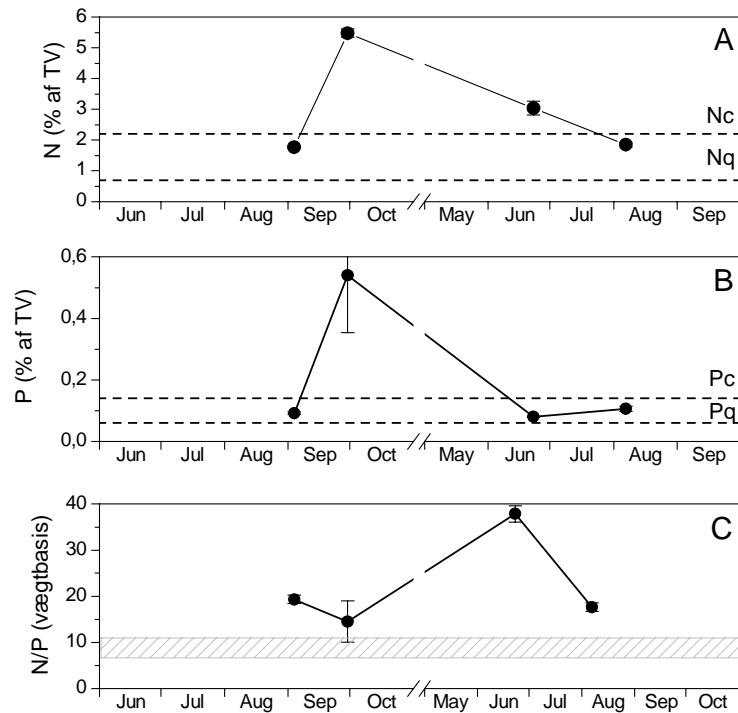
3.8.3 Indhold af N og P i uberiget algevæv

St. HF

På stationen, hvor gødningsforsøget foregik, var algernes N-indhold under den kritiske koncentration i august 2000 og 2001, men over dette niveau gennem resten af forsøgsperioden. P-indholdet var potentielt begrænsende for væksten i august 2000 og i juni-august 2001 (Figur 3.8.3a,b).

N/P-forholdet tydede på P-begrænsning gennem hele måleperioden (Figur 3.8.3c).

HADERSLEV FJORD-ALGEVÆV (ST. HF)



Figur 3.8.3. Indhold af kvælstof (a) og fosfor (b) samt N/P-forhold (c) i uberiget søsalat. Data repræsenterer uberigede kontrolprøver efter afslutning af gødningsforsøget. Data er gennemsnit af 4 delprøver per indsamling. Error bars viser standard error. Formodede kritiske koncentrationer (Nc og Pc) og minimumkoncentrationer (Nq og Pq) samt intervallet for optimale N/P-forhold er indtegnet.

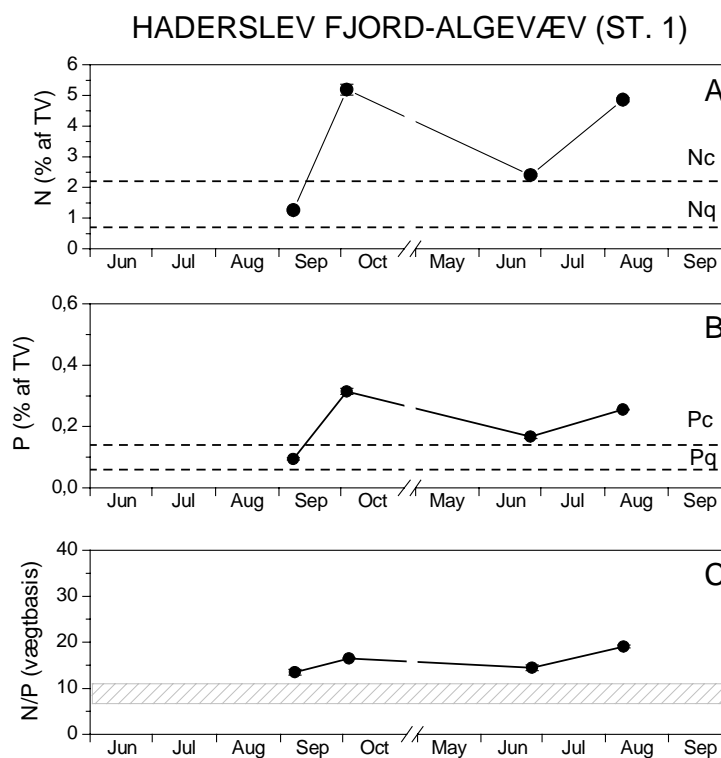
St. 1

På st. 1 var algernes N-indhold meget lavt og potentielt begrænsende først i september 2000. I juni 2001 var indholdet også nær den kritiske koncentration, men i august steg det markant (Figur 3.8.4a).

P-indholdet i algevævet fulgte samme forløb som N-indholdet. Først i september 2000 var indholdet potentielt begrænsende for væksten (Figur 3.8.4b).

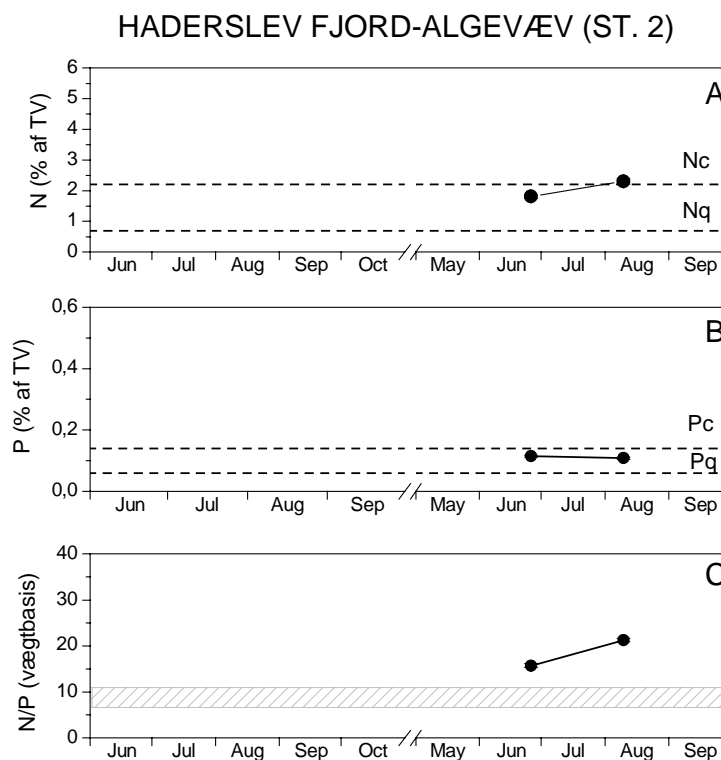
N/P-forholdet tydede på P-begrænsning gennem hele måleperioden (Figur 3.8.4c).

Figur 3.8.4. Indhold af kvælstof (A) og fosfor (B) samt N/P-forhold (C) i uberiget søsalat. Prøverne repræsenterer St. 1. Data er gennemsnit af 4 delprøver per indsamling. Error bars viser standard error. Formodede kritiske koncentrationer (Nc og Pc) og minimumkoncentrationer (Nq og Pq) samt intervallet for optimale N/P-forhold er indtegnet.



St. 2

På st. 2 var N indholdet under den kritiske koncentration i juni 2001 og lidt over denne koncentration i august 2001. P-indholdet var potentielt begrænsende for produktionen i både juni og august 2001. N/P-forholdet indikerede P-begrænsning (Figur 3.8.5A,B,C).

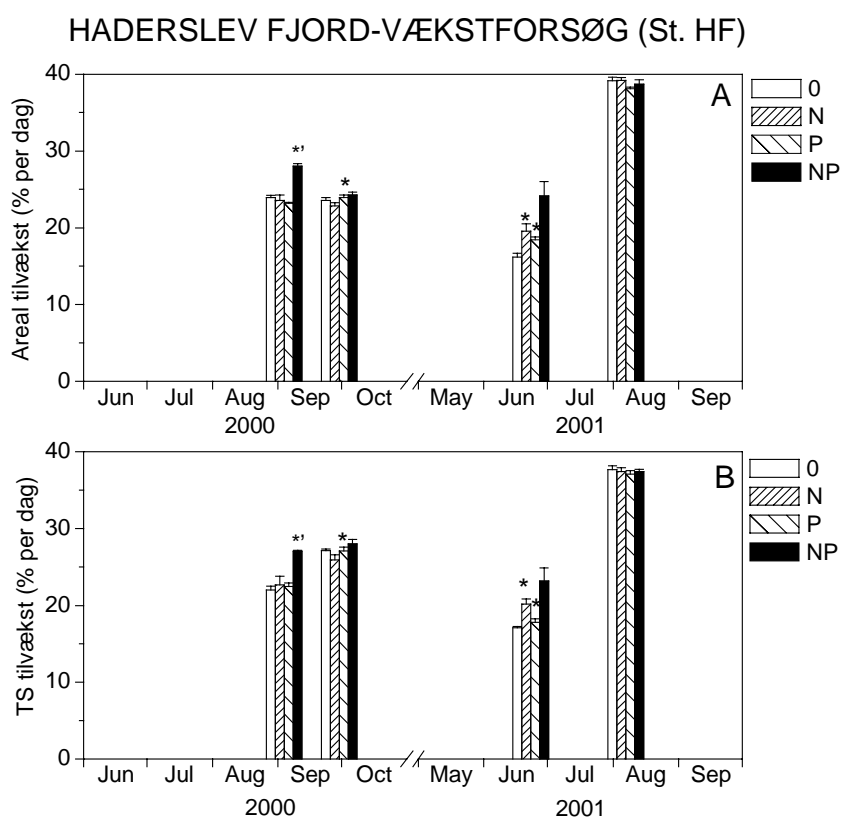


Figur 3.8.5. Indhold af kvælstof (A) og fosfor (B) samt N/P-forhold (C) i uberiget søsalat. Prøverne repræsenterer St. 2. Data er gennemsnit af 4 delprøver per indsamling. Error bars viser standard error. Formodede kritiske koncentrationer (Nc og Pc) og minimumkoncentrationer (Nq og Pq) samt intervallet for optimale N/P-forhold er indtegnet.

3.8.4 Gødningsforsøg

Det var småt med søsalat på stationen, så i nogle tilfælde blev algerne til vækstofforsøget indsamlet et stykke væk. Sidst i august 2000 steg algernes vækstrate signifikant efter berigning med N og P i kombination, men der var ingen effekt af berigning med næringssaltene hver for sig, så algerne var begrænsede af begge næringsalte. I september 2000 var der tegn på N-begrænsning (Figur 3.8.6, Bilag 5 og 6).

I juni 2001 var algerne igen begrænsede af både N og P, men effekten af det ene nærings salt forstærkede ikke effekten af det andet i denne periode. I de øvrige perioder var der ikke tegn på nærings saltbegrænsning (Figur 3.8.6).

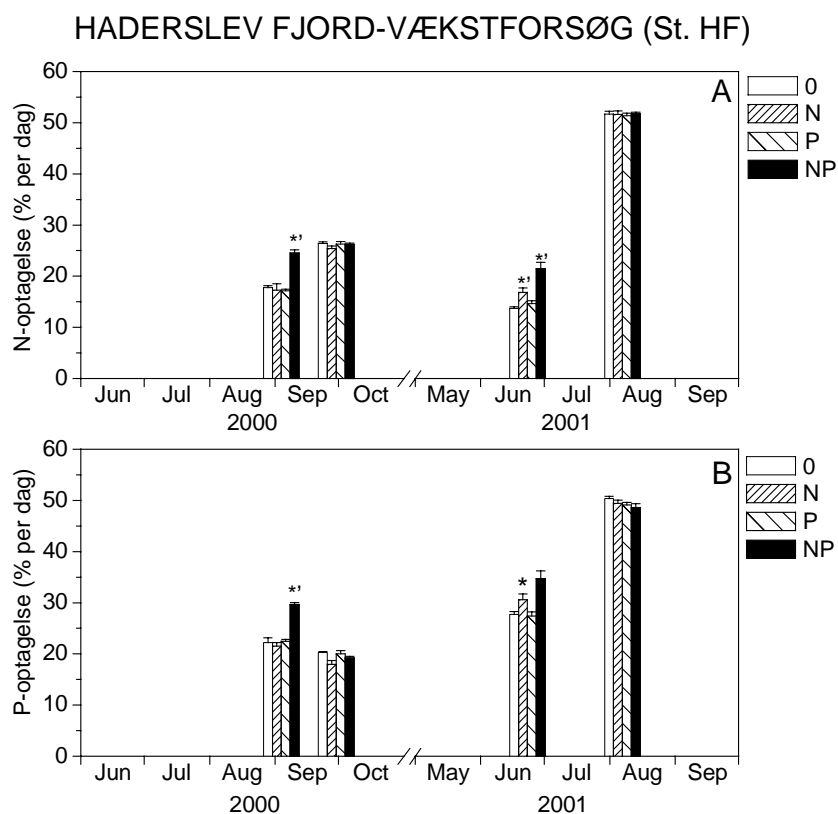


Figur 3.8.6. Tilvækst i areal (A) og biomasse (B) for søsalat beriget med hhv. kvælstof (N), fosfor (P), og begge næringsalte (NP) sammenlignet med uberigede kontroller (0). Søjlerne viser gennemsnit af 4 delprøver per behandling. Error bars viser standard error. *: signifikant effekt af N, P eller NP i situationer med interaktion mellem N og P. *: signifikant effekt af N eller P i situationer uden interaktion mellem N og P.

Berigning med N og P i kombination forøgede algerne N-optagelse sidst i august 2000 og i juni 2001, og i begge perioder forstærkede effekterne af de to næringsalte hinanden. I juni 2001 var der også en separat effekt af N-berigning (Figur 3.8.7a, Bilag 7).

Berigning med N og P i kombination havde også en forstærkende effekt på algerne P-optagelse sidst i august 2000. Berigning med N alene gav en mindre stigning i P-optagelsen i juni 2001 (Figur 3.8.7b, Bilag 8).

Figur 3.8.7. Optagelseshastighed af kvælstof (A) og fosfor (B) for søsalat beriget med hhv. kvælstof (N), fosfor (P), og begge nærings-salte (NP) sammenlignet med uberigede kontroller (0). Søjlerne viser gennemsnit af 4 delprøver per behandling. Error bars viser standard error. *: signifikant effekt af N, P eller NP i situationer med interaktion mellem N og P. *: signifikant effekt af N eller P i situationer uden interaktion mellem N og P.



Tabel 3.8.1. Oversigt over mulig N- og P-begrænsning gennem vækstsæsonen vurderet ud fra 4 indikatorer: 1) Gødningsforsøg (tilvækst i tørstof efter næringsberigning), 2) N&P i uberiget algevæv, 3) N/P i uberiget algevæv og 4) N&P i vandet.

	Aug 00	Sep 00	Jun 01	Jul 01	Aug 01
N & P i vandet (1)					
- N begrænsning	N	-	N		N
- P begrænsning	-	-	P		-
N&P i algevæv (HF)					
- N begrænsning	N	-	-		N
- P begrænsning	P	-	P		P
N/P i Algevæv (HF)					
- N begrænsning	-	N	-		-
- P begrænsning	P	P	P		P
N&P i algevæv (1)					
- N begrænsning	N	-	-		-
- P begrænsning	P	-	-		-
N/P i Algevæv (1)					
- N begrænsning	-	-	N		-
- P begrænsning	P	P	P		P
N&P i algevæv (2)					
- N begrænsning			N		-
- P begrænsning			P		P
N/P i Algevæv (2)					
- N begrænsning			-		-
- P begrænsning			P		P
Gødningsforsøg (HF)					
- N begrænsning	-	-	N		-
- P begrænsning	-	P	P		-
- NP synergi-effekt	NP	-	-		-

3.8.5 Sammenfatning

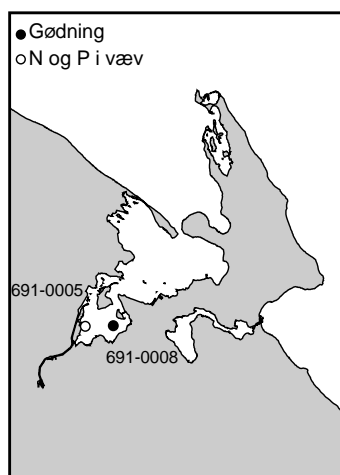
Der var flere tegn på kombineret N- og P-begrænsning i august 2000 og juni 2001 og tegn på P-begrænsning i september 2000. Gødningsforsøget viste ingen tegn på næringssaltbegrænsning i august 2001 (Tabel 3.8.1).

3.9 Odense Fjord

3.9.1 Stationer

Gødningsforsøget foregik på st. 691-0008 hvor vanddybden var 0,8 m (Figur 3.9.1).

Supplerende prøver til analyser af N og P-indhold i algevæv blev indsamlet på st. 691-0005 hvor vanddybden var 1,2 m.



Figur 3.9.1. Stationsplacering i Odense Fjord.

3.9.2 Uorganiske næringssalte i vandet

På stationen med gødningsforsøget var vandets koncentration af urea maksimal i august 2001 ($5\mu\text{M}$) men i resten af prøvetagningsperioden var koncentrationen under $1\mu\text{M}$ (Figur 3.9.2A).

Koncentrationen af uorganisk N var potentielt begrænsende for algevæksten gennem hele prøvetagningsperioden (Figur 3.9.2B,C).

Koncentrationen af fosfat i vandet tydede på, at P begrænsede væksten i juni-juli 2000 samt i juni 2001 (Figur 3.9.5D).

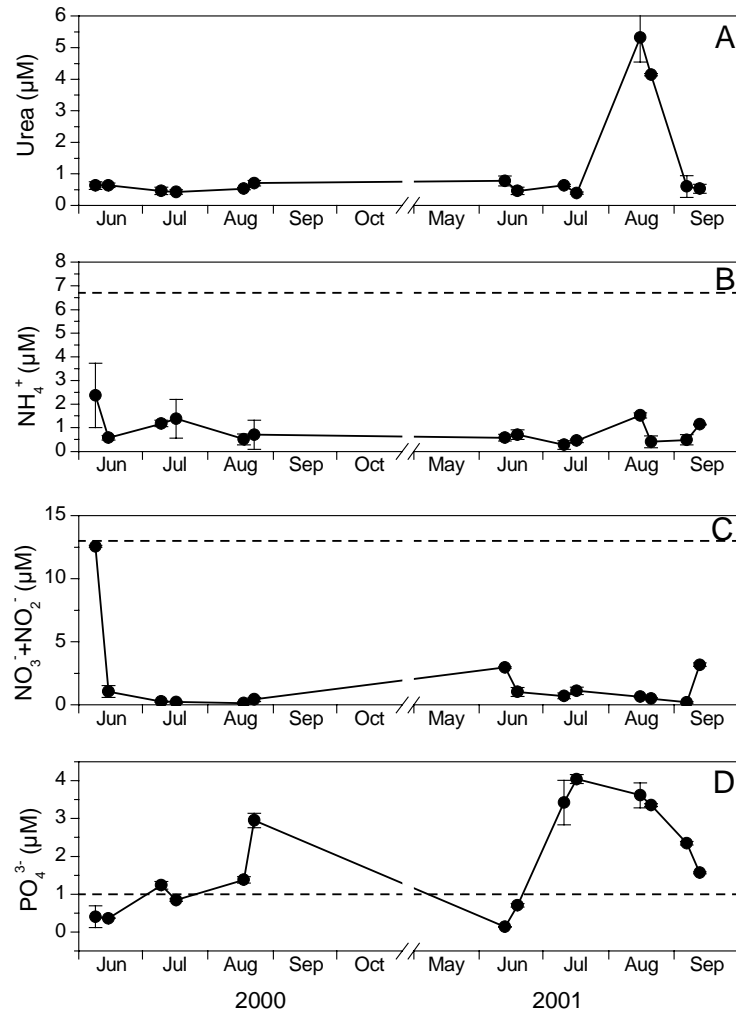
3.9.3 Indhold af N og P i uberiget algevæv

St. 691-0008

På stationen, hvor gødningsforsøget foregik, var algernes N-indhold under den kritiske koncentration gennem størstedelen af prøvetagningsperioden. Kun i juni 2001 var der ikke tegn på N-begrænsning i juli og august (Figur 3.9.3A).

P-indholdet i algevævet var lige omkring den kritiske koncentration i juni 2000 og 2001, men var relativt højt i resten af prøvetagningsperioden og specielt højt i sensommeren (Figur 3.9.3B).

