

10. PLANKTON

Planteplankton er havets mindste planter. Ligesom planterne på landjorden, kan planteplanktonet omdanne uorganiske næringsstoffer til organisk stof ved hjælp af solens energi og dermed leve og vokse. Denne proces kaldes fotosyntese. Planteplankton er dermed første led i havets fødekæde og opbyggelse af plantestof kaldes da også primærproduktion. Lysets stråler opfanger planteplanktoncellerne v.h.a. forskellige pigmenter, bl.a. pigmentet chlorofyl-a, der findes i alle grupper.

Udnyttelsen af solens energi betyder, at væksten af planteplankton er afhængig af lystilførslen. Vækst kan derfor kun finde sted i de vandlag, hvor tilstrækkeligt lys er tilstede – i den såkaldte fotiske zone. Hvor dybt lyset kan trænge ned i vandet, afhænger af vandets indhold af partikler, som kan være uorganiske (f.eks. ophvirvlet bundmateriale) eller biologiske (f.eks. planteplankton). Den fotiske zone strækker sig til den vanddybde, hvor lysintensiteten er ca. 1 % af lysintensiteten ved overfladen.

Planteplanktons tilstedeværelse i den fotiske zone er i høj grad afhængig af vejr og vind, da organismernes vægtfylde er ganske lidt højere end det omgivende havvands. Efterhånden synker organismerne derfor ned gennem vandsøjlen, ud af den fotiske zone. Hvis de ikke græsses af dyr i vandsøjlen, vil de havne på bunden, hvor de ved bakteriel nedbrydning vil blive omsat til næringsstoffer. Planteplankton er derfor afhængig af vind- og strømbestemt omrøring i vandmasserne for at holde sig i overfladelagene, hvor produktion kan finde sted.

Udover at have adgang til lys er det essentielt for en planteplanktonorganisme at have en tilstrækkelig mængde næring til rådighed. Planteplanktonorganismene optager næringsstoffer direkte fra det omgivende vand. Efterhånden opbruges næringsstofferne i organismens umiddelbare nærhed, og den fortsatte vækst er derfor betinget af, at organismen igen får adgang til næringsstoffer, enten passivt ved omrøring i vandmassen eller ved aktiv bevægelse vertikalt i vandsøjlen.

10.1 Planteplanktonbiomasse

10.1.1 Kulstofbiomasse

Kulstofbiomassen er et mål for mængden af planteplankton. Detaljerede opgørelser af biomassen af planteplankton er lavet på blandingsprøver fra Dybet siden 1991. Prøverne blev i 1991 udtaget fra overfladen samt halv- og hel sigtddybde (se afsnit 10.1.4). Fra 1992 har blandingsprøven bestået af vand fra hver anden meter fra overfladen til 10 meters dybde.