ODENSE FJORD-VANDKEMI (ST. 691-0008)



Figur 3.9.2. Koncentrationen af urea (A), NH_4^+ (B), $\text{NO}_3^- + \text{NO}_2^-$ (C) og PO_4^{3-} (D) i vandet omkring gødningsforsøget. Data er gennemsnit af 3 delprøver per indsamling. Error bars viser standard error. De stiplede linier angiver formodede begrænsende substrat koncentrationer.

N/P-forholdet indikerede markant P-begrænsning i maj 2000 og svag P-begrænsning i juni 2001. Midt på sommeren 2000 var der tegn på N-begrænsning (Figur 3.9.3C).

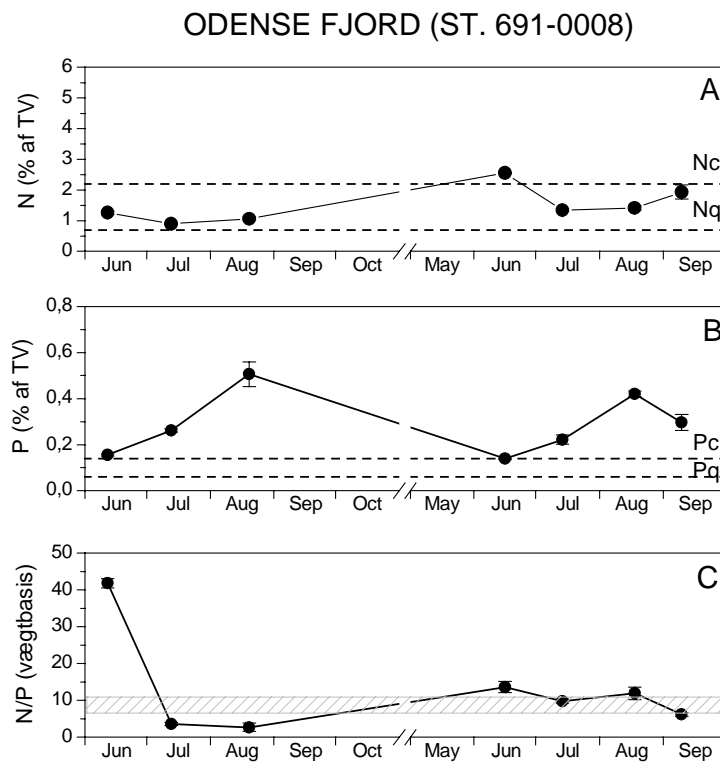
St. 691-0005

Algeres N-indhold på St. 691-0005 fulgte samme sæsonforløb som på St. 691-0008, men niveauet var betydeligt højere. Kun i juli 2000 var der tegn på N-begrænsning (Figur 3.9.4A).

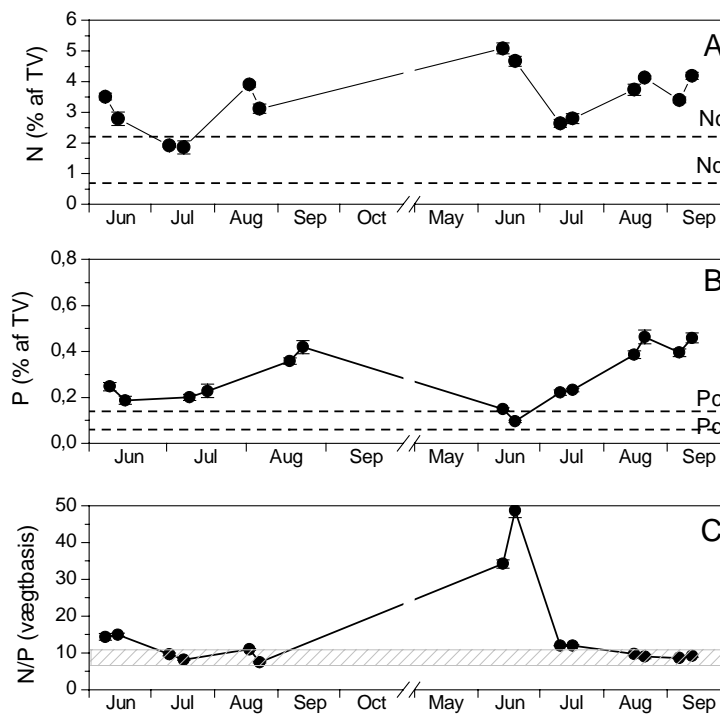
Algeres P-indhold på St. 691-0005 lignede meget situationen på St. 691-0008, og der var tegn på P-begrænsning i juni 2001 (Figur 3.9.4B).

Pga. det højere N-indhold i algerne, var N/P-forholdet også højere end på St. 691-0008 og i juni 2000 og 2001 var der tegn på P-begrænsning (Figur 3.9.4C).

Figur 3.9.3. Indhold af kvælstof (A) og fosfor (B) samt N/P-forhold (C) i uberiget søsalat. Data repræsenterer uberigede kontrolprøver efter afslutning af gødningsforsøget. Data er gennemsnit af 4 delprøver per indsamling. Error bars viser standard error. Formodede kritiske koncentrationer (Nc og Pc) og minimumkoncentrationer (Nq og Pq) samt intervallet for optimale N/P-forhold er indtegnet.



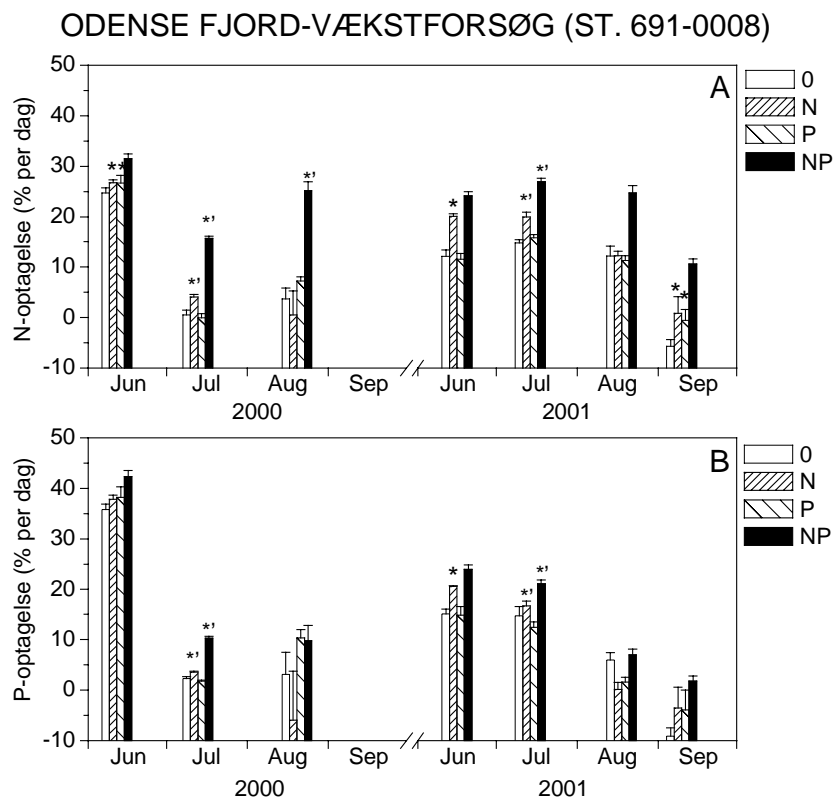
ODENSE FJORD (ST. 691-0005)



Figur 3.9.4. Indhold af kvælstof (A) og fosfor (B) samt N/P-forhold (C) i uberiget søsalat. Prøverne repræsenterer St. 691-0005. Data er gennemsnit af 4 delprøver per indsamling. Error bars viser standard error. Formodede kritiske koncentrationer (Nc og Pc) og minimumkoncentrationer (Nq og Pq) samt intervallet for optimale N/P-forhold er indtegnet.

3.9.4 Gødningsforsøg

Algerne voksede meget i juni 2000, men resten af sommeren 2000 kunne de uberigede alger ikke opretholde en positiv vækst og i 2001 var deres vækst generelt lav (Figur 3.9.5).



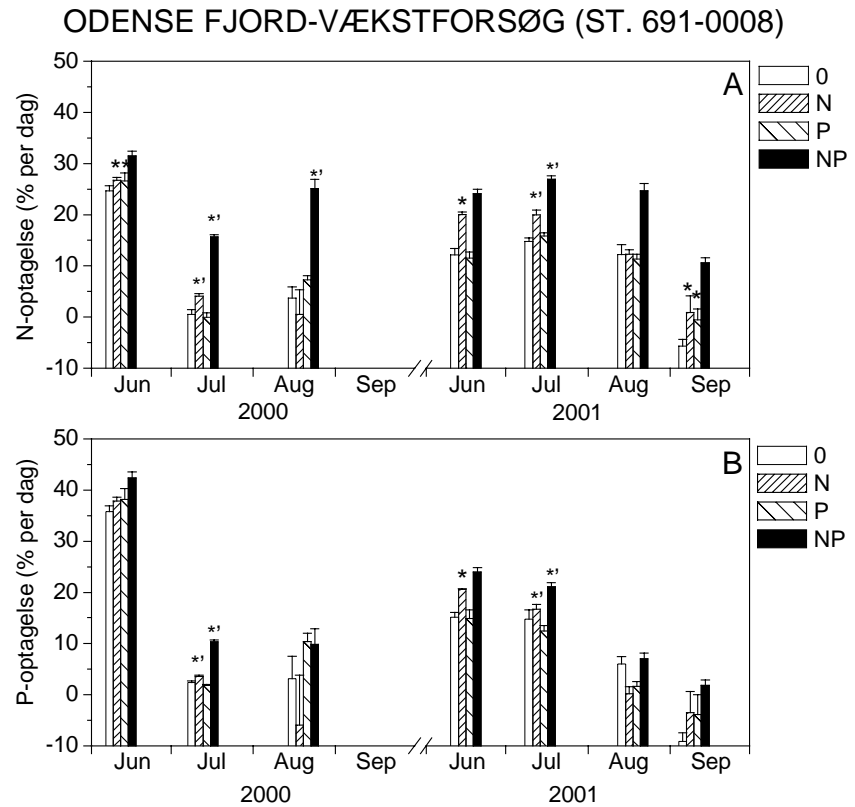
Figur 3.9.5. Tilvækst i areal (a) og biomasse (b) for søsalat beriget med hhv. kvælstof (N), fosfor (P), og begge næringsalte (NP) sammenlignet med uberigede kontroller (0). Søjlerne viser gennemsnit af 4 delprøver per behandling. Error bars viser standard error. *': signifikant effekt af N, P eller NP i situationer med interaktion mellem N og P. *: signifikant effekt af N eller P i situationer uden interaktion mellem N og P.

I samtlige prøvetagningsperioder var algerne vækst næringsbegrænset. I juli-august 2000 og juli-september 2001 var algerne begrænsede af både N og P, og effekterne af de to næringsalte forstærkede hinanden. Gødningsforsøget tydede på, at P alene begrænsede væksten i juni 2000, mens N alene begrænsede væksten i juni og september 2001 (Figur 3.9.5, Bilag 5 og 6).

I samtlige prøvetagningsperioder steg algerne N-optagelse efter næringsaltberigning, og i de fleste perioder gav både N- og P berigning en forøget optagelsesrate (Figur 3.9.6A, Bilag 7).

I juli 2000 og 2001 steg algerne P-optagelse efter berigning med N og effekten blev forstærket ved berigning med N og P i kombination. I juni 2001 steg P-optagelsen efter berigning med N alene (Figur 3.9.6B, Bilag 8).

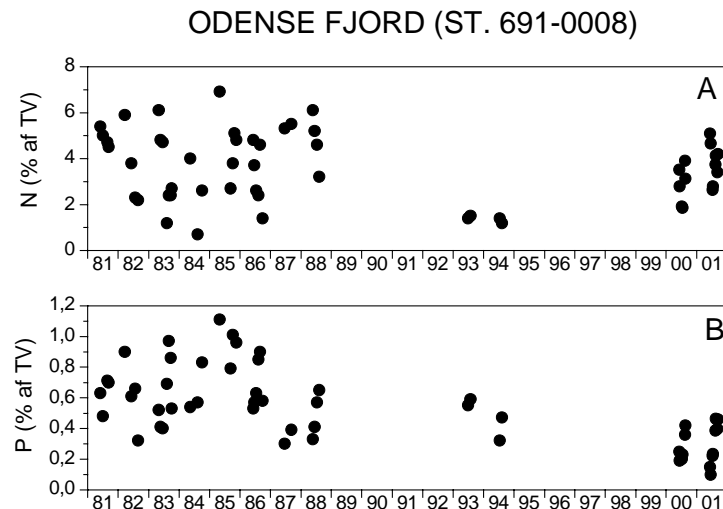
Figur 3.9.6. Optagelseshaestighed af kvælstof (a) og fosfor (b) for søsalat beriget med hhv. kvælstof (N), fosfor (P), og begge nærings-salte (NP) sammenlignet med uberigede kontroller (0). Søjlerne viser gennemsnit af 4 delprøver per behandling. Error bars viser standard error. *: signifikant effekt af N, P eller NP i situationer med interaktion mellem N og P. *: signifikant effekt af N eller P i situationer uden interaktion mellem N og P.



3.9.5 Tidligere undersøgelser

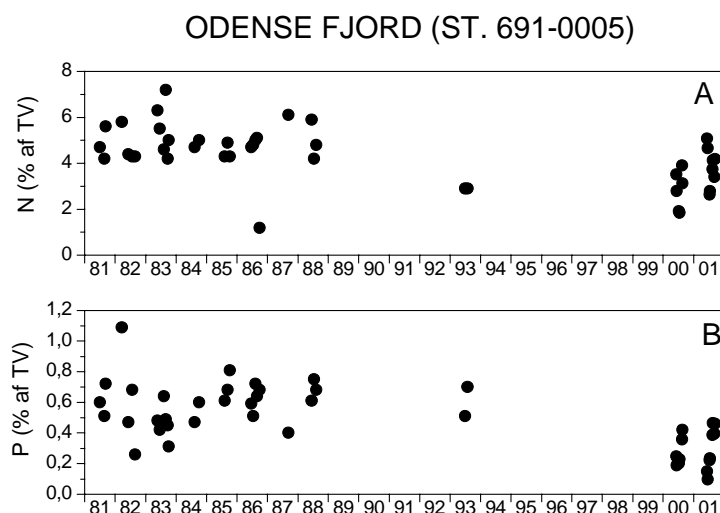
Gennem perioden 1981-88 blev der foretaget undersøgelser af nærings-saltindholdet i søsalat på 3 stationer i Seden Strand heriblandt de 2 stationer som også indgik i nærværende undersøgelse (Bilag 1).

På st. 691-0008 varierede N-indholdet mellem ca. 1 og ca. 7% af TV i perioden 1981-94, og gennemsnittet for perioden 1981-88 lå på omtrent samme niveau som i 2000-01. Det gennemsnitlige P-indhold var derimod faldet fra 1980'erne til 2000-2001 (Figur 3.9.7). På st. 691-0005 var både det gennemsnitlige N- og P-indhold faldet fra 1980'erne til 2000-01 (Figur 3.9.8).



Figur 3.9.7. Indhold af N (A) og P (B) i søsalat gennem vækstsæsonerne 1981-88, 1993-94 og 2000-01.

Figur 3.9.8. Indhold af N (A) og P (B) i søsalat gennem vækstsæsonerne 1981-88, 1993 og 2000-01.



Sammenligningen tyder derfor på, at søsalatens vækst er væsentligt mere næringsaltbegrænset i dag end i 1980'erne.

3.9.6 Sammenfatning

Koncentrationen af uorganiske næringsalte var lav og tydede på kombineret N og P begrænsning i juni-juli 2000 og juni 2001 og N-begrænsning resten af tiden. Gødningsforsøget viste kombineret N+P begrænsning gennem størstedelen af perioden, mens algerne næringsindhold tydede på N-begrænsning gennem stort set hele prøvetagningsperioden og mulighed for P-begrænsning i juni begge år.

Algerne på St. 691-0005 havde væsentligt højere N-indhold end på st. 691-0008 og dermed lille sandsynlighed for N-begrænsning (Tabel 3.9.1).

Indholdet af både N og P i søsalat er væsentligt lavere nu end i 1980'erne, så det er sandsynligt, at søsalatens vækst er mere næringsaltbegrænset i dag.

Tabel 3.9.1. Oversigt over mulig N- og P -begrænsning gennem vækstsæsonen vurderet ud fra 4 indikatorer: 1) N&P i vandet, 2) N&P i uberiget algevæv, 3) N/P i uberiget algevæv og 4) Gødningsforsøg (tilvækst i tørstof efter næringsberigning).

	Juni 00	Juli 00	Aug 00	Jun 01	Jul 01	Aug 01	Sept 01
N & P i vandet (691-0008)							
- N begrænsning	N	N	N	N	N	N	N
- P begrænsning	P	P	-	P	-	-	-
N&P i algevæv (691-0008)							
- N begrænsning	N	N	N	-	N	N	N
- P begrænsning	-	-	-	P	-	-	-
N/P i Algevæv (691-0008)							
- N begrænsning	-	N	N	-	-	-	-
- P begrænsning	P	-	-	P	-	-	-
N&P i algevæv (691-0005)							
- N begrænsning	-	N	-	-	-	-	-
- P begrænsning	-	-	-	P	-	-	-
N/P i Algevæv (691-0005)							
- N begrænsning	-	-	-	-	-	-	-
- P begrænsning	P	-	-	P	-	-	-
Gødningsforsøg (691-0008)							
- N begrænsning	-	N	-	N	N	-	N
- P begrænsning	P	-	-	-	-	-	-
- NP synergi-effekt	-	NP	NP	-	NP	NP	-

3.10 Roskilde Fjord

3.10.1 Stationer

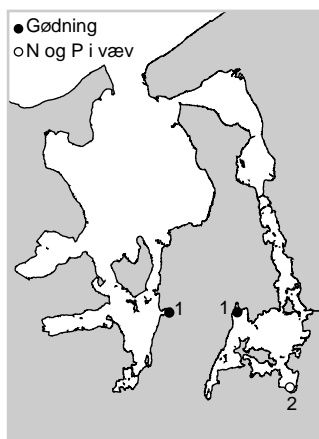
Gødningsforsøget foregik på st. 1 i Roskilde Fjord (Figur 3.10.1). Algerne til gødningsforsøget blev indsamlet på st. 2 inderst i Roskilde Fjord. Herudover blev der indsamlet supplerende alger på st. 2 til analyser af N- og P-indhold i algevæv.

3.10.2 Uorganiske næringssalte i vandet

På stationen med gødningsforsøget var vandets koncentration af urea konsekvent under $0,4 \mu\text{M}$ (Figur 3.10.2A).

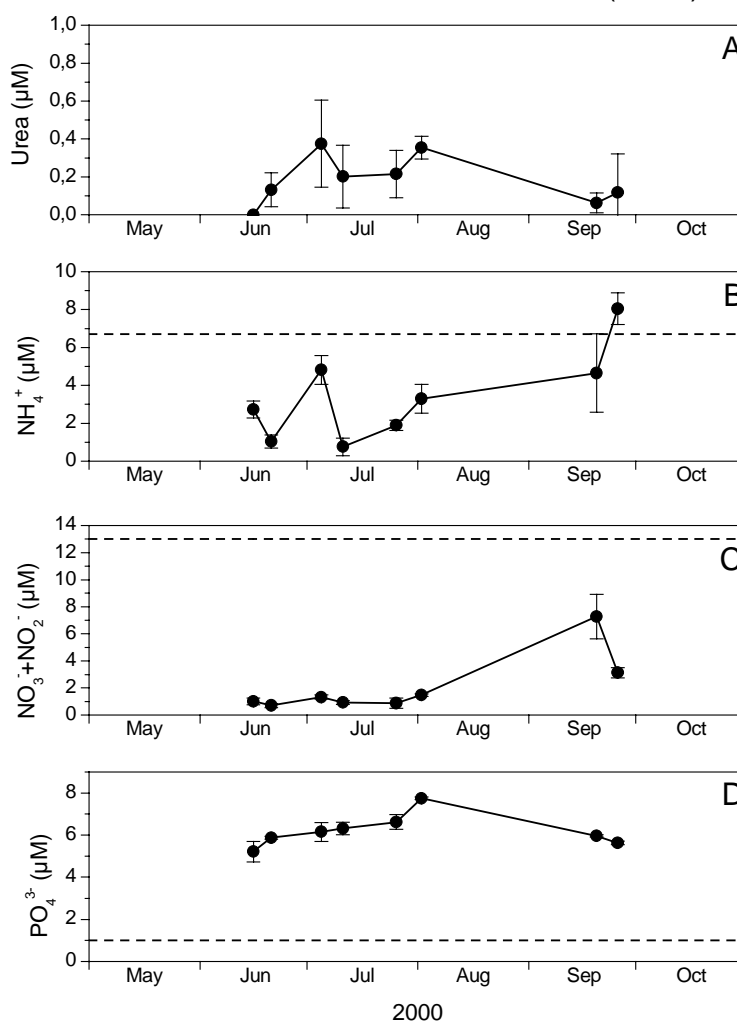
Koncentrationen af uorganisk N var lav fra juni til begyndelsen af august og kan have begrænset algevæksten. I september var der derimod ikke tegn på N-begrænsning (Figur 3.10.2B,C).

Koncentrationen af fosfat i vandet lå mellem 5 og $8 \mu\text{M}$ fra juni til september og lå dermed markant over "grænseværdien" på $1 \mu\text{M}$. Intet tydede dermed på, at P begrænsede søsalts vækst i denne periode (Figur 3.10.2D).



Figur 3.10.1. Stationsplacering i Roskilde Fjord og Vellerup Vig, Isefjorden.

ROSKILDE FJORD-VANDKEMI (ST. 1)



Figur 3.10.2. Koncentrationen af urea (A), NH_4^+ (B), $\text{NO}_3^- + \text{NO}_2^-$ (C) og PO_4^{3-} (D) i vandet omkring gødningsforsøget. Data er gennemsnit af 3 delprøver per indsamling. Error bars viser standard error. De stiplede linier angiver formodede begrænsende substrat koncentrationer.

3.10.3 Indhold af N og P i uberiget algevæv

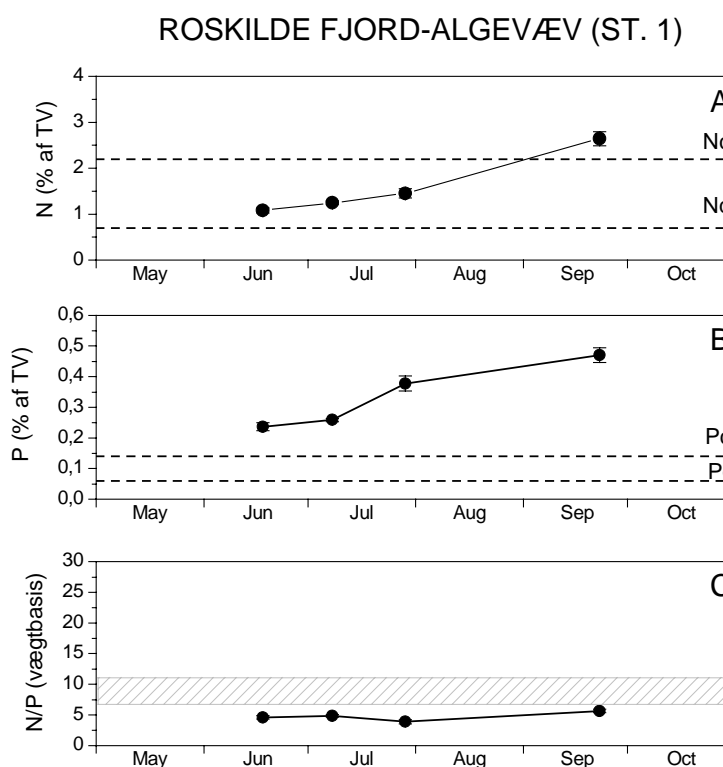
St. 1

På station 1, hvor gødningsforsøget blev udført, var algernes N-indhold lavt (ca. 1,5% TV) og sandsynligvis begrænsende for væksten i juni og juli, mens N-indholdet var meget højt i september (Figur 3.10.3A).

P-indholdet i algevævet fulgte samme sæsonforløb, men nåede på intet tidspunkt ned i nærheden af den kritiske koncentration på 0,14% TV (Figur 3.10.3B).

N/P-forholdet lå i hele perioden på 5-6 hvilket indikerer N-begrænsning (Figur 3.10.3C).

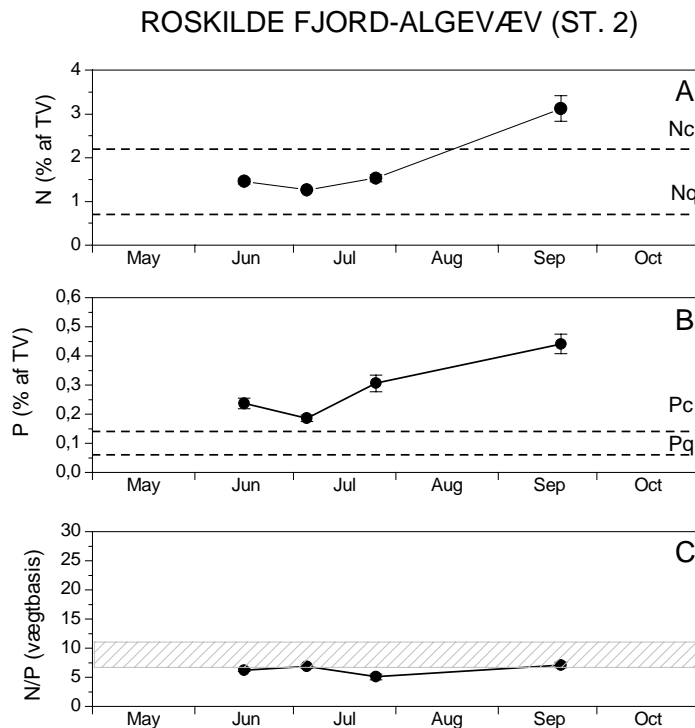
Figur 3.10.3. Indhold af kvælstof (A) og fosfor (B) samt N/P-forhold (C) i uberiget søsalat. Data repræsenterer uberigede kontrolprøver efter afslutning af gødningsforsøget. Data er gennemsnit af 4 delprøver per indsamling. Error bars viser standard error. Formodede kritiske koncentrationer (Nc og Pc) og minimumkoncentrationer (Nq og Pq) samt intervallet for optimale N/P-forhold er indtegnet.



St. 2

Algernes indhold af næringssalte i vævet på st. 2 svarede til situationen på st. 1 (Figur 3.10.4).

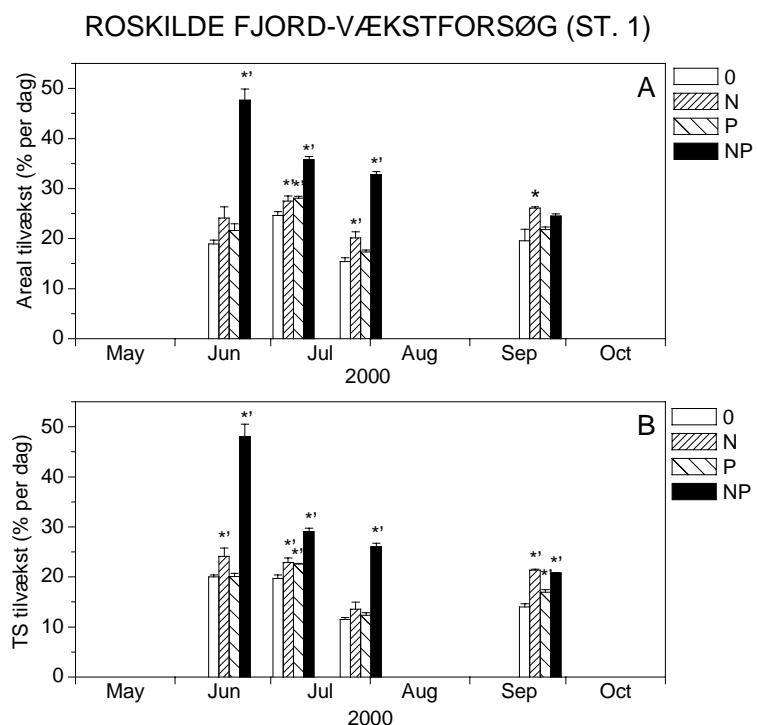
Figur 3.10.4. Indhold af kvælstof (A) og fosfor (B) samt N/P-forhold (C) i uberiget søsalat. Prøverne repræsenterer St. 2 (og udgør samtidig initialprøverne i gødningsforsøget). Data er gennemsnit af 4 delprøver per indsamling. Error bars viser standard error. Formodede kritiske koncentrationer (Nc og Pc) og minimumkoncentrationer (Nq og Pq) samt intervallet for optimale N/P-forhold er indtegnet.



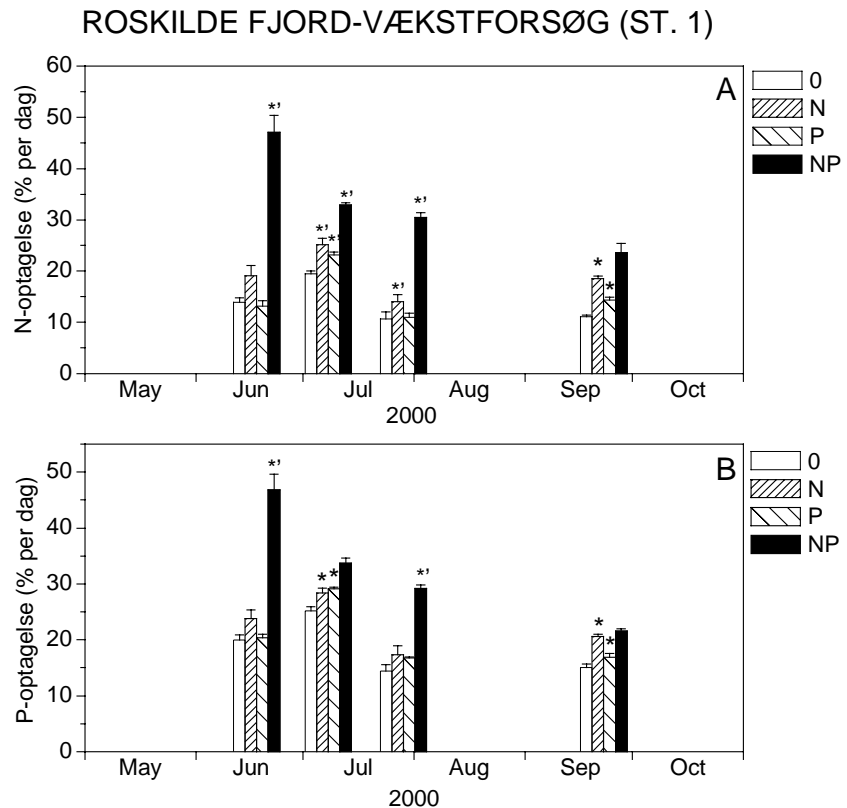
3.10.4 Gødningsforsøg

I samtlige prøvetagningsperioder blev algerne vækst stimuleret af berigning med N og P i kombination. Stimuleringen var mest markant i juni-juli, hvor effekterne af de to næringssalte forstærkede hinanden og væsentligt mindre i september. I juni, begyndelsen af juli og i september steg væksten også efter berigning med N alene, men kun i september var effekten af N-berigning lige så stor som effekten af N+P berigning. P-berigning alene stimulerede væksten i begyndelsen af juli og i september; i begyndelsen af juli gav P-berigning lige så stor effekt som N-berigning alene, men i september var effekten mindre. Resultaterne fra gødningsforsøget tyder derfor på, at begge næringssalte begrænsede algerne vækst, men at N-begrænsning generelt var vigtigst (Figur 3.10.5, Bilag 5 og 6).

Figur 3.10.5. Tilvækst i areal (A) og biomasse (B) for søsalat beriget med hhv. kvælstof (N), fosfor (P), og begge næringssalte (NP) sammenlignet med uberigede kontroller (0). Søjlerne viser gennemsnit af 4 delprøver per behandling. Error bars viser standard error. *: signifikant effekt af N, P eller NP i situationer med interaktion mellem N og P. **: signifikant effekt af N eller P i situationer uden interaktion mellem N og P.



Figur 3.10.6. Optagelseshastighed af kvælstof (A) og fosfor (B) for søsalat beriget med hhv. kvælstof (N), fosfor (P), og begge nærings-salte (NP) sammenlignet med uberigede kontroller (0). Søjlerne viser gennemsnit af 4 delprøver per behandling. Error bars viser standard error. *: signifikant effekt af N, P eller NP i situationer med interaktion mellem N og P. *: signifikant effekt af N eller P i situationer uden interaktion mellem N og P.



I samtlige perioder steg algerne N- og P-optagelse markant efter berigning med N og P i kombination, og i mindre grad efter berigning med nærings-saltene hver for sig. I juni og sidst i juli forstærkede effekterne af de to nærings-salte hinanden (Figur 3.10.6a, Bilag 7 og 8).

3.10.5 Sammenfatning

Alle indikatorer signalerede N-begrænsning gennem hele prøvetagningsperioden fra juni til september 2000, om end effekten aftog kraftigt i september. Gødningsforsøget tydede på, at P indgik i en kombineret begrænsning af væksten. Vandets koncentration af uorganisk P tydede dog på intet tidspunkt på P begrænsning (Tabel 3.10.1).

Undersøgelser fra 1991 viste, at søsalatens vækst var N-begrænset gennem hele vækstsæsonen fra april til og med september, mens P kun stimulerede væksten i april (Pedersen og Borum 1996).

Tabel 3.10.1. Oversigt over mulig N- og P-begrænsning gennem vækstsæsonen vurderet ud fra 4 indikatorer: 1) N&P i vandet, 2) N&P i uberiget algevæv, 3) N/P i uberiget algevæv og 4) Gødningsforsøg (tilvækst i tørstof efter næringsberigning).

	Juni 00	Juli 00	Aug 00	Sep 00
N & P i vandet (1)				
- N begrænsning	N	N	N	-
- P begrænsning	-	-	-	-
N&P i algevæv (1)				
- N begrænsning	N	N	N	-
- P begrænsning	-	-	-	-
N/P i Algevæv (1)				
- N begrænsning	N	N	N	N
- P begrænsning	-	-	-	-
N&P i algevæv (2)				
- N begrænsning	N	N	N	-
- P begrænsning	-	-	-	-
N/P i Algevæv (2)				
- N begrænsning	(N)	-	N	-
- P begrænsning	-	-	-	-
Gødningsforsøg (1)				
- N begrænsning	N	N	N	N
- P begrænsning	-	P	-	P
- NP synergi-effekt	NP	NP	NP	NP

3.11 Vellerup Vig

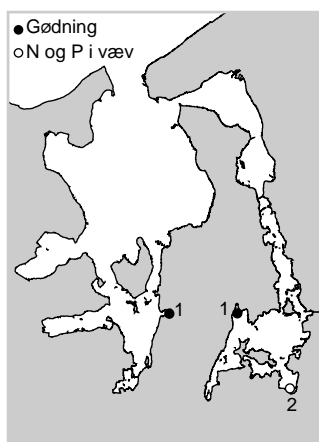
3.11.1 Stationer

Gødningsforsøget foregik på st. 1 i Vellerup Vig, Isefjord (Figur 3.11.1). Algerne til gødningsforsøget blev indsamlet på st. 2 inderst i Roskilde Fjord.

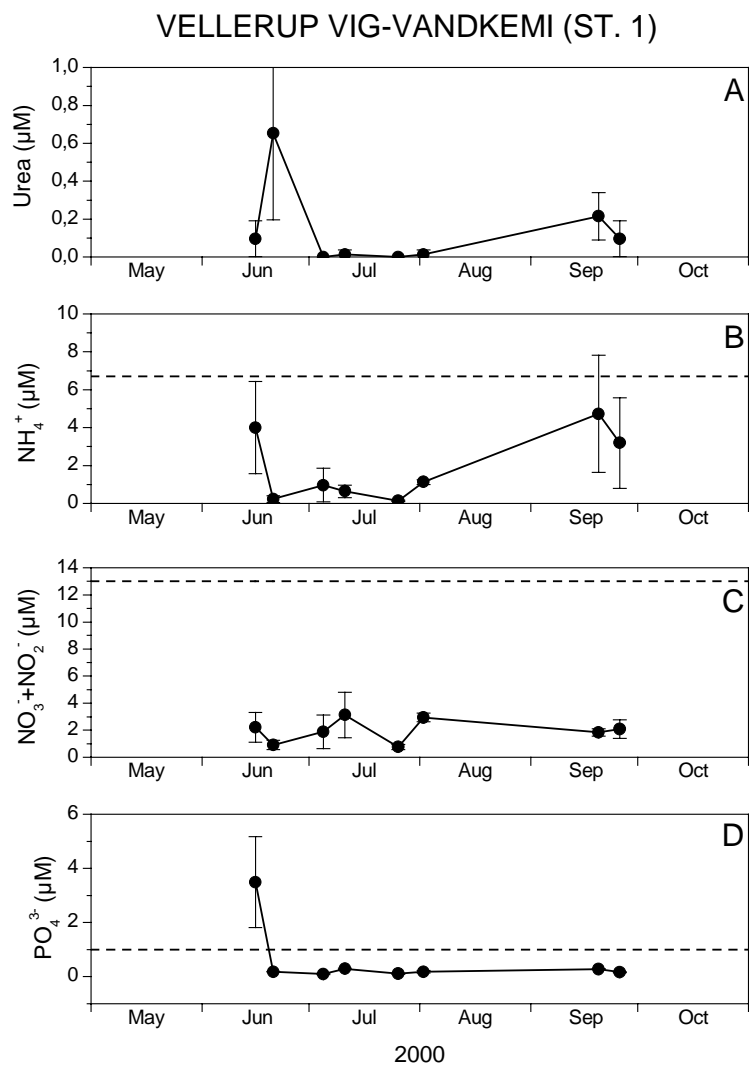
3.11.2 Vandkemi

På stationen med gødningsforsøget var vandets koncentration af urea konsekvent under 0,7 μM (Figur 3.11.2A).

Koncentrationen af uorganisk N og P var lave gennem hele prøvetagningsperioden og begge næringsalte kan have begrænset algevæksten fra juni til september (Figur 3.11.2B,C,D).



Figur 3.11.1. Stationsplacering i Roskilde Fjord og Vellerup Vig, Isefjorden.



Figur 3.11.2. Koncentrationen af urea (A), NH₄⁺ (B), NO₃⁻+NO₂⁻ (C) og PO₄³⁻ (D) i vandet omkring gødningsforsøget. Data er gennemsnit af 3 delprøver per indsamling. Error bars viser standard error. De stiplede linier angiver formodede begrænsende substrat koncentrationer.

3.11.3 Indhold af N og P i uberiget algevæv

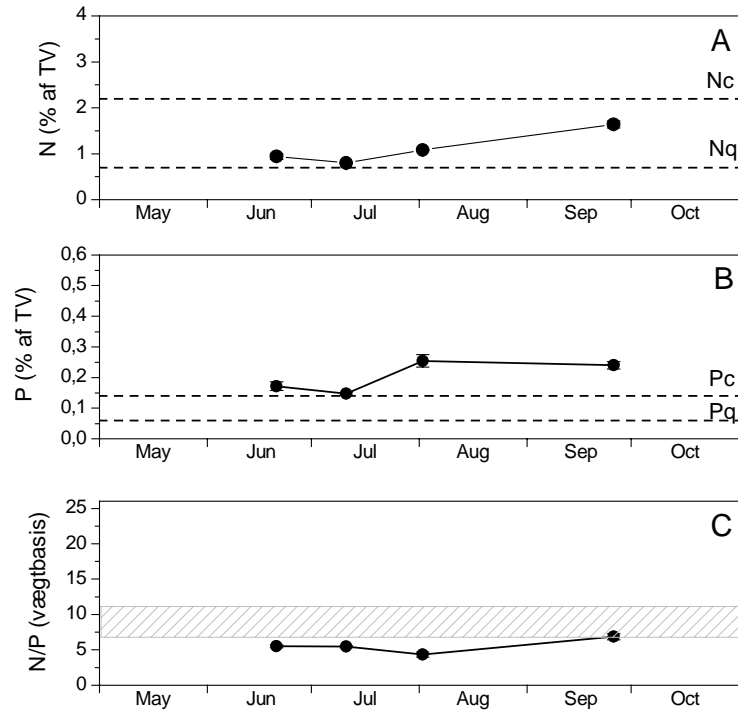
St. 1

På stationen, hvor gødningsforsøget foregik, var algernes N-indhold under den kritiske koncentration gennem hele prøvetagningsperioden (Figur 3.11.3A).

P-indholdet var lavt i juni og juli og lå lige omkring den kritiske koncentration, men i de øvrige perioder var der ikke tegn på P-begrænsning (Figur 3.11.3B).