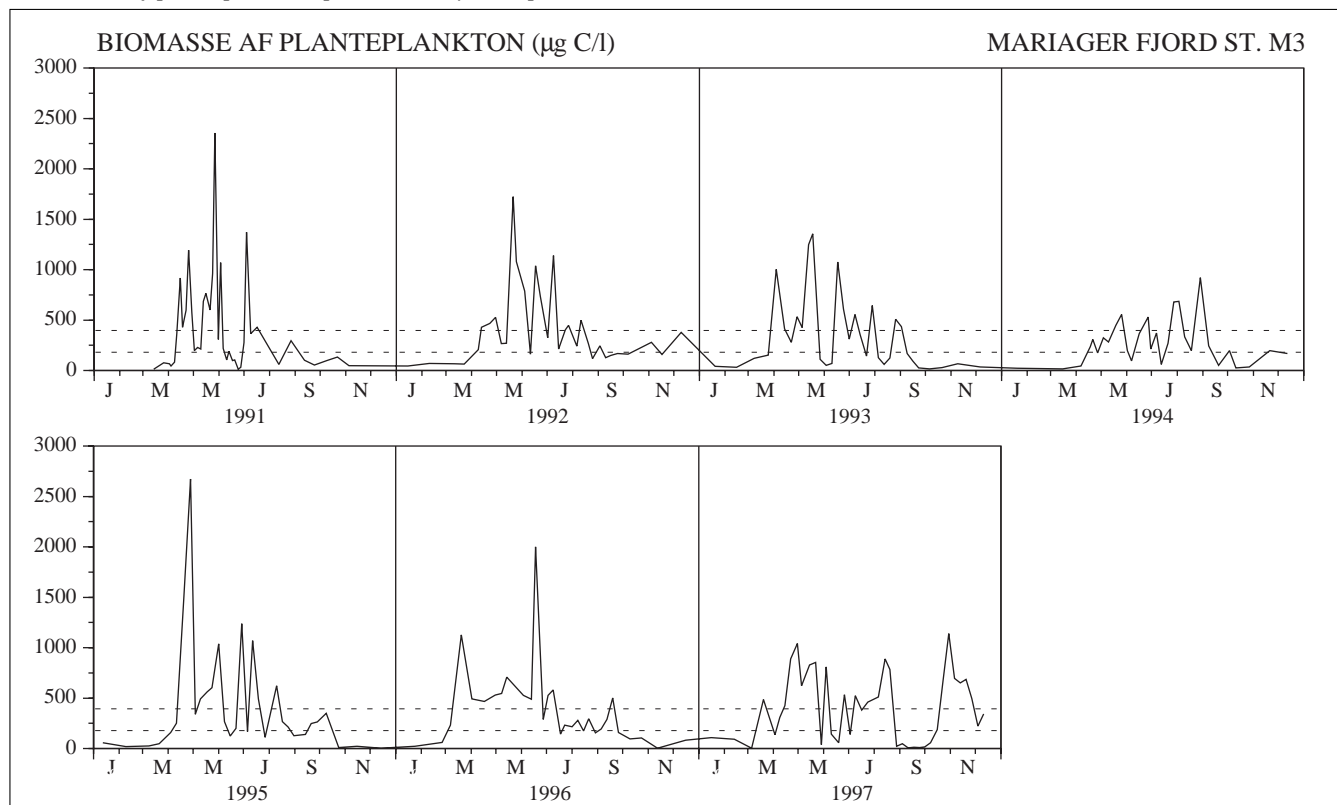
I 1991 var prøvetagningen intensiv, og frekvensen var ca. en gang ugentligt og i perioden april-juni to gange om ugen. Fra 1992 er prøver udtaget en gang om ugen i sommerperioden, hver anden uge i marts og oktober og en gang månedligt i perioden fra november til februar.

Til bestemmelse af kulstofbiomassen kvantificeres planteplanktonorganismene ved hjælp af omvendt mikroskop efter Utermöhls teknik (Utermöhl, 1958). Derefter udregnes organismernes volumen ved anvendelse af volumenformel for den bedst tilpassede geometriske figur. Kulstofbiomassen udregnes herefter ud fra faste omregningsfaktorer for cellernes kulstofindhold (Edler, 1979).