N/P-forholdet lå i intervallet 4-7 og indikerede dermed i perioder N-begrænsning (Figur 3.11.3C).

VELLERUP VIG-ALGEVÆV (ST. 1)



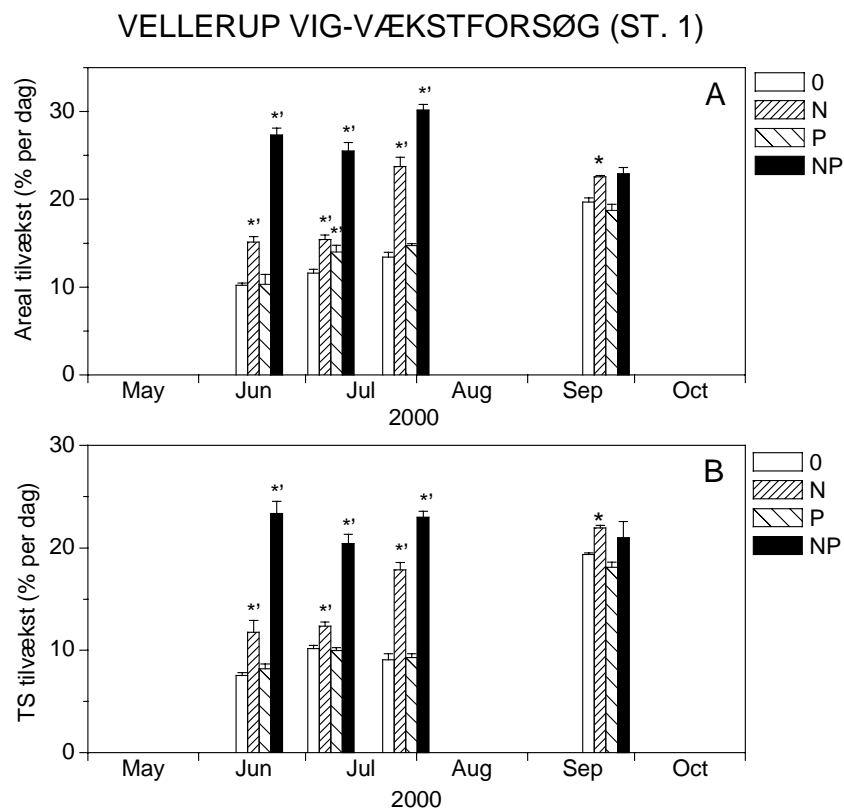
Figur 3.11.3. Indhold af kvælstof (a) og fosfor (b) samt N/P-forhold (c) i uberiget søsalat. Data repræsenterer gødningsforsøgets kontrolprøver. Data er gennemsnit af 4 delprøver per indsamling. Error bars viser standard error. Formodede kritiske koncentrationer (Nc og Pc) og minimumkoncentrationer (Nq og Pq) samt intervallet for optimale N/P-forhold er indtegnet.

3.11.4 Gødningsforsøg

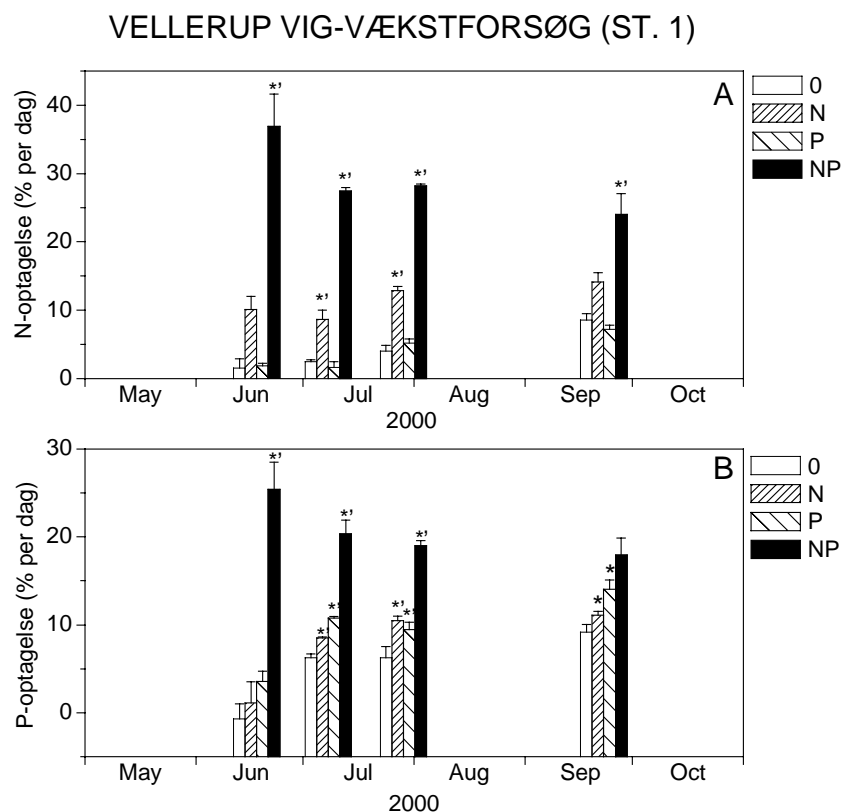
I juni og juli steg algerne tørstoftilvækst efter berigning med N og P i kombination og efter berigning med N alene men ikke efter berigning med P alene. Effekten af de to næringssalte forstærkede hinanden, så effekten af berigning med N+P i kombination var væsentligt større end effekten af N alene. I september var væksten N-begrænset. Alt i alt tydede gødningsforsøget derfor på, at primært N begrænsede algerne vækst, men at der også var en effekt af P (Figur 3.11.4, Bilag 5 og 6).

I samtlige prøvetagningsperioder steg algerne N-optagelse markant efter berigning med N og P i kombination og svagt efter berigning med N alene. Effekterne af de to næringssalte forstærkede hinanden (Figur 3.11.5A, Bilag 7).

Figur 3.11.4. Tilvækst i areal (A) og biomasse (B) for søsalat beriget med hhv. kvælstof (N), fosfor (P), og begge næringsalte (NP) sammenlignet med uberigede kontroller (0). Søjlerne viser gennemsnit af 4 delprøver per behandling. Error bars viser standard error. *: signifikant effekt af N, P eller NP i situationer med interaktion mellem N og P. *: signifikant effekt af N eller P i situationer uden interaktion mellem N og P.



Figur 3.11.5. Optagelseshastighed af kvælstof (A) og fosfor (B) for søsalat beriget med hhv. kvælstof (N), fosfor (P), og begge næringsalte (NP) sammenlignet med uberigede kontroller (0). Søjlerne viser gennemsnit af 4 delprøver per behandling. Error bars viser standard error. *: signifikant effekt af N, P eller NP i situationer med interaktion mellem N og P. *: signifikant effekt af N eller P i situationer uden interaktion mellem N og P.



I samtlige perioder steg algerne P-indhold markant efter berigning med N og P i kombination og svagt efter berigning med N og P hver for sig. I juli og august forstærkede effekterne af de to næringsalte hinanden (Figur 3.11.5B, Bilag 8).

3.11.5 Sammenfatning

Både gødningsforsøget, algevævet indhold af næringsalte og vandets næringsaltkoncentration signalerede kombineret N+P-begrænsning i juni og juli 2000 og der var også tegn på næringsaltbegrænsning i september.

Tabel 3.11.1. Oversigt over mulig N- og P-begrænsning gennem vækstsæsonen vurderet ud fra 4 indikatorer: 1) N&P i vandet, 2) N&P i uberiget algevæv, 3) N/P i uberiget algevæv og 4) Gødningsforsøg (tilvækst i tørstof efter næringsberigning).

	Juni 00	Juli 00	Aug 00	Sep 00
N & P i vandet (1)				
- N begrænsning	N	N	N	N
- P begrænsning	P	P	P	P
N&P i algevæv (1)				
- N begrænsning	N	N	N	-
- P begrænsning	-	P	-	-
N/P i Algevæv (1)				
- N begrænsning	N	N	N	-
- P begrænsning	-	-	-	-
Gødningsforsøg (1)				
- N begrænsning	N	N	N	N
- P begrænsning	-	-	-	-
- NP synergi-effekt	NP	NP	NP	-

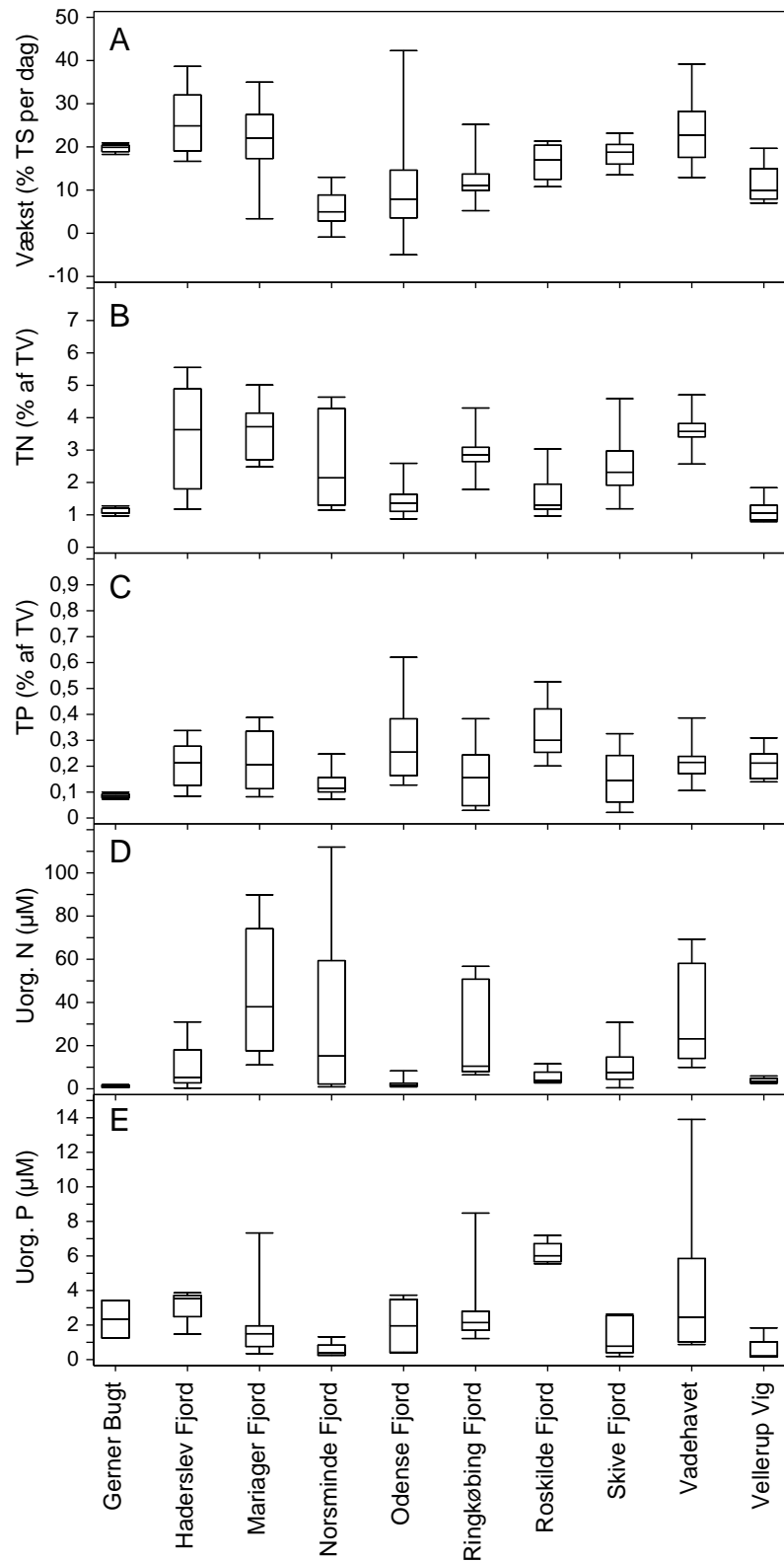
3.12 Tværgående analyser

3.12.1 Vækstrater og indhold af N og P i alger og vand

De uberigede kontrolalger fra gødningsforsøget repræsenterer algernes naturlige tilstand gennem sæsonen. I det følgende sammenligner vi vækstrater og næringsindhold af disse alger samt næringsindholdet i vandet på tværs af fjordene. Selvom vækstofforsøgene ikke repræsenterer samme perioder i alle fjorde giver sammenligningen alligevel en idé om parametrenes størrelse i de enkelte fjorde.

Det samlede datasæt for de 10 fjorde repræsenterede vækstrater, der varierede fra negative værdier til maksimale værdier på over 40 % TS per dag. De maksimale vækstrater svarede til fordoblingstider på knap 2 dage. Medianværdierne for de enkelte fjorde varierede mellem ca. 15 og 25 % TS per dag svarende til fordoblingstider på mellem 2,7 og 4,6 dage. De laveste median-vækstrater for uberigede alger blev målt i Norsminde Fjord og Odense Fjord, mens de højeste rater blev målt i Haderslev Fjord, Mariager Fjord og i Vadehavet (Figur 3.12.1A).

Kvælstofindholdet i de uberigede alger varierede fra et minimum på 0,9% af TV til et maksimum på 5,6% af TV. De mindste medianværdier blev målt i Genner Bugt, Odense Fjord, Roskilde Fjord og Vellerup Vig, mens de største blev målt i Haderslev Fjord, Mariager Fjord og i Vadehavet (Figur 3.12.1B).



Figur3.12.1. Vækstrater (A), N-indhold (B) og P-indhold (C) i algerne samt indholdet af uorganisk N (D) og uorganisk P (E) i vandet. Boksene afgrænser 25%, 50% og 75% fraktilerne, mens pindene afgrænser min og max af observationerne. Observationerne repræsenterer målinger af varierende antal og udstrækning gennem vækstsæsonen 2000 og 2001 i de 10 fjorde.

Fosforindholdet i de uberigede alger varierede fra et minimum på 0,02 til et maksimum på 0,62% af TV. De mindste medianværdier blev målt i Genner Bugt, Norsminde Fjord, Ringkøbing Fjord og Skive Fjord, mens de største blev målt i Odense Fjord og Roskilde Fjord (Figur 3.12.1c).

Koncentrationen af uorganisk kvælstof i vandet varierede fra et minimum på under 1 μ M til et maksimum på 112 μ M. De mindste medianværdier forekom i Genner Bugt, Odense Fjord, Roskilde Fjord og Vellerup Vig, mens de største forekom i Mariager Fjord og Vadehavet (Figur 3.12.1d).

Koncentrationen af uorganisk fosfor i vandet varierede fra et minimum på ca. 0,2 μ M til et maksimum på over 10 μ M. De mindste medianværdier forekom i Norsminde Fjord, Skive Fjord og Vellerup Vig, mens de største forekom i Roskilde Fjord, Haderslev Fjord og Vadehavet (Figur 3.12.1e).

Samlet tyder mediankoncentrationerne af næringssalte i søsalat og vand på at sandsynligheden for P-begrænsning var størst i Genner Bugt, Norsminde Fjord, Ringkøbing Fjord og Skive Fjord og mindst i Haderslev Fjord, Vadehavet, Roskilde Fjord og Odense Fjord.

Samtidig var sandsynligheden for N-begrænsning størst i Genner Bugt, Odense Fjord, Roskilde Fjord og Vellerup Vig og mindst i Haderslev Fjord, Vadehavet og Mariager Fjord.

I Genner Bugt og Vellerup Vig var der lave koncentrationer af både N og P i vand og søsalat og dermed stor sandsynlighed for kombineret N- og P-begrænsning.

Derimod havde Vadehavet og Haderslev Fjord høje koncentrationer af både N og P og dermed lille sandsynlighed for næringssaltbegrænsning i det hele taget.

3.12.2 Generelle mønstre for næringsbegrænsning vurderet ud fra gødningsforsøget

Gødningsforsøgene viste, at søsalaten generelt var P-begrænset i foråret og forsommeren. Skive Fjord, Ringkøbing Fjord og Mariager Fjord havde den længste periode med P-begrænsning (Tabel 3.12.1).

Midt på sommeren var søsalaten ofte begrænset af N og P samtidig, og effekterne af de to næringssalte forstærkede typisk hinanden (Tabel 3.12.1). Denne interaktion bryder med den traditionelle opfattelse af, at enten det ene eller det andet næringssalt begrænser væksten. Kombineret N og P-begrænsning var udbredt i Genner Bugt, Haderslev Fjord, Norsminde Fjord, Roskilde Fjord, Odense Fjord, og Vellerup Vig. I de tre sidstnævnte fjorde var der tegn på, at N spillede den største rolle i den kombinerede næringssaltbegrænsning. Sidst på sæsonen var algerne ikke næringsbegrænsede.

I Vadehavet var der stort set ikke tegn på næringssaltbegrænsning. Lysmålinger fra forsøgene i Vadehavet viste meget lave værdier (gennemsnit på 30-80 μ mol photon $m^{-2} s^{-1}$ gennem inkubationsperi-

oderne), så det er sandsynligt, at algerne har været lysbegrænsede snarere end næringssaltbegrænsede. Det kraftige tidevand i Vadehavet hvirvler sedimentet op, og det kan være grunden til, at lysindstrålingen var begrænset, selvom burene hang lige under vandoverfladen.

Tabel 3.12.1. Næringsbegrænsning målt gennem vækstsæsonen 2000 og/eller 2001 i 10 fjorde. Næringssaltbegrænsningen er målt ved gødningsforsøg, hvor søsalat har fået tilsat N og P hver for sig og i kombination, mens kontroller ikke er blevet næringsberigede. Næringssaltbegrænsning er testet vha. variansanalyse.

	2000						2001						
	M	J	J	A	S	O	A	M	J	J	A	S	O
Genner Bugt													
Haderslev Fjord													
Mariager Fjord													
Norsminde Fjord													
Odense Fjord													
Ringkøbing Fjord													
Roskilde Fjord													
Skive Fjord													
Vadehavet													
Vellerup Vig													

- N+P-begrænsning med forstærkende effekt
- N+P-begrænsning uden forstærkende effekt
- Ingen begrænsning
- ▨ P-begrænsning
- ▩ N-begrænsning

3.12.3 Vækstrater i relation til fysiske-kemiske variable i omgivelserne

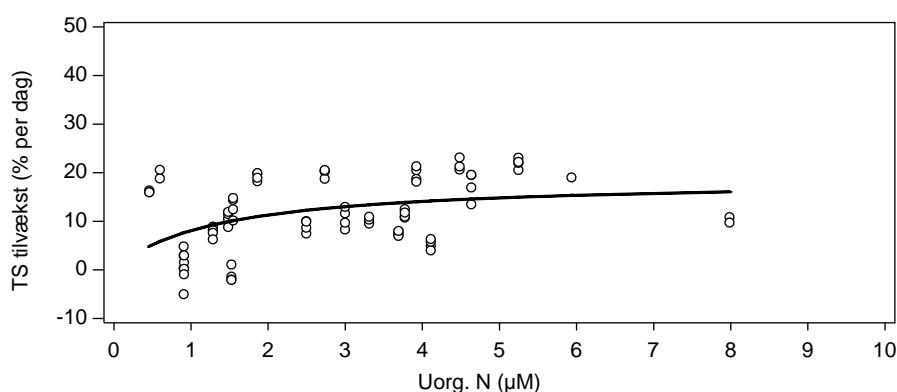
Simple korrelationsanalyser mellem algernes vækstrate og hhv. lysindstrålingen, saliniteten, temperaturen og vandets koncentration af uorganisk N og af uorganisk P viser, at ingen enkeltfaktor bidrager væsentligt til at forklare variationen i algernes vækstrate i de 10 forskellige fjorde (Tabel 3.12.2). Saliniteten er den enkeltfaktor, der er bedst korreleret til vækstraten, selvom den kun forklarer ca. 10% af variationen i vækstraten ($r^2=0,11$). Den manglende korrelation mellem algernes vækstrate og vandets koncentrationer af uorganiske næringssalte viser, at koncentrationerne af uorganiske næringssalte ikke kan benyttes alene som indikator for næringssaltbegrænsning af søsalat.

Tabel 3.12.2. Korrelation mellem vækstrate og fysiske-kemiske variable i omgivelserne. Vækstraten er målt over en inkubationstid på 5-10 dage og repræsenterer uberigede alger. Data for lys, temperatur, salinitet samt koncentrationen af uorg. N og P er gennemsnit af målinger ved forsøgets start og afslutning. Korrelationskoefficienter (r), sandsynligheder (p) samt antallet af delprøver (n) er angivet.

	r	p	n
<i>Vækstrate korreleret til:</i>			
- lys	0,05	0,51	197
- salinitet	0,33	<0,001	165
- temperatur	-0,038	0,59	209
- uorg. N	0,14	0,037	209
- uorg. P	0,23	<0,001	209

I det følgende går vi dybere i analysen af relationen mellem vækstraten og koncentrationen af uorganiske næringssalte i vandet for at få en bedre forståelse af sammenhængen.

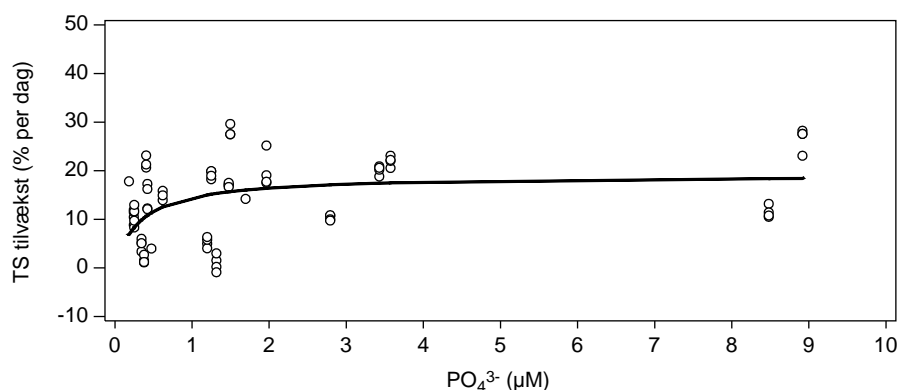
I situationer hvor alger ikke har haft mulighed for at ophobe overskud af næringssalte i vævet, vil vækstraten gradvist nærme et maksimum, når vandets koncentration af næringssalte stiger (se afsnit 2.2. dataanalyser). I det aktuelle datasæt har vi derfor udvalgt den del af de uberigede alger, hvor algevævet N-koncentration er under den kritiske koncentration på 2,2% af TV og plottet data som funktion af vandets koncentration af uorganisk N (Figur 3.12.2). Et fit af data med en Michaelis-Menten funktion viser, at den maksimale vækstrate er knap 19% af TV og at halvdelen af denne rate nås ved en substratkoncentration på 1,3 μ M uorg. N. Ved en substratkoncentration på 11,8 μ M nås 90% af V_{max} . Dette niveau stemmer godt overens med en mættende substratkoncentration på 6,7 μ M NH_4^+ og 13,02 μ M NO_3^- , som er fundet ved kontrollerede forsøg i laboratoriet (se Tabel 3.12.3).



Figur 3.12.2. Vækstrate for søsalat som funktion af vandets koncentration af uorg. N. Vækstraten er målt over en inkubationstid på 5-10 dage og repræsenterer uberigede alger hvor vævet N-indhold er <2,2 % af TV. Koncentrationen af uorg. N er gennemsnit af målinger ved forsøgets start og afslutning. Data er fittet med Michaelis-Menten funktionen hvor $V_{max}=18,7$ og $K_m = 1,3\mu$ M.

Vi har ligeledes udvalgt den del af de uberigede alger, hvor algevævet P-koncentration er under den kritiske koncentration på 1,4% af TV og plottet data som funktion af vandets fosfat koncentration (Figur 3.12.3). Et fit af data med en Michaelis-Menten funktion viser, at

den maksimale vækstrate er ca. 19% af TV og at halvdelen af denne rate nås ved en substratkoncentration på $0,32\mu\text{M}$ fosfat. Ved en substratkoncentration på $2,9\mu\text{M}$ fosfat nås 90% af V_{max} . Denne værdi er en del højere end den mættende substratkoncentration på $1,12\mu\text{M}$ fosfat, som er fundet ved kontrollerede forsøg i laboratoriet (se Tabel 3.12.3). Overestimeringen må skyldes, at algerne oplagrer reserver i vævet så den interne koncentration af næringsalte kan være relativt høj selv ved lave substratkoncentrationer.



Figur 3.12.3. Vækstrate for søsalat som funktion af vandets koncentration af fosfat. Vækstraten er målt over en inkubationstid på 5-10 dage og repræsenterer uberigede alger hvor vævets P-indhold er $<1,4\%$ af TV. Koncentrationen af fosfat er gennemsnit af værdierne ved forsøgets start og afslutning. Data er fittet med Michaelis-Menten funktionen hvor $V_{\text{max}}=19,1$ og $K_m=0,32\mu\text{M}$.

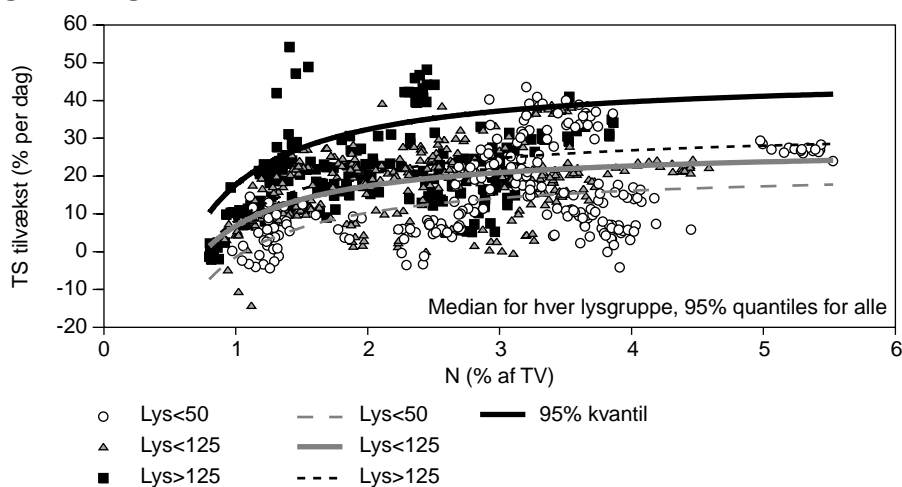
3.12.4 Vækstrater i relation til algevævet næringsaltkoncentration

Relationen mellem søsalatens vækstrate og N-indholdet i algevævet udviser en del variation, når vi betragter det samlede datasæt fra gødningsforsøget (Figur 3.12.4). Den store variation i vækstraten for et givet N-indhold skyldes, at datasættene repræsenterer vidt forskellige situationer. Alger med et N-indhold på fx 3% af TV kan have vokset ved suboptimale eller optimale lys- og temperaturforhold og de kan have haft suboptimalt eller optimalt P-indhold i vævet osv. Den øvre grænse for vækstraten ved et givet N-indhold viser imidlertid hvor stor vækstraten maksimalt kan blive under de bedste vækstbetingelser. Kun når alle vækstbetingelser er optimale, vil vækstraten nå den øvre grænse, og i alle andre situationer vil den være mindre.

95% kvantilen for vækstraten ved en given N-koncentration i algevævet afspejler vækstratens øvre grænse (Figur 3.12.4). Vi har modelleret denne øvre grænse for det samlede datasæt vha. en Droop-funktion. Modellen anslår, at minimumkoncentrationen (N_q), hvor søsalaten netop kan opretholde en positiv tilvækst er $0,62\%$ af TV. Denne værdi stemmer fint overens med minimumkoncentrationen på $0,71$, der er fundet ved laboratorieforsøg (se Tabel 3.12.4). Den øvre grænse for vækstraten stiger som funktion af N-indholdet, og når et mætningsniveau på 47% per dag. Den kritiske koncentration kan estimeres som N-koncentrationen for det punkt hvor den rette linie, der beskriver kurvens initiale hældning møder kurvens mætningsniveau ($y = 47\%$). Estimatet for den kritiske koncentration er $1,5\%$ af TV

og dermed noget lavere end den kritiske koncentration på 2,2% der blev fundet ved laboratorieforsøg (Tabel 3.12.4).

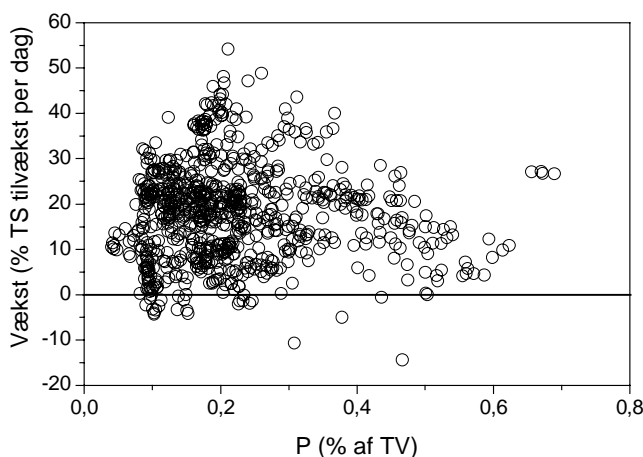
For at uddybe analysen af relationen mellem vækstrate og N-indhold, har vi inddelt datasættet i 3 lysniveauer og for hvert niveau modelleret datasættets medianværdi med Droop-funktionen. Analyserne viser, at ved et givet N-indhold i vævet er vækstraten højest hos de alger, der har vokset ved de højeste lysintensiteter og lavest hos algerne, der har vokset ved de laveste lysintensiteter (Figur 3.12.4). Analysen viser dermed, at varierende lysforhold kan forklare en væsentlig del af variationen i vækstraten som funktion af N-indholdet. Af denne grund kan det være et problem alene at benytte algeres indhold af næringssalte i vævet som indikator for næringssaltbegrænsning.



Figur 3.12.4. Vækstrate for søsalat som funktion af algevævet kvælstofindhold. Data repræsenterer gødningsforsøg fra vækstsæsonen 2000-01 i 10 fjorde. Væksten er målt over en inkubationstid på 5-10 dage, og N-indholdet i algevævet er gennemsnit af værdierne ved inkubationernes start og afslutning. De indtegnede linier repræsenterer modellering med Droop-funktionen af 95% kvantilen for det samlede datasæt og mediankurverne for data inddelt efter lysniveau: $x < 50$; $50 < x < 125$; $x > 125$.

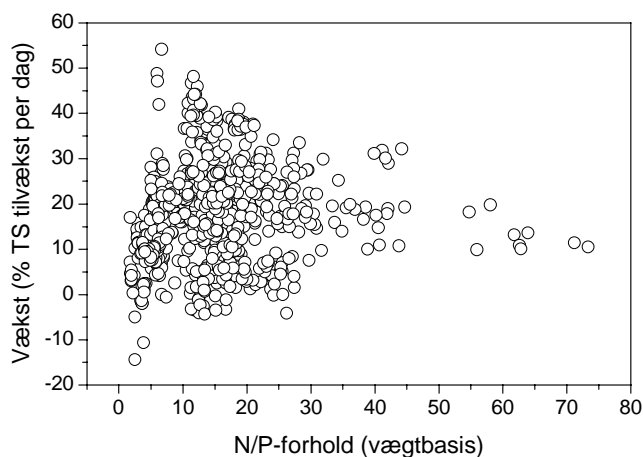
Søsalatens vækstrate er også afbildet som funktion af algevævet P-indhold, men relationen er ikke så entydig som den mellem vækst og TN (Figur 3.12.5). Den øvre grænse for vækstraten er lav ved lavt P-indhold og stiger som funktion af P-indholdet indtil P-indhold på omkring 0,2% af TV. Højere P-indhold giver ingen yderligere stigning i vækstraten. Umiddelbart peger gødningsforsøgene altså på, at den kritiske koncentration af P i algevævet er ca. 0,2% af TV. Dette niveau er noget højere end den kritiske koncentration på 0,14% af TV, der er fundet ved laboratorieforsøg (Tabel 3.12.4). Droop-funktionen beskriver kurveforløbet dårligt, og vi er derfor ikke gået videre med modelleringen.

Figur 3.12.5. Vækstraten for søsalat som funktion af algevævet fosforindhold. Data repræsenterer gødningsforsøg fra vækstsæsonen 2000-01 i 10 fjorde. Væksten er målt over en inkubationstid på 5-10 dage, og P-indholdet i algevævet er gennemsnit af indholdet ved inkubationernes start og afslutning.



Søsalatens vækstrate varierer betydeligt som funktion af forholdet mellem N og P i algevævet (Figur 3.12.6). Selv ved N/P-forhold på mellem 7 og 11, som skulle indikere optimale nærings盐forhold, kan algerne vækstrate variere fra negative værdier til hastigheder på 40% per dag. Samtidig er der i hele intervallet af N/P-forhold mellem 5 og 45 eksempler på, at algerne kan opnå høje vækstrater. Det er derfor vanskeligt alene ud fra N/P-forhold at vurdere, om algerne vækst er begrænset af det ene eller det andet nærings盐.

Figur 3.12.6. Vækstrate for søsalat som funktion af N/P-forhold i algevævet. Data repræsenterer gødningsforsøg fra vækstsæsonen 2000-01 i 10 fjorde. Væksten er målt over en inkubationstid på 5-10 dage, og N/P-forholdet er gennemsnit af data fra inkubationernes start og afslutning.



4 Diskussion

4.1 Næringssaltbegrænsning af søsalat

Gødningsforsøgene viste, at søsalaten ofte var P-begrænset i foråret og forsommeren. Skive Fjord, Ringkøbing Fjord og Mariager Fjord havde den længste periode med P-begrænsning.

Gennem sommerperioden blev søsalatens vækst og optag af næringsalte ofte stimuleret af N og P i kombination. Typisk forstærkede effekterne af de to næringsalte hinanden således at tilsætning af begge næringsalte samtidig gav større algevækst end det samlede vækstrespons ved tilsætning af næringsaltene hver for sig. Der var også eksempler på at P-berigning kunne stimulere optagelsen af N (Fx Skive Fjord og Mariager Fjord). Kombineret N og P-begrænsning var udbredt i Genner Bugt, Haderslev Fjord, Norsminde Fjord, Roskilde Fjord, Odense Fjord, og Vellerup Vig. I de tre sidstnævnte fjorde spillede N-begrænsning den største rolle.

Fysiologisk set giver det god mening, at algernes vækst kan være begrænset af N og P i kombination og at tilsætning af det ene næringsalt kan forstærke effekten af det andet. Både N og P har centrale funktioner i algevævet og mangel på et næringsalt hæmmer derfor vigtige funktioner i cellerne. P indgår eksempelvis i opbygningen af cellemembranen og i opbygningen af ATP. Mangel på P kan derfor påvirke membranfunktioner og energistofskifte. N er en væsentlig bestanddel af bl. a. enzymer og klorofyl og mangel på N kan derfor påvirke både lysabsorption og hastigheden af enzymatiske processer.

Vi kan sammenholde resultaterne fra de aktuelle gødningsforsøg med vurderinger af næringssaltbegrænsning af fytoplankton (bestemt ud fra fytoplanktonnets k_m -værdier sammenholdt med vandets næringsaltkoncentrationer) under NOVA (det Nationale Program for Overvågning af Vandmiljøet, Hansen et al. 2000, Henriksen et al. 2001). Sammenligningen kan foretages for de 4 fjorde, som indgår i begge undersøgelser: Skive Fjord, Ringkøbing Fjord, Odense Fjord og Roskilde Fjord. Begge undersøgelser viste, at Skive Fjord overvejende er P begrænset og kun i en kortere periode er der i flg. vores undersøgelse kombineret N+P begrænsning og i flg. NOVA undersøgelsen N-begrænsning. Begge undersøgelser viste også, at Ringkøbing Fjord overvejende er P begrænset og kun i en kortere periode begrænset af både N og P. For Odense Fjord vurderede NOVA-undersøgelsen, at der forekom ca. 30 dages N begrænsning og ca. 30 dages P begrænsning i 2000, mens vores undersøgelse viste at sommerperioden var præget af kombineret N+P begrænsning. NOVA-undersøgelsen viste at Roskilde Fjord udelukkende var N-begrænset, mens vores undersøgelse viste at fjorden var begrænset af N og P i kombination (Tabel 3.12.1).

Forskellene mellem de to undersøgelses resultater kan skyldes, at NOVA undersøgelsen vurderer næringsbegrænsning for fytoplankton, mens vores undersøgelse fokuserer på søsalat. Fytoplankton optager næringsalte mere effektivt end makroalger, men vokser også

hurtigere og har mindre lagerkapacitet og derfor også et større behov for konstant adgang til næringssalte i omgivelserne. Næringssaltbegrænsning af fytoplankton og makroalger kan derfor følge forskelligt forløb i samme område. Endelig er der også en risiko for en bureffekt ved gødningsforsøgene; - hvis burenes netlukning er tilgroet af mikroalger afspejler forholdene i burene ikke forholdene på stationen. I Roskilde Fjord kan man ikke udelukke en sådan effekt, for gødningsforsøget viste en kombineret begrænsning med N og P selvom P-koncentrationen i det omgivende vand var høj.

4.2 Næringssaltbegrænsning af søsalat før og nu

I Skive Fjord, Norsminde Fjord, Ringkøbing Fjord, Odense Fjord og Roskilde Fjord var det muligt at sammenligne den aktuelle næringssaltbegrænsning af søsalat med resultater fra 1980'erne eller begyndelsen af 1990'erne. I Skive Fjord, Norsminde Fjord og Odense Fjord var P-indholdet i søsalat generelt lavere nu end tidligere. I Norsminde Fjord og Odense Fjord sås samme tendens for N-indholdet. I Roskilde Fjord var der også tendens til at P-begrænsning spiller en større rolle nu end tidligere. Ringkøbing Fjord viste derimod ingen tegn på ændret næringssaltbegrænsning i forhold til tidligere.

Vekselvirkningen mellem N og P begrænsning af søsalat, som var udbredt i sommeren 2000 og 2001, er ikke undersøgt ved tidligere bioassays da disse ikke har omfattet gødningsforsøg med tilsætning af N og P i kombination. Da de tidligere undersøgelser generelt viste højere P-indhold i algevævet er det imidlertid sandsynligt at kombinerede begrænsning med N og P gennem sommerperioden er mere udbredt nu end tidligere.

Generelt er der altså tegn på, at P-begrænsning spiller større rolle nu end tidligere. Denne udvikling er et resultat af de store reduktioner i tilførslen af P til kystområderne (se Henriksen et al. 2000).

4.3 Indikatorer for næringssaltbegrænsning - styrker og svagheder

Vandets koncentration af næringssalte sammenholdt med mættende substratkoncentrationer for algernes vækst var en nyttig støtteoplysning i analysen af næringssaltbegrænsning. Oplysningerne om vandets næringssaltkoncentrationer bekræftede i mange tilfælde gødningsforsøgets resultater, idet perioder med lav koncentration af N eller P ofte faldt sammen med perioder hvor gødningsforsøget indikerede begrænsning med det pågældende næringssalt. Algerne er imidlertid i stand til at oplagre næringssalte i perioder med høj tilgængelighed af næringsstoffer og lav vækst og har derved mulighed for at fortsætte maksimal vækst selvom tilgængeligheden i omgivelserne er lave. Derfor opstod der også situationer, hvor et næringssalt ikke begrænsede væksten, selvom det forekom i lav koncentration (se afsnit 3.12.3). Næringssaltkoncentrationer i vand kan derfor ikke stå alene ved vurdering af næringssaltbegrænsning. Koncentrationer af næringssalte kan heller ikke vise, om effekterne af berigning med N og P er uafhængige eller forstærker hinanden.

Koncentrationen af N og P i søsalat sammenholdt med oplysninger om kritiske næringssaltkoncentrationer og minimumkoncentrationer af næringsalte var meget anvendelige i analysen af næringsaltbegrænsning. Oplysningerne om søsalatens indhold af N og P bekræftede typisk gødningsforsøgets resultater, idet perioder med lav koncentration af N eller P i algevævet ofte faldt sammen med perioder hvor gødningsforsøget indikerede at det pågældende næringsalt begrænsede væksten. Kritiske koncentrationer varierer dog betragteligt selv inden for den enkelte art. Den store intra-specifikke variation i disse grænseværdier kan skyldes at vækstraten afhænger af et samspil mellem tilgængeligheden af et givet næringsalt og andre vækstfaktorer (f.eks. lys, temperatur, tilgængeligheden af andre næringsstoffer). I det aktuelle datasæt var det tydeligt at eksempelvis lyset påvirkede relationen mellem vækstraten og vævets næringsindhold (Afsnit 3.12.4). Der er behov for fremtidige studier af hvordan den kritiske koncentration afhænger af vækstforhold og dermed en nærmere definition af range for den kritiske koncentration hos den enkelte art.