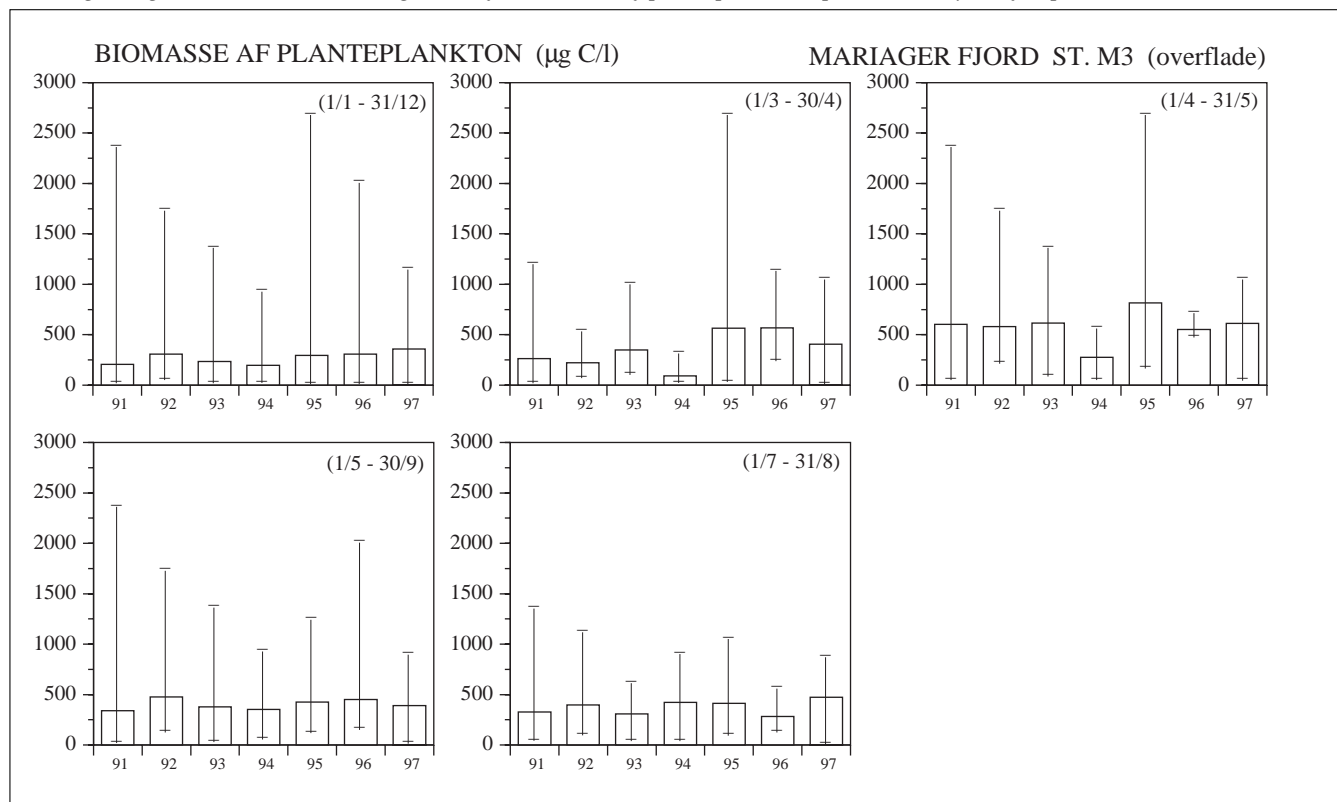
Årstidsvariation

Størrelsesmæssigt har kulstofbiomassen på Dybet ikke ændret sig siden 1991, ligesom forløbet over året har været nogenlunde det samme alle år (figur 10.1). Biomassen har i de fleste år været meget lav i januar, februar og det meste af marts, hvorefter der sker en kraftig opblomstring sent i marts – først i april. Denne sene forårsopblomstring er karakteristisk for Mariager Fjord – i Kattegat og andre indre farvande sker opblomstringen oftest i februar eller tidligt i marts måned. I 1996 og 1997 blev forårsopblomstringen registreret tidligere, hvilket hænger sammen med, at fjorden var isdækket disse år (afsnit 10.6.3). Efter forårsopblomstringen aftager biomassen normalt lidt for så at stige igen i forsommeren. Indenfor perioden maj-juni er der ofte en periode med meget lav biomasse, men biomassen er ellers stor, med varierende fald ind imellem, frem til september-oktober. Resten af året er biomassen generelt lav. Dette forløb afhænger af en række regulerende faktorer, der gennemgås nærmere i afsnit 10.6.

Figur 10.1
 Biomassen af planteplankton på st. M3, Dybet, i perioden 1991-1997.



Figur 10.2
 Tidsvægtede gennemsnit samt min. og max. af biomassen af planteplankton på st. M3, Dybet, for perioden 1991-1997.



Udvikling 1991-1997

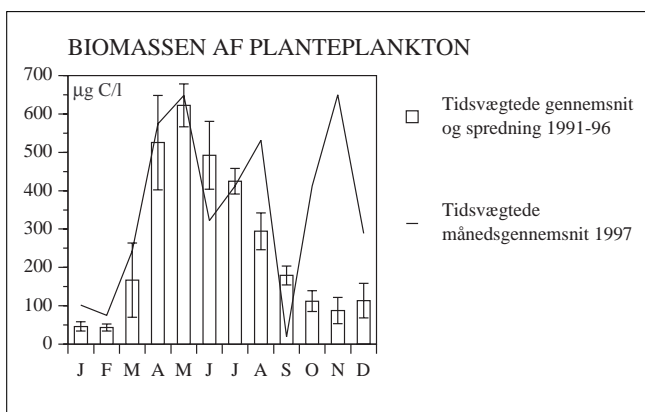
For at få et billede af udviklingen i biomassen af planteplankton i perioden 1991-1997 er der foretaget beregninger af tidsvægtede gennemsnit på årsbasis og i perioderne marts-april, april-maj, maj-september og juli-august (figur 10.2). Perioderne marts-april og maj-september anvendes traditionelt til vurdering af udvikling i planktonparametre. April-maj og juli-august er de perioder, hvor væksten af planteplanktonet i Mariager Fjord begrænses af henholdsvis fosfor- og kvælstofkoncentrationen (se afsnit 10.6).