Algevævets N/P-forhold var en væsentlig svagere indikator for næringsaltbegrænsning end de absolutte målinger af N og P i vævet. Vækstforsøgene omfattede mange situationer, hvor vækstraten var lav, selvom N/P-forholdet i vævet indikerede optimale næringsaltbetingelser. Der var også eksempler på at N/P-forholdet antydede, at N eller P begrænsede væksten selvom begge næringsalte var til stede i overskud eller omvendt at N/P-forholdet indikerede optimale vækstbetingelser næringsaltbetingelser, selvom begge næringsalte optrådte i begrænsende koncentrationer.

Gødningsforsøg med tilsætning af N og P hver for sig og i kombination var den mest direkte metode til at vurdere næringsaltbegrænsning og var samtidig den eneste metode der viste om effekterne af berigning med N og P var uafhængige eller forstærkede hinanden. Gødningsforsøgene havde dog den ulempe at der kunne opstå en bur-effekt hvis burenes netlukning blev tilstoppet af mikroalger. I forbindelse med gødningsforsøgene i Roskilde Fjord kan der muligvis have været en sådan effekt (se ovenfor). Gødningsforsøgene var samtidig den mest ressourcekrævende undersøgelse.

De enkelte metoder har hver især deres styrker og begrænsninger. Ved valg af metode skal man derfor grundigt vurdere hvilke krav den enkelte opgave stiller til præcision og hvordan man bedst udnytter opgavens ressourcer.

[Tom side]

5 Konklusion

Vi kan konkludere, at projektet giver følgende svar på spørgsmålene som blev stillet i introduktionen:

Begrænser kvælstof (N) og/eller fosfor (P) søsalatens vækst gennem året?

- Søsalaten var generelt P-begrænset i foråret og forsommeren.
- Midt på sommeren var søsalaten ofte begrænset af N og P samtidig, og effekterne af de to næringssalte forstærkede typisk hinanden.
- Sidst på sæsonen var algerne ikke næringsbegrænsede.

Udviser forskellige fjorde samme type næringssaltbegrænsning?

Nej! – der var store forskelle mellem fjordene:

- Skive Fjord, Ringkøbing Fjord og Mariager Fjord havde den længste periode med P-begrænsning.
- Kombineret N og P-begrænsning var udbredt i Genner Bugt, Haderslev Fjord, Norsminde Fjord, Roskilde Fjord, Odense Fjord, og Vellerup Vig. I de tre sidstnævnte fjorde spillede N-begrænsning den største rolle. Søsalaten i Vadehavet var ikke næringssaltbegrænset.

Er næringssaltbegrænsningen forandret i forhold til tidligere undersøgelser?

- P-begrænsning af søsalat spiller større rolle nu end i 1980'erne og begyndelsen af 1990'erne hvilket afspejler de store reduktioner i tilførslen af P til kystområderne.

Hvilke indikatorer er bedst til at vurdere næringssaltbegrænsning?

- Næringssaltkoncentrationer i vand og algevæv er nyttige støtteparametre i analysen af næringssaltbegrænsning, men kan ofte ikke stå alene. Oplysningerne om næringssaltkoncentrationer bekræfter ofte gødningsforsøgets resultater, men kan ikke vise om effekterne af berigning med N og P er uafhængige eller forstærker hinanden.
- Algevævet N/P-forhold var en dårlig indikator idet N/P-forholdet f.eks. kan indikere optimale næringssaltbetingelser selv om begge næringssalte optræder i begrænsende koncentrationer.
- Gødningsforsøg med tilsætning af N og P hver for sig og i kombination er den mest direkte metode til at vurdere næringssaltbegrænsning og er samtidig den eneste metode der viser, om effekterne af berigning med N og P er uafhængige eller forstærker hinanden. Gødningsforsøgene har dog den ulempe at der kan opstå en bur-effekt, hvis burenes netlukning tilstoppes af mikroalger.

[Tom side]

6 Referencer

Bower, C.E. & Holm-Hansen, T. 1980. A salicylate-hypochlorite method for determining ammonia in seawater. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 37: 794-798.

Bjørnsater, B.R. & Wheeler, P.A., 1990. Effect of nitrogen and phosphorus supply on growth and tissue composition of *Ulva fenestrata* and *Enteromorpha intestinalis* (Ulvales, Chlorophyta). *Journal of Phycology* 26: 603-611.

Braman, R.S. & Handrix, S.A. 1989. Nitrite and nitrate determination in environmental and biological materials by vanadium (III) Reduction with Chemiluminescence Detection. *Anal. Chem.* 61:2715-2718.

Campbell, S., 2001. Ammonium requirements of fast-growing ephemeral macroalgae in a nutrient-enriched marine embayment (Port Philip Bay, Australia).

Cohen, I. & Neori, A., 1991. *Ulva lactuca* biofilters for marine fishpond effluents. I. Ammonia uptake kinetics and nitrogen content. *Botanica Marina* 34: 475-482.

Duarte, C. 1995. Submerged aquatic vegetation i relation to different nutrient regimes. *Ophelia* 41: 87-112.

Fujita, R. M. Wheeler, P.A. & Edwards, R.L., 1989. Assessment of macroalgal nitrogen limitation in a seasonal upwelling region. *Marine Ecology Progress Series* 53: 293-303.

Gordon, D.M., Birch, P.B. & McComb, A.J., 1981. Effects of inorganic phosphorus and nitrogen on the growth of an estuarine *Cladophora* in culture. *Botanica Marina* XXIV: 93-106.

Koroleff, F. 1983. Determination of phosphorus. In Grashoff, K, M. Erhardt & K. Kremling (Eds.) *Methods of seawater analysis*. 2nd edition. Verlag Chemie, Weinheim.

Larsen, S. unpubl. Growth dynamics of *Ulva lactuca* L. in a hypereutrofi- ed estuary. Fyns Amt.

Lavery, P.S. & McComb, A.J., 1991. The nutritional eco-physiology of *Chaetomorpha linum* and *Ulva rigida* in Peel Inlet, Western Australia. *Botanica Marina* 34: 251-260.

Limfjordsovervågningen 1994. Biomonitoring i Limfjorden 1993. Udført af J.E. Lyngby og S.M. Mortensen, VKI.

Limfjordsovervågningen 1995. Biomonitoring i Limfjorden 1994. Udført af K. Dyhr-Jensen & J.E. Lyngby, VKI.

- Limfjordsovervågningen 1996*. Biomonitoring i Limfjorden 1995. Udført af N. Ahrensberg & J.E. Lyngby, VKI.
- Lohman, K. & Priscu, J.C., 1992*. Physiological indicators of nutrient deficiency in *Cladophora* (Chlorophyta) in the Clark Fork of the Columbia River, Montana. *Journal of Phycology* 28: 443-448.
- Lyngby, J. E. & Mortensen, S. M., 1994*. Assessment of nutrient availability and limitation using macroalgae. *Journal of Aquatic Ecosystem Health* 3:27-34.
- Lyngby, J. E. & Mortensen, S. M., .* Biomonitoring of eutrophication levels in shallow coastal ecosystems. p 39-43 *In* Eleftheriou et al (eds.) *Biology and Ecology of Shallow coastal waters*. 28 EMBS Symposium. International Symposium Series, Olsen & Olsen Fredensborg, Denmark, ISBN 87-85215-28-7.
- Lyngby, J.E., Mortensen, S. & Ahrensberg, N., 1999*. Bioassessment techniques for monitoring of eutrophication and nutrient limitation in coastal ecosystems. *Marine Pollution Bulletin* 39: 212-223.
- Pedersen, C.B., 1994*. Vækstregulerende faktorer, vækststrategi og N-husholdning i relation til masseforekomst af *Chaetomorpha linum* i Roskilde Fjord. MS thesis, Freshwater Biological Laboratory, University of Copenhagen.
- Pedersen, M.F., 1995*. Nitrogen limitation of photosynthesis and growth: comparison across aquatic plant communities in a Danish estuary (Roskilde Fjord). *Ophelia* 41: 261-272.
- Pedersen, M.F. & Borum, J., 1996*. Nutrient control of algal growth in estuarine waters. Nutrient limitation and the importance of nitrogen requirements and nitrogen storage among phytoplankton and species of macroalgae. *MEPS* 142: 261-272.
- Pedersen, M.F. & Borum, J., 1997*. Nutrient control of estuarine macroalgae: growth strategy and the balance between nitrogen requirements and uptake. *MEPS* 161: 155-163.
- Price, N.M. & Harrison, P.J., 1987*. Comparison of methods for the analysis of dissolved urea in seawater. *Marine Biology* 94: 307-317.
- Ringkøbing Amt, 1993*. Biomonitoring af næringssaltbegrænsning og tilgængelighed i Ringkøbing og Nissum Fjorde ved anvendelse af makroalger. Udført af J.E. Lyngby og S.M. Mortensen, VKI.
- Rosenberg, G., 1981*. Ecological growth strategies in the red seaweed *Gracilaria foliifera* (Rhodophyceae). Ph.D. thesis. Yale University, pp. 151.
- Sand-Jensen, K & Borum, J., 1991*. Interactions among phytoplankton, periphyton, and macrophytes in temperate freshwaters and estuaries. *Aquatic Botany* 41: 137-175.

Sokal, R.R. & Rohlf, F.J., 1995. Biometry. The principles and practice of statistics in biological research. W.H. Freeman and Company, New York.

Thomsen, H.U., 1988. Makroalgevækst i Norsminde Fjord. 1986-87. Specialerapport marts 1988. Botanisk Institut, Århus Universitet.

Wong, S.L. & Clark, B., 1976. field determination of the critical nutrient concentrations for *Cladophora* in streams. J. fish. Res. Bd. Can. 33: 85-92.

Århus Amt, 1994. Norsminde Fjord 1992. Teknisk rapport. ISBN:87-7295-418-3.

Århus Amt, 1998. Norsminde Fjord 1996. Teknisk rapport. ISBN:87-7906-013-7.

[Tom side]

BILAG

Bilag 1. Tidligere målinger af næringssaltbegrænsning af søsalat i danske farvande

Område	Antal st.	Periode	N & P i alge-væv	Vækst	Gød-nings-forsøg	Andet	Ref.
Fjorde der indgår i denne undersøgelse							
Limfjorden, Skive Fjord	1 st.	maj-okt 1993-95 2 gange pr. md	X	X			Limfordsovervågn. 1994, 1995 & 1996 Lyngby et al. 1999
Mariager Fjord	1 st.	juni-sept 1994	X	X		klorofyl	?
Mariager Fjord	1 st.	april-aug. 1997	X	X			Nordjyllands Amt 1998
Norsminde Fjord	4 st.	1986/87 – ? gange	X			Biomasse mv.	Thomsen 1988
Norsminde Fjord	1 st.	aug-okt 1992 – 10 gange	X	X		Græsning, klorofyl	Århus Amt 1994
Norsminde Fjord	4 st.	juni, 1996 – 1 gang	X				Århus Amt 1998
Ringkøbing Fjord	2 st.	apr.-okt 1993 2 gange pr. md.	X	X			Ringkøbing Amt 1993
Nisum Fjord	1 st.	apr.-okt 1993 - 2 gange pr. md.	X	X			Ringkøbing Amt 1993
Odense Fjord, Seden Strand	3 st.	1981-88, op til 4 gange p.a.	X			Primærprod (¹⁴ C)	Larsen, in prep.
Odense Fjord, Seden Strand	?	1993	X			Primærprod (¹⁴ C)	Ikke rapporteret
Odense Fjord, Seden Strand	Gradient fra Å	okt. 1998	X	X			Ikke rapporteret
Odense Fjord, Seden Strand	?	maj-nov 1999 -1 gang pr. md.	X				Ikke rapporteret
Roskilde Fjord	Ølsted Strand	Mar-Nov 1991	X	X	X		Pedersen 1995 Pedersen & Borum 1996
Øvrige Fjorde							
Limfjorden, Nisum Bredning	1 st.	maj-okt 1993-95 2 gange pr. md	X	X			Limfordsovervågn 1994, 1995 & 1996 Lyngby et al. 1999
Limfjorden, Løgstør Bredning	1 st.	maj-okt 1993-95 2 gange pr. md	X	X			Limfordsovervågn 1994, 1995 & 1996 Lyngby et al. 1999
Køge Bugt	4 st.	jun-okt. 1991 2 gange pr. md	X	X			Lyngby & Mortensen 1994
Stege Bugt	3 st.	maj-okt. 1992 2 gange pr. md	X	X			Lyngby & Mortensen

[Tom side]

Bilag 2. Positioner for prøvetagningsstationerne

Positionerne for prøvetagningsstationerne er angivet som grader, minutter og decimalsekunder i WGS84.

Fjord	Station	Type	Længdegrad	Breddegrad
Skive Fjord	1	Gødning	56°37,47 N	09°05,40 E
	SYD	N&P i væv	56°33,40 N	09°03,75 E
Mariager Fjord	B1	Gødning	56°40,24 N	09°58,23 E
	(B2)	N&P i væv	56°42,75 N	10°07,08 E
	B3	N&P i væv	56°39,99 N	09°57,17 E
Norsminde Fjord	1	Gødning	56°00,35 N	10°13,23 E
	2	N&P i væv	56°00,52 N	10°14,33 E
	3	N&P i væv	56°01,26 N	10°15,19 E
Ringkøbing Fjord	8	Gødning	55°55,36 N	08°17,26 E
	1	N&P i væv	56°04,71 N	08°13,53 E
Nissum Fjord	21	N&P i væv	56°23,59 N	08°09,22 E
	22	N&P i væv	56°20,65 N	08°12,72 E
Vadehavet	1610158	Gødning	55°32,90 N	08°16,87 E
	2161061	N&P i væv	55°27,06 N	08°33,29 E
	2163062	N&P i væv	55°16,01 N	08°38,96 E
Genner Bugt	1	Gødning	55°07,57 N	09°28,16 E
	2	N&P i væv	55°07,25 N	09°27,50 E
Haderslev Fjord	HF	Gødning	55°15,62 N	09°35,21 E
	1	N&P i væv	55°15,15 N	09°34,04 E
	2	N&P i væv	55°16,28 N	09°36,64 E
Odense Fjord	691-0008	Gødning	55°27,05 N	10°28,51 E
	691-0005	N&P i væv	55°27,06 N	10°26,90 E
Roskilde Fjord	1	Gødning	55°44,12 N	11°59,98 E
	2	N&P i væv	55°39,60 N	12°04,45 E
Vellerup Vig	1	Gødning	55°44,37 N	11°52,22 E

[Tom side]

Bilag 3. Oversigt over inkubationsperioder

Fjord	Periode 1	Periode 2	Periode 3	Periode 4	Periode 5	Periode 6	Periode 7	Periode 8
Skive Fjord	10/05/00- 18/05/00	31/05/00- 06/06/00	16/06/00- 21/06/00	13/07/00- 19/07/00	10/08/00- 17/08/00	07/09/00- 15/09/00		
Mariager fjord	04/05/00- 10/05/00	23/05/00- 29/05/00	15/06/00- 19/06/00	03/07/00- 06/07/00	09/08/00- 14/08/00	30/08/00- 04/09/00	14/09/00- 18/09/00	
Norsminde fjord	(10/05/00- 16/05/00)	18/05/00- 23/05/00	15/06/00- 20/06/00	30/06/00- 04/07/00	28/07/00- 02/08/00	31/08/00- 05/09/00	22/09/00- 28/09/00	18/10/00- 23/10/00
Ringkøbing fjord	10/05/00- 15/05/00	14/07/00- 17/07/00	17/08/00- 28/08/00	11/09/00- 21/09/00	24/04/01- 04/05/01	22/05/01- 28/05/01	12/06/01- 20/06/01	
Vadehavet	13/06/00- 19/06/00	29/06/00- 06/07/00	21/08/00- 28/08/00	31/08/00- 11/09/00	26/09/00- 02/10/00	01/06/01- 08/06/01	09/07/01- 16/07/01	26/07/01- 02/08/01
Genner bugt	24/08/00- 31/08/00	19/06/01- 26/06/01						
Haderslev fjord	31/08/00- 08/09/00	26/09/00- 04/10/00	19/06/01- 26/06/01	03/08/01- 10/08/01				
Odense fjord	09/06/00- 15/06/00	10/07/00- 17/07/00	18/08/00- 23/08/00	13/06/00- 19/06/01	11/07/01- 17/07/01	16/08/01- 21/08/01	07-09-01- 13-09-01	
Roskilde fjord	16/06/00- 21/06/00	05/07/00- 11/07/00	26/07/00- 02/08/00	20/09/00- 26/09/00				
Vellerup vig	16/06/00- 21/06/00	05/07/00- 11/07/00	26/07/00- 02/08/00	20/09/00- 26/09/00				

[Tom side]

Bilag 4. Lys, temperatur og salinitet i de undersøgte fjorde

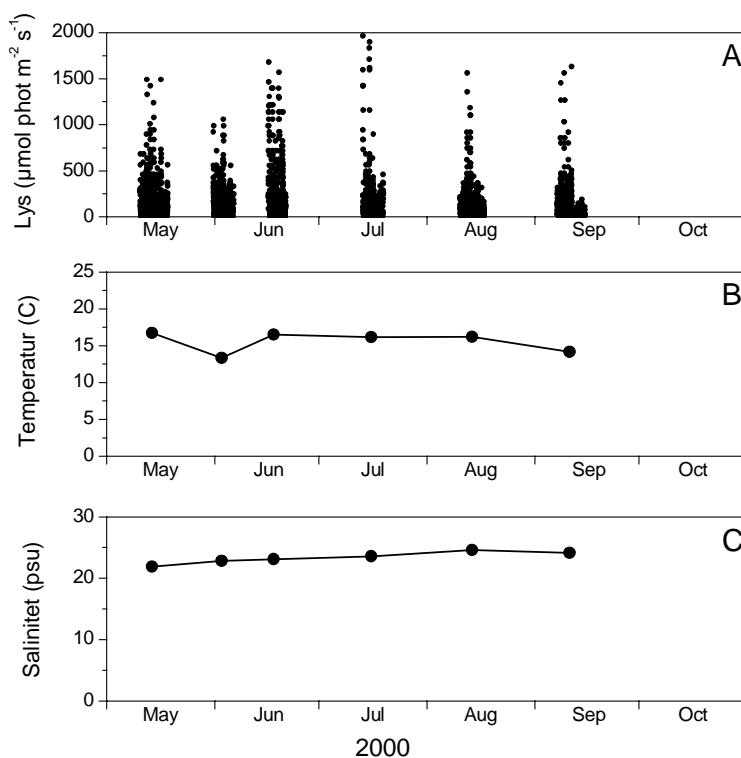
Resultaterne i dette afsnit repræsenterer stationer med gødningsforsøg. Lysmålingerne blev foretaget hvert 15 minutter gennem inkubationsperioderne. Temperatur og salinitetsdata er gennemsnit af resultater fra prøvetagningens opstart og afslutning. I enkelte tilfælde stammer temperatur og salinitetsmålinger fra en nærliggende vandkemistation i tidspunktet omkring inkubationsperioden.

Range for den gennemsnitlige lystilgængelighed i inkubationsperioderne er vist herunder, mens de detaljerede resultater for de enkelte fjorde fremgår af graferne på de følgende sider.

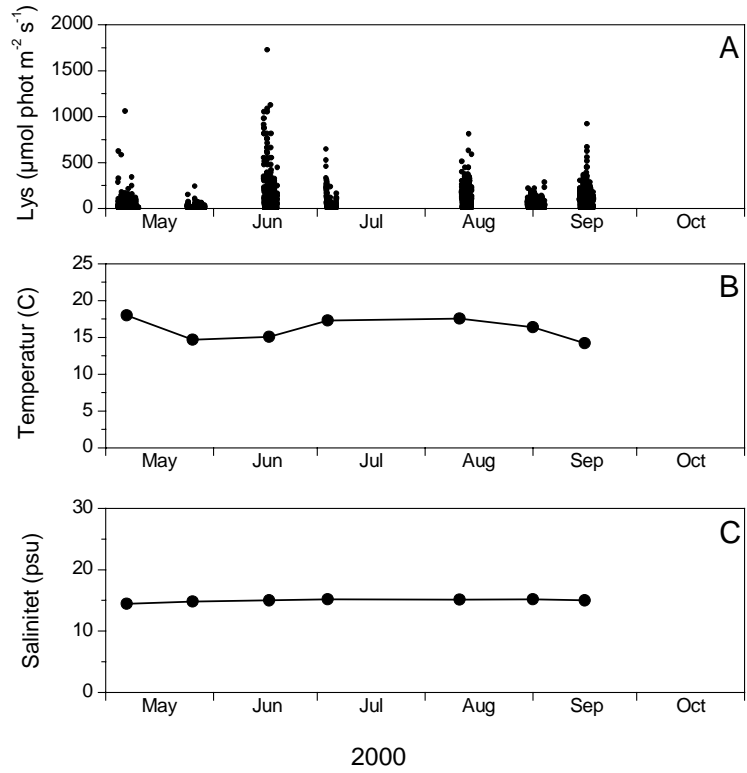
Gennemsnitlig lystilgængelighed i inkubationsperioderne. Enhed $\mu\text{mol phot m}^{-2} \text{s}^{-1}$.

Fjord	Range (min-max) $\mu\text{mol phot m}^{-2} \text{s}^{-1}$	Inkubationsperioder							
		Periode 1	Periode 2	Periode 3	Periode 4	Periode 5	Periode 6	Periode 7	Periode 8
Skive Fjord	83-244	131	130	244	139	91	83		
Mariager Fjord	11-151	25	11	151	42	114	40	71	
Norsminde Fjord	12-96	63	96	12	17	39	31	15	
Ringkøbing Fjord	17-204	23	17	87	35	204	174		
Vadehavet	33-78	38	50	62	78	33	42	46	53
Genner Bugt	90-227	90	227						
Haderslev Fjord	49-112	74	49	112	106				
Odense Fjord	66-187	167	183	124	187	102	133	66	
Roskilde Fjord	104-233	233	145	104					
Vellerup Vig	77-194	194	159	77					

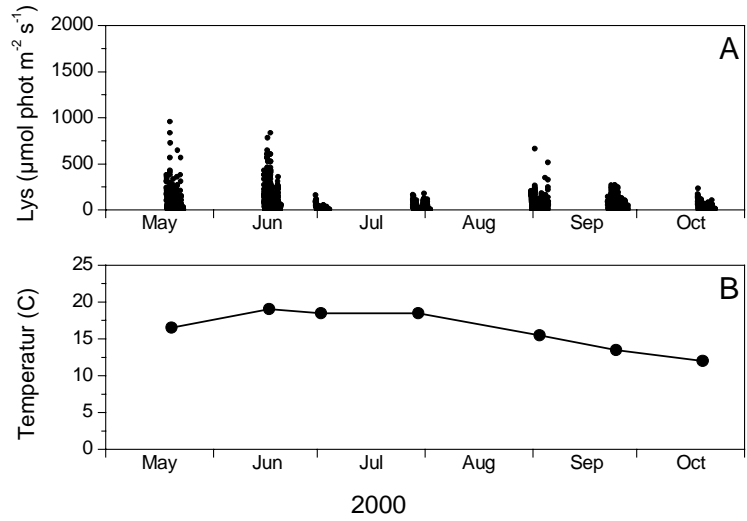
SKIVE FJORD-FYSISKE FORHOLD



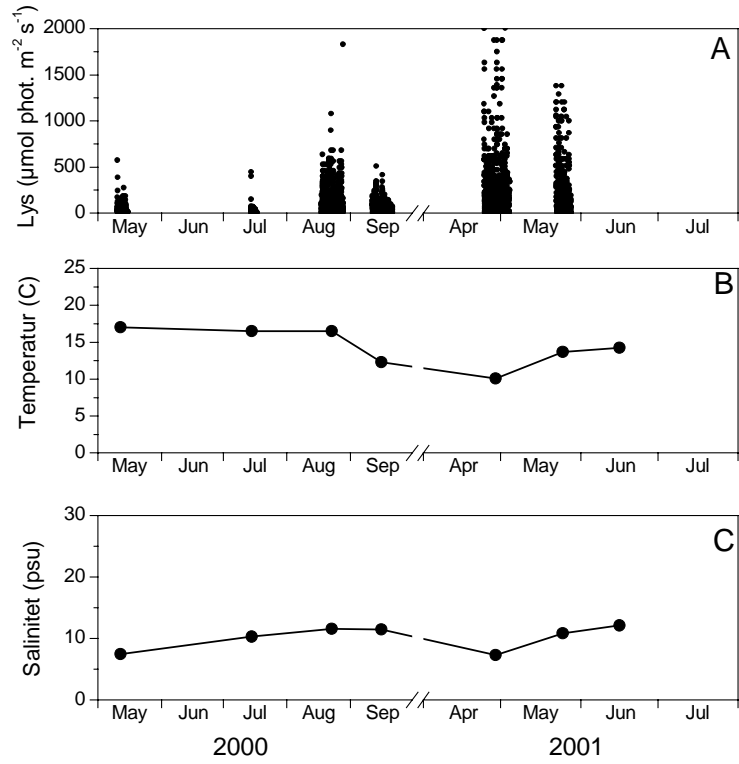
MARIAGER FJORD-FYSISKE FORHOLD



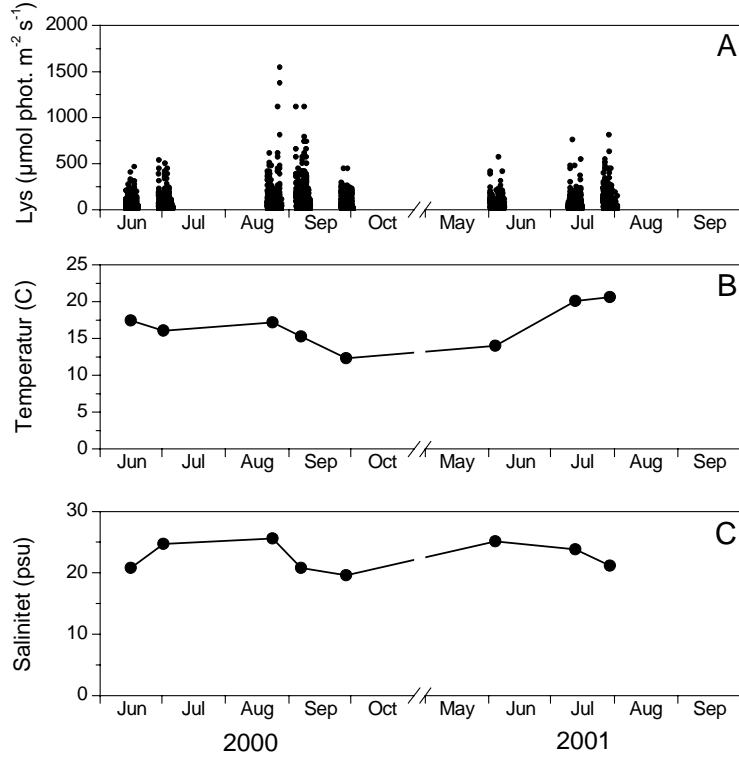
NORSMINDE FJORD-FYSISKE FORHOLD



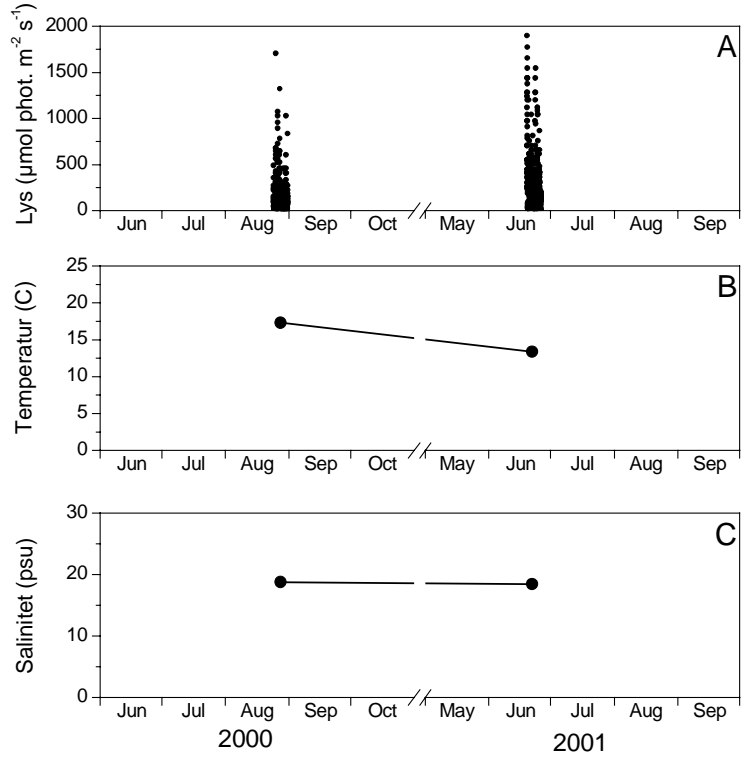
RINGKØBING FJORD-FYSISKE FORHOLD



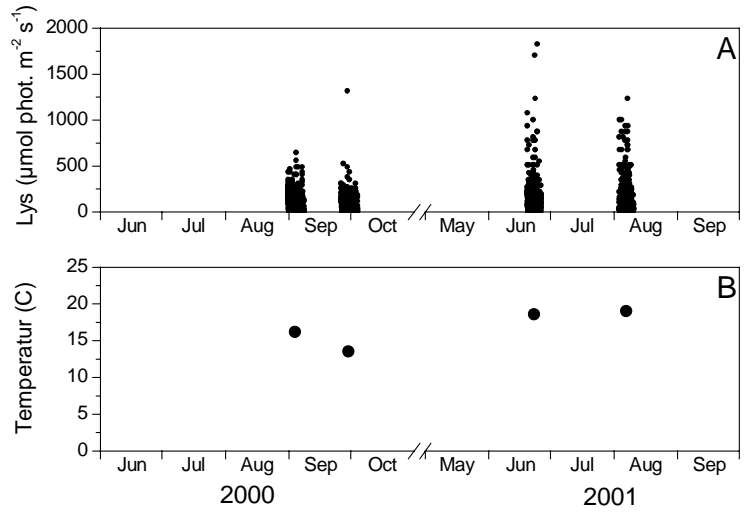
VADEHAVET-FYSISKE FORHOLD



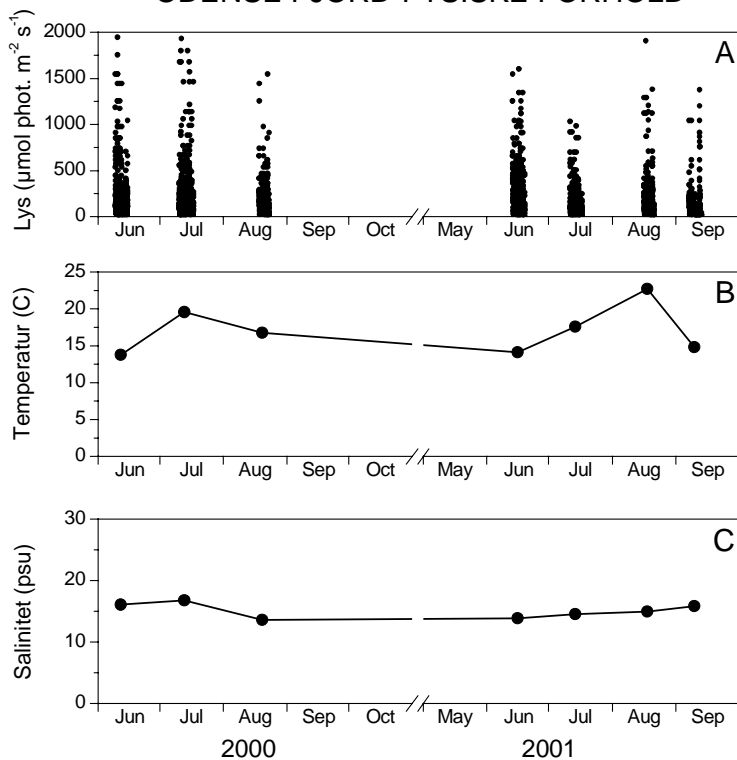
GENNER BUGT-FYSISKE FORHOLD



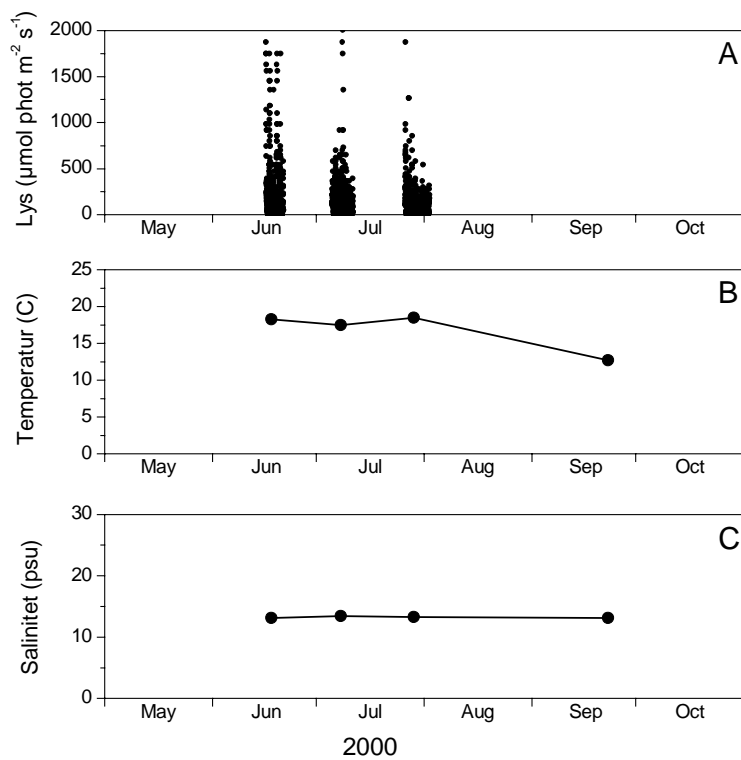
HADERSLEV FJORD-FYSISKE FORHOLD



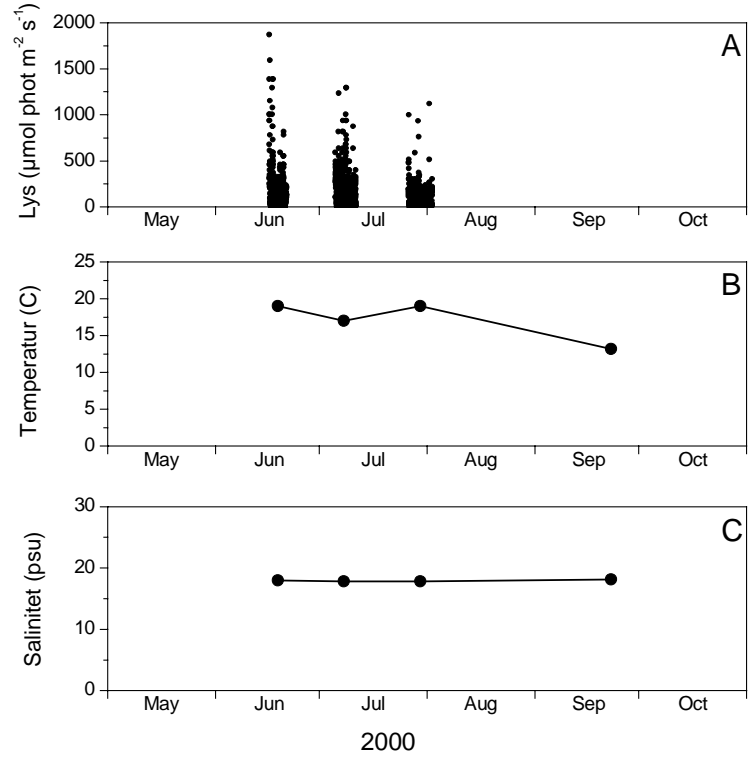
ODENSE FJORD-FYSISKE FORHOLD



ROSKILDE FJORD-FYSISKE FORHOLD



VELLERUP VIG-FYSISKE FORHOLD



Bilag 5. Statistisk analyse af gødningseffekt på tørstof tilvækst

Statistisk analyse af gødningseffekt på tørstofftilvækst hos søsalat. Forsøget er gennemført i 10 fjorde i forsøgsperioder af 5-10 dages varighed; datoen midt i hver forsøgsperiode er angivet. Kolonnen "F-test" viser resultater (p-værdier) af 2 faktor variansanalyse, der tester for interaktion mellem effekter af N og P. Signifikant interaktion ($p < 0,05$) er angivet med *, i parentes er angivet, om interaktionen er positiv eller negativ, dvs. om effekterne af N og P forstærker eller formindsker hinanden. De sidste 3 kolonner viser parvise sammenligninger med kontrollen, i et en-sidet test af, om effekten af en given behandling er positiv: *: signifikant effekt af N, P eller NP i situationer med interaktion mellem N og P ($p < 0,02$, da p er korrigeret for multiple sammenligninger). *: signifikant effekt af N eller P i situationer uden interaktion mellem N og P ($p < 0,05$).

Fjord	Dato	F-test	Parvis sammenligning m. kontrol		
			N	P	N+P
Genner bugt	28aug2000	0,006* (+)	<0,001**	0,005**	<0,001**
	22jun2001	<0,001* (+)	<0,001**	0,018**	<0,001**
Haderslev Fjord	04sep2000	0,016* (+)	0,23	0,32	<0,001**
	30sep2000	0,059	0,61	0,047*	-
	23jun2001	0,26	<0,001*	0,037*	-
	07aug2001	0,50	0,47	0,75	-
Mariager Fjord	07maj2000	<0,001* (-)	0,21	<0,001**	0,69
	26maj2000	0,067	0,49	0,64	-
	17jun2000	0,58	0,48	0,010*	-
	04jul2000	0,27	0,001*	0,86	-
	11aug2000	0,005* (+)	0,025	0,87	<0,001**
	01sep2000	-	-	-	-
Norsminde Fjord	16sep2000	0,22	0,17	0,85	-
	13maj2000	-	-	-	-
	20maj2000	0,12	0,94	0,019*	-
	17jun2000	<0,001* (+)	0,99	0,47	<0,001*
	02jul2000	0,46	0,37	0,99	-
	30jul2000	0,065	0,96	0,86	-
	03sep2000	<0,001* (+)	0,38	0,99	0,003**
	25sep2000	0,021* (+)	0,99	0,27	0,056
	20okt2000	0,44	0,84	0,057	-
	12jun2000	0,12	0,074	0,032*	-
	13jul2000	<0,001* (+)	<0,001**	0,22	<0,001**
	20aug2000	0,046* (+)	0,82	0,21	0,007**
	16jun2001	0,25	<0,001*	0,22	-
	14jul2001	<0,001* (+)	0,011	0,39	<0,001**
	18aug2001	<0,001* (+)	0,99	0,96	0,007**
Ringkøbing Fjord	10sep2001	0,10	0,020*	0,067*	-
	12maj2000	0,62	0,38	<0,001*	-
	15jul2000	0,004* (+)	0,82	0,61	0,001
	23aug2000	-	-	-	-
	16sep2000	0,065	0,58	0,35	-
	29apr2001	-	-	-	-
	25maj2001	0,33	0,62	<0,001*	-
Roskilde Fjord	16jun2001	0,23	0,42	<0,001*	-
	18jun2000	<0,001* (+)	0,040	0,49	<0,001**
	08jul2000	0,037* (+)	0,004**	0,007**	<0,001**
	29jul2000	0,001* (+)	0,053	0,27	<0,001**
	23sep2000	0,001* (-)	<0,001**	<0,001**	<0,001**

Fjord	Dato	F-test	Parvis sammenligning m. kontrol		
			N	P	N+P
Skive Fjord	14maj2000	0,66	0,94	<0,001*	-
	03jun2000	0,15	0,65	<0,001*	-
	18jun2000	0,16	0,82	<0,001*	-
	16jul2000	<0,001* (+)	<0,001**	0,001**	<0,001**
	14aug2000	0,37	0,095	0,006*	-
	11sep2000	0,08	0,30	0,42	-
Vadehavet	16jun2000	-	-	-	-
	02jul2000	0,99	0,77	0,63	-
	24aug2000	0,56	0,82	0,38	-
	07sep2000	0,09	0,96	0,97	-
	29sep2000	<0,001* (-)	0,011**	<0,001**	0,11
	04jun2001	0,30	0,002*	0,23	-
	13jul2001	0,29	0,88	0,78	-
	30jul2001	0,076	0,80	0,94	-
Vellerup Vig	19jun2000	<0,001* (+)	0,003**	0,30	<0,001**
	08jul2000	<0,001* (+)	0,008**	0,60	<0,001**
	30jul2000	0,002* (+)	<0,001**	0,40	<0,001**
	23sep2000	0,87	0,003*	0,90	-

Bilag 6. Statistisk analyse af gødningseffekt på areal tilvækst

Statistisk analyse af gødningseffekt på arealtilvækst hos søsalat. Forsøget er gennemført i 10 fjorde i forsøgsperioder af 5-10 dages varighed; datoen midt i hver forsøgsperiode er angivet. Kolonnen "F-test" viser resultater (p-værdier) af 2 faktor variansanalyse, der tester for interaktion mellem effekter af N og P. Signifikant interaktion ($p < 0,05$) er angivet med *, i parentes er angivet, om interaktionen er positiv eller negativ, dvs. om effekterne af N og P forstærker eller formindsker hinanden. De sidste 3 kolonner viser parvise sammenligninger med kontrollen, i et en-sidet test af, om effekten af en given behandling er positiv: *: signifikant effekt af N, P eller NP i situationer med interaktion mellem N og P ($p < 0,02$, da p er korrigeret for multiple sammenligninger). *: signifikant effekt af N eller P i situationer uden interaktion mellem N og P ($p < 0,05$).