Det er ikke muligt at konstatere en statistisk signifikant udvikling af størrelsen af planteplanktonbiomassen over perioden 1991-1997. Resultaterne viser dog, at biomasserne i perioden marts-maj var usædvanligt lave i 1994, mens specielt biomasserne i april-maj 1995 var usædvanligt høje (se også figur 10.1). De høje biomasser i foråret 1995 kan forklares ved, at der på grund af stor nedbør var en usædvanlig stor tilførsel af kvælstof og fosfor til Mariager fjord i vintermånederne (se kapitel 6).

Tilstand i 1997

I figur 10.3 er afbildet tidsvægtede månedsgennemsnit for 1997 sammen med det tilsvarende langtidsgennemsnit (1991-1996). Den usædvanligt tidlige forårsopblomstring p.g.a. isdække i 1997 gav sig udslag i høje biomasser i januar-februar. I de øvrige forårsmåneder svarede biomassen af planteplankton i 1997 til de tidligere år, mens biomassen i juni 1997 var usædvanlig lav. Som gennemsnit var biomasserne i juli 1997 lig gennemsnittet af de foregående år, men i august 1997 blev registreret en usædvanlig høj biomasse af planteplankton. Fra slutningen af august, hvor iltsvindet bredte sig til hele vandsøjlen (se kapitel 8), og frem til

Figur 10.3
Biomassen af planteplankton på st. M3, Dybet. Tidsvægtede månedsgennemsnit for 1997 i forhold til tidsvægtede gennemsnit for perioden 1991-1996 samt spredning.



1. oktober var biomassen usædvanlig lav for årstiden. Dette skyldtes sandsynligvis, at den svovlbrinte, der blev udviklet som følge af iltsvindet, påvirkede planteplanktonorganismene. Herefter blev registreret en usædvanlig kraftig opblomstring af planteplankton, der skyldtes frigivelse af bundne næringssalte fra bunden og fra nedbrydning af døde dyr og planter kombineret med fravær af græssere (se kapitel 9; Århus Amt og Nordjyllands Amt, 1997c). Året ud blev registreret disse usædvanligt høje biomasser (figur 10.1 og 10.3).

10.1.2 Chlorofyl-a

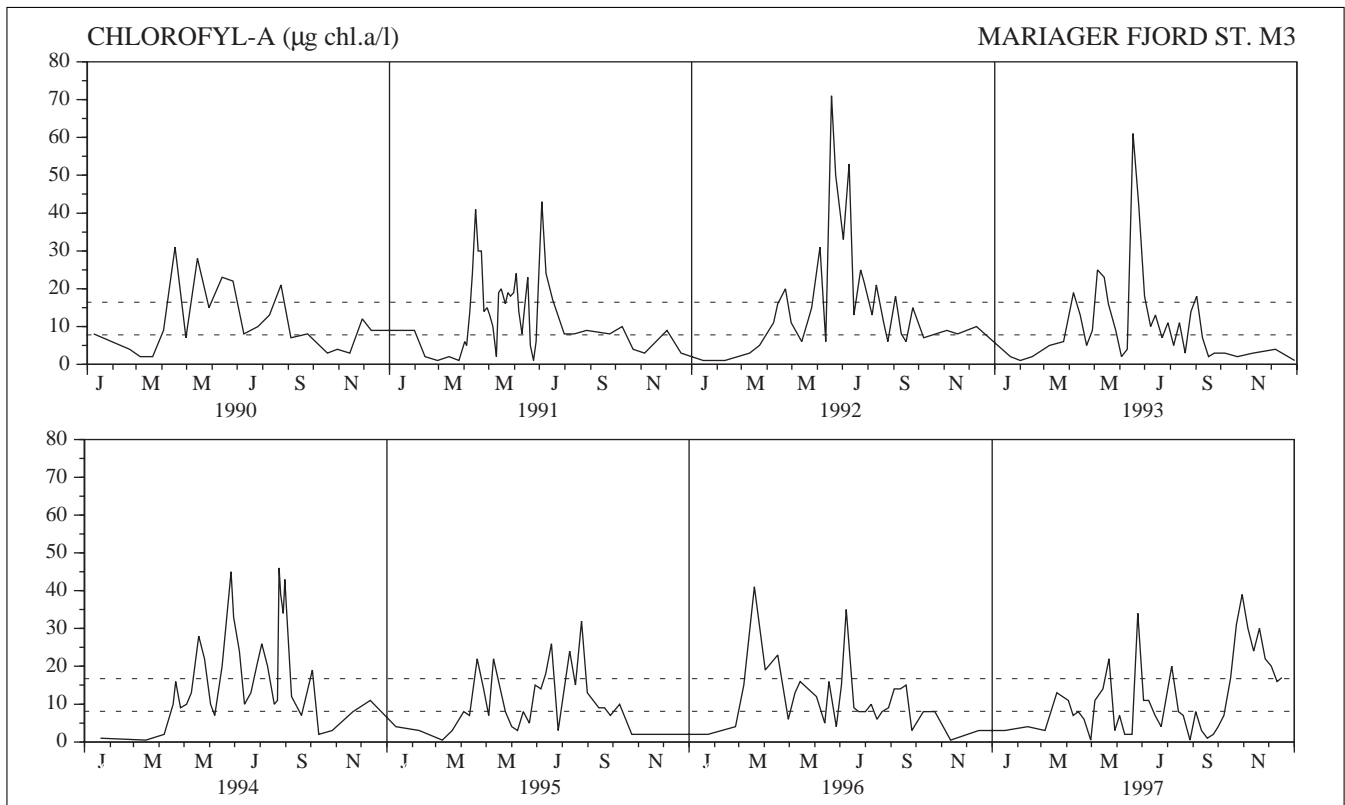
Vandets indhold af fotosyntesepigmentet chlorofyl-a kan tages som et godt skøn over koncentrationen af planteplankton og ses som et udtryk for biomassen af planteplankton. Chlorofyl-a indholdet er et resultat af den primærproduktion, der er foregået og det tab (ved græsning og andet), der har været op til prøvetagnings-tidspunktet. En planteplanktoncelles indhold af chlorofyl-a varierer med dens fysiologiske tilstand og den tilgængelige lysmængde, hvorfor cellens chlorofyl-a indhold pr. biomasseenhed ofte vil ændres med årstiden. Desuden er der forskel på de taxonomiske planteplanktongruppers indhold af chlorofyl-a.