Fjord	Dato	F-test	Parvis sammenligning m. kontrol		
			N	P	N+P
Genner bugt	28aug2000	0,002* (+)	<0,001**	0,009**	<0,001**
	22jun2001	<0,001* (+)	0,001**	0,17	<0,001**
Haderslev Fjord	04sep2000	0,001* (+)	0,72	0,88	<0,001**
	30sep2000	0,17	0,70	0,017*	-
	23jun2001	0,31	0,001*	0,004*	-
	07aug2001	0,66	0,25	0,94	-
Mariager Fjord	07maj2000	<0,001* (-)	0,13	<0,001**	0,18
	26maj2000	<0,001* (-)	<0,001**	<0,001**	0,004**
	17jun2000	0,92	0,014*	<0,001*	-
	04jul2000	<0,001* (-)	<0,001**	<0,001**	0,022
	11aug2000	0,041* (+)	<0,001**	<0,001**	<0,001**
	01sep2000	0,49	0,080	0,99	-
	16sep2000	0,73	0,29	0,96	-
Norsminde Fjord	13maj2000	-	-	-	-
	20maj2000	0,63	0,98	0,99	-
	17jun2000	0,002* (+)	0,88	0,61	<0,001**
	02jul2000	0,045* (-)	0,24	1,0	1,0
	30jul2000	0,007* (+)	0,97	0,86	0,095
	03sep2000	<0,016* (+)	0,84	1,0	0,93
	25sep2000	0,014* (+)	1,0	0,75	0,83
	20okt2000	0,43	0,47	0,023*	-
Odense Fjord	12jun2000	0,48	0,035	0,24	-
	13jul2000	<0,001* (+)	<0,001**	0,067	<0,001**
	20aug2000	0,006* (+)	0,14	0,10	<0,001**
	16jun2001	0,43	0,003*	0,35	-
	14jul2001	<0,030* (+)	<0,001**	<0,001**	<0,001**
	18aug2001	0,093	0,001*	0,003*	0,007*
	10sep2001	0,39	0,009*	0,010*	-
Ringkøbing Fjord	12maj2000	0,13	0,88	<0,001*	-
	15jul2000	0,001* (+)	0,71	0,017**	0,001**
	23aug2000	-	-	-	-
	16sep2000	0,43	0,44	0,19	-
	29apr2001	-	-	-	-
	25maj2001	0,21	0,62	<0,001*	-
	16jun2001	0,26	0,37	<0,001*	-
Roskilde Fjord	18jun2000	<0,001* (+)	0,032	0,16	<0,001**
	08jul2000	0,007* (+)	0,010**	0,004**	<0,001**
	29jul2000	0,001* (+)	<0,001*	0,058	<0,001**
	23sep2000	0,14	<0,002*	<0,41	-

Fjord	Dato	F-test	Parvis sammenligning m. kontrol		
			N	P	N+P
Skive Fjord	14maj2000	0,66	0,99	<0,001*	-
	03jun2000	0,71	0,13	<0,001*	-
	18jun2000	0,44	0,94	0,038*	-
	16jul2000	0,006* (+)	0,12	0,60	<0,001**
	14aug2000	0,031* (-)	0,038	0,004**	0,054
	11sep2000	0,18	0,71	0,93	-
Vadehavet	16jun2000	-	-	-	-
	02jul2000	0,76	0,89	0,89	-
	24aug2000	0,99	0,62	0,24	-
	07sep2000	0,86	0,98	0,98	-
	29sep2000	0,005* (-)	0,008**	<0,001**	0,021
	04jun2001	0,42	0,001*	0,80	-
	13jul2001	0,69	0,99	0,76	-
	30jul2001	0,14	0,85	0,98	-
Vellerup Vig	19jun2000	<0,001* (+)	<0,001**	0,46	<0,001**
	08jul2000	<0,001* (+)	<0,001**	0,017**	<0,001**
	30jul2000	0,003* (+)	<0,001**	<0,11	<0,001**
	23sep2000	0,27	<0,001*	0,71	-

Bilag 7. Statistisk analyse af gødningseffekt på N-optagelse

Statistisk analyse af gødningseffekt på N-optagelse hos søsalat. Forsøget er gennemført i 10 fjorde i forsøgsperioder af 5-10 dages varighed; datoen midt i hver forsøgsperiode er angivet. Kolonnen "F-test" viser resultater (p-værdier) af 2 faktor variansanalyse, der tester for interaktion mellem effekter af N og P. Signifikant interaktion ($p < 0,05$) er angivet med *, i parentes er angivet, om interaktionen er positiv eller negativ, dvs. om effekterne af N og P forstærker eller formindsker hinanden. De sidste 3 kolonner viser parvise sammenligninger med kontrollen, i et en-sidet test af, om effekten af en given behandling er positiv: *: signifikant effekt af N, P eller NP i situationer med interaktion mellem N og P ($p < 0,02$, da p er korrigeret for multiple sammenligninger). *: signifikant effekt af N eller P i situationer uden interaktion mellem N og P ($p < 0,05$).

Fjord	Dato	F-test	Parvis sammenligning m. kontrol		
			N	P	N+P
Genner bugt	28aug2000	0,049* (+)	<0,001**	0,19	<0,001**
	22jun2001	<0,002* (+)	<0,002**	0,29	<0,001**
Haderslev Fjord	04sep2000	<0,001* (+)	0,67	0,72	<0,001**
	30sep2000	0,25	0,89	0,25	-
	23jun2001	0,043 (+)	0,010*	0,21	<0,001**
	07aug2001	0,70	0,36	0,57	-
Mariager Fjord	07maj2000	<0,001* (-)	0,14	<0,001**	0,23
	26maj2000	0,02* (-)	0,010**	0,065	0,36
	17jun2000	0,58	0,24	<0,001**	-
	04jul2000	0,26	<0,001**	<0,001**	-
	11aug2000	0,021* (+)	0,008**	0,58	<0,001**
	01sep2000	-	-	-	-
Norsminde Fjord	16sep2000	0,72	0,15	0,98	-
	13maj2000	-	-	-	-
	20maj2000	0,004**	<0,001**	0,028	<0,001**
	17jun2000	<0,001* (+)	0,12	0,80	<0,001**
	02jul2000	0,012* (+)	0,24	0,66	<0,001**
	30jul2000	<0,001* (+)	0,38	0,80	<0,001**
	03sep2000	<0,001* (+)	0,032	0,96	<0,001**
	25sep2000	0,018* (+)	0,99	0,096	0,014**
Odense Fjord	20okt2000	0,17	0,43	0,018	-
	12jun2000	0,22	0,004*	0,005*	-
	13jul2000	<0,001* (+)	0,002**	0,70	<0,001**
	20aug2000	0,005* (+)	0,77	0,20	<0,001**
	16jun2001	0,10	<0,001*	0,21	-
	14jul2001	<0,001* (+)	<0,001**	0,17	<0,001**
	18aug2001	0,31	0,15	0,22	-
Ringkøbing Fjord	10sep2001	0,30	0,001*	0,002*	-
	12maj2000	0,64	0,55	<0,001*	-
	15jul2000	0,018* (+)	0,78	0,069	<0,001**
	23aug2000	-	-	-	-
	16sep2000	0,01 (+)	0,22	0,99	0,83
	29apr2001	-	-	-	-
	25maj2001	0,25	0,90	<0,001*	-
Roskilde Fjord	16jun2001	0,35	0,63	<0,001*	-
	18jun2000	<0,001* (+)	0,052	0,061	<0,001**
	08jul2000	0,026* (+)	<0,001**	0,003**	<0,001**
	29jul2000	0,001* (+)	0,033	0,45	<0,001**
	23sep2000	0,41	<0,001*	0,001*	-

Fjord	Dato	F-test	Parvis sammenligning m. kontrol		
			N	P	N+P
Skive Fjord	14maj2000	0,19	0,94	<0,001*	-
	03jun2000	0,34	0,73	<0,001*	-
	18jun2000	0,18	0,81	<0,001*	-
	16jul2000	<0,001* (+)	0,002**	0,007**	<0,001**
	14aug2000	0,10	0,017*	0,005*	-
	11sep2000	0,047** (+)	0,95	0,98	0,73
Vadehavet	16jun2000	-	-	-	-
	02jul2000	0,90	0,80	0,72	-
	24aug2000	0,50	0,78	0,23	-
	07sep2000	0,34	0,65	0,63	-
	29sep2000	0,010* (-)	0,094**	<0,002**	0,22
	04jun2001	0,33	0,001*	0,31	-
	13jul2001	0,35	0,95	0,75	-
	30jul2001	0,17	0,89	0,99	-
Vellerup Vig	19jun2000	<0,001* (+)	0,021	0,47	<0,001**
	08jul2000	<0,001* (+)	0,001**	0,75	<0,001**
	30jul2000	0,001* (+)	<0,001**	0,12	<0,001**
	23sep2000	0,008* (+)	0,022	0,71	<0,001**

Bilag 8. Statistisk analyse af gødningseffekt på P-optagelse

Statistisk analyse af gødningseffekt på P-optagelse hos søsalat. Forsøget er gennemført i 10 fjorde i forsøgsperioder af 5-10 dages varighed; datoen midt i hver forsøgsperiode er angivet. Kolonnen "F-test" viser resultater (p-værdier) af 2 faktor variansanalyse, der tester for interaktion mellem effekter af N og P. Signifikant interaktion ($p < 0,05$) er angivet med *; i parentes er angivet, om interaktionen er positiv eller negativ, dvs. om effekterne af N og P forstærker eller formindsker hinanden. De sidste 3 kolonner viser parvise sammenligninger med kontrollen, i et en-sidet test af, om effekten af en given behandling er positiv: *: signifikant effekt af N, P eller NP i situationer med interaktion mellem N og P ($p < 0,02$, da p er korrigeret for multiple sammenligninger). *: signifikant effekt af N eller P i situationer uden interaktion mellem N og P ($p < 0,05$).

Fjord	Dato	F-test	Parvis sammenligning m. kontrol		
			N	P	N+P
Genner bugt	28aug2000	<0,001* (+)	<0,005* [†]	0,002* [†]	<0,001* [†]
	22jun2001	<0,001* (+)	<0,076	0,020* [†]	<0,001* [†]
Haderslev Fjord	04sep2000	0,001* (+)	0,76	0,38	<0,001* [†]
	30sep2000	0,21	0,93	0,13	-
	23jun2001	0,056	<0,001*	0,062	-
	07aug2001	0,70	0,88	0,95	-
Mariager Fjord	07maj2000	<0,001* (-)	0,48	<0,001* [†]	0,010* [†]
	26maj2000	0,002* (-)	<0,001* [†]	0,002* [†]	0,076
	17jun2000	0,74	0,83	<0,001*	-
	04jul2000	0,24	0,74	<0,001*	-
	11aug2000	0,078	<0,001*	<0,001*	-
	01sep2000	-	-	-	-
Norsminde Fjord	16sep2000	<0,001* (-)	<0,001* [†]	0,004* [†]	0,30
	13maj2000	-	-	-	-
	20maj2000	0,78	0,64	<0,001*	-
	17jun2000	0,57	0,004*	<0,001*	-
	02jul2000	0,19	0,16	<0,001*	-
	30jul2000	<0,001* (+)	0,34	0,67	<0,001* [†]
	03sep2000	<0,001* (+)	0,38	1,0	<0,001* [†]
	25sep2000	0,087	0,94	<0,001*	-
Odense Fjord	20okt2000	0,69	0,14	<0,001*	-
	12jun2000	0,47	0,021*	0,012*	-
	13jul2000	<0,001* (+)	0,004* [†]	0,89	<0,001* [†]
	20aug2000	0,49	0,80	0,040*	-
	16jun2001	0,22	<0,001*	0,22	-
	14jul2001	0,021* (+)	0,002* [†]	0,14	0,89
	18aug2001	<0,001* (+)	1,0	0,98	0,29
Ringkøbing Fjord	10sep2001	0,97	0,037*	0,046*	-
	12maj2000	0,19	0,26	<0,001*	-
	15jul2000	0,072	0,33	<0,001*	-
	23aug2000	-	-	-	-
	16sep2000	0,21	0,50	0,018*	-
	29apr2001	-	-	-	-
	25maj2001	0,96	0,91	<0,016*	-
Roskilde Fjord	16jun2001	0,50	0,33	<0,001*	-
	18jun2000	<0,001* (+)	0,064	0,44	<0,001* [†]
	08jul2000	0,37	<0,001*	<0,001*	-
	29jul2000	<0,001* (+)	0,033	0,065	<0,001* [†]
	23sep2000	0,40	<0,001*	0,011*	-

Fjord	Dato	F-test	Parvis sammenligning m. kontrol		
			N	P	N+P
Skive Fjord	14maj2000	0,50	0,32	<0,001*	-
	03jun2000	0,42	0,46	<0,001*	-
	18jun2000	0,70	0,58	<0,001*	-
	16jul2000	0,91	0,002*	0,92	-
	14aug2000	0,050* (-)	0,36	0,031	0,74
	11sep2000	0,047* (+)	0,91	0,93	0,39
Vadehavet	16jun2000	-	-	-	-
	02jul2000	0,93	0,63	0,43	-
	24aug2000	0,75	0,75	0,19	-
	07sep2000	0,47	0,59	0,99	-
	29sep2000	0,12	0,61	0,16	-
	04jun2001	0,10	0,003*	0,04*	-
	13jul2001	0,42	0,93	0,73	-
	30jul2001	0,12	0,82	0,92	-
Vellerup Vig	19jun2000	<0,001* (+)	0,29	0,10	<0,001**
	08jul2000	<0,001* (+)	0,04	0,001**	<0,001**
	30jul2000	0,009* (+)	<0,002**	0,01**	<0,001**
	23sep2000	0,43	0,016*	<0,001*	-

Danmarks Miljøundersøgelser

Danmarks Miljøundersøgelser - DMU - er en forskningsinstitution i Miljøministeriet. DMU's opgaver omfatter forskning, overvågning og faglig rådgivning indenfor natur og miljø.

Henvendelser kan rettes til:

URL: <http://www.dmu.dk>

Danmarks Miljøundersøgelser
Frederiksborgvej 399
Postboks 358
4000 Roskilde
Tlf.: 46 30 12 00
Fax: 46 30 11 14

Direktion
Personale- og Økonomisekretariat
Forsknings- og Udviklingssektion
Afd. for Systemanalyse
Afd. for Atmosfærisk Miljø
Afd. for Marint Miljø
Afd. for Miljøkemi og Mikrobiologi
Afd. for Arktisk Miljø
Projektchef for kvalitets- og analyseområdet

Danmarks Miljøundersøgelser
Vejløvej 25
Postboks 314
8600 Silkeborg
Tlf.: 89 20 14 00
Fax: 89 20 14 14

Overvågningssektionen
Afd. for Terrestrisk Økologi
Afd. for Ferskvandssøkologi
Projektchef for det akvatiske område

Danmarks Miljøundersøgelser
Grenåvej 12-14, Kalø
8410 Rønde
Tlf.: 89 20 17 00
Fax: 89 20 15 15

Afd. for Landskabsøkologi
Afd. for Kystzoneøkologi

Publikationer:

DMU udgiver faglige rapporter, tekniske anvisninger, temarapporter, samt en årlig beretning. En database med DMU's aktuelle forsknings- og udviklingsprojekter er tilgængelig via DMU's hjemmeside.

I årsberetningen findes en oversigt over det pågældende års publikationer.

Tidligere faglige rapporter

- Nr. 362: Aquatic Environment 2000. Status and Trends – Technical Summary. By Svendsen, L.M. et al. 66 pp., 75,00 DDK.
- Nr. 363: Regulering på jagt af vandfugle i kystzonen. Forsøg med døgnregulering i Østvendssyssel. Af Bregnballe, T. et al. 104 s., 100,00 kr.
- Nr. 364: Vingeindsamling fra jagtsæsonen 2000/2001 i Danmark. Wing Survey from the 2000/2001 Hunting Season in Denmark. Af Clausager, I. 53 s., 45,00 kr.
- Nr. 365: Habitat and Species Covered by the EEC Habitats Directive. A Preliminary Assessment of Distribution and Conservation Status in Denmark. By Pihl, S. et al. 121 pp. (electronic)
- Nr. 366: On the Fate of Xenobiotics. The Roskilde Region as Case Story. By Carlsen, L. et al. 66 pp., 75,- DKK
- Nr. 367: Anskydning af vildt. Status for undersøgelser 2001. Af Noer, H. et al. 43 s., 60,00 kr.
- Nr. 368: The Ramsar Sites of Disko, West Greenland. A Survey in July 2001. By Egevang, C. & Boertmann, D. 66 pp., 100,- DKK
- Nr. 369: Typeinddeling og kvalitetselementer for marine områder i Danmark. Af Nielsen, K., Sømod, B. & Christiansen, T. 105 s. (elektronisk).
- Nr. 370: Offshore Seabird Distributions during Summer and Autumn at West Greenland. Ship Based Surveys 1977 and 1992-2000. By Boertmann, D. & Mosbech, A. 57 pp. (electronic)
- Nr. 371: Control of Pesticides 2000. Chemical Substances and Chemical Preparations. By Krongaard, T., Petersen, K.K. & Christoffersen, C. 28 pp., 50,00 DKK
- Nr. 372: Det lysåbne landskab. Af Ellemann, L., Ejrnæs, R., Reddersen, J. & Fredshavn, J. 110 s., 120,00 kr.
- Nr. 373: Analytical Chemical Control of Phthalates in Toys. Analytical Chemical Control of Chemical Substances and Products. By Rastogi, S.C. & Worsøe, I.M. 27 pp., 75,- DKK
- Nr. 374: Atmosfærisk deposition 2000. NOVA 2003. Af Ellermann, T. et al. 88 s. (elektronisk primo december 2001)
- Nr. 375: Marine områder 2000 – Miljøtilstand og udvikling. NOVA 2003. Af Henriksen, P. et al. (elektronisk primo december 2001)
- Nr. 376: Landovervågningsoplande 2000. NOVA 2003. Af Grant, R. et al. (elektronisk primo december 2001)
- Nr. 377: Søer 2000. NOVA 2003. Af Jensen, J.P. et al. (elektronisk primo december 2001)
- Nr. 378: Vandløb og kilder. NOVA 2000. Af Bøgestrand, J. (red.) (elektronisk primo december 2001)
- Nr. 379: Vandmiljø 2001. Tilstand og udvikling – faglig sammenfatning. Af Boutrup, S. et al. 62 s., 100,- kr.
- Nr. 380: Fosfor i jord og vand – udvikling, status og perspektiver. Kronvang, B. (red.) 88 s., 100,00 kr.
- Nr. 381: Satellitsporing af kongeederfugl i Vestgrønland. Identifikation af raste- og overvintringsområder. Af Mosbech, A., Merkel, F., Flagstad, A. & Grøndahl, L. (i trykken)
- Nr. 382: Bystruktur og transportadfærd. Hvad siger Transportvaneundersøgelsen? Af Christensen, L. (i trykken)
- Nr. 383: Pesticider 2 i overfladevand. Metodaafprøvning. Af Nyeland, B. & Kvamm, B. 45 s. + Annex 1, 75,- kr.
- Nr. 384: Natural Resources in the Nanortalik Area. An Interview Study on Fishing, Hunting and Tourism in the Area around the Nalunaq Gold Project. By Glahder, C.M. 81 pp., 125,- kr.
- Nr. 385: Natur og Miljø 2001. Påvirkninger og tilstand. Af Bach, H., Christensen, N. & Kristensen, P. 368 s., 200,00 kr.
- Nr. 386: Pesticider 3 i overfladevand. Metodaafprøvning. Af Nyeland, B. & Kvamm, B. 94 s., 75,00 kr.
- Nr. 387: Improving Fuel Statistics for Danish Aviation. By Winther, M. 56 pp., 75,- DKK

2002

- Nr. 388: Microorganisms as Indicators of Soil Health. By Nielsen, M.N. & Winding, A. (in press)
- Nr. 389: Naturnær skovrejsning – et bæredygtigt alternativ? Af Aude, E. et al. (elektronisk) (i trykken)