Chlorofyl-a indholdet i vandet ved Dybet er målt siden 1979. I perioden 1979-1989 var prøvetagningsfrekvensen ca. 1 gang pr. måned i sommerhalvåret og noget sjældnere i vinterhalvåret. Der blev dog ikke foretaget overvågning i 1983 og første halvdel af 1984. I 1990 blev taget prøver 2 gange pr. måned og prøvetagningsfrekvensen var i 1991 ca. en gang ugentligt og i perioden april-juni to gange om ugen. Fra 1992 blev prøver udtaget en gang om ugen i sommerperioden, hver anden uge i marts og oktober og en gang månedligt i de fire vinter måneder. I 1979-1991 blev chlorofyl-a indholdet målt i prøver fra 0,2 meters dybde og fra 1992 i prøver blandet af vand fra hveranden meter i 0-10 meters dybde.

Årstidsvariation

Indholdet af chlorofyl-a i overfladevandet (0-10 m) i perioden 1990-1997 på station M3, Dybet, udviser tydelig sæsonvariation (figur 10.4). Chlorofyl-a indholdet er typisk lavt om vinteren for at stige i april og holde et generelt højt niveau sommeren over indtil september. I statusrapporten over overvågningen af Mariager Fjord 1985-89 (Nordjyllands Amt og Århus Amtskommune, 1990b) er beskrevet chlorofyl-a toppe forår og efterår. Dette må dog nu betragtes som et resultat af den sjældnere prøvetagning i denne periode, nemlig kun ca. 12 gange om året.

Figur 10.4
 Koncentrationen af chlorofyl-a på st. M3, Dybet, i perioden 1990-1997.

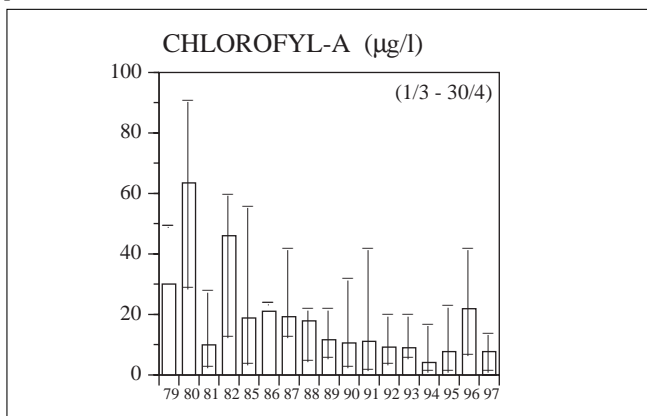


Udvikling 1979-1997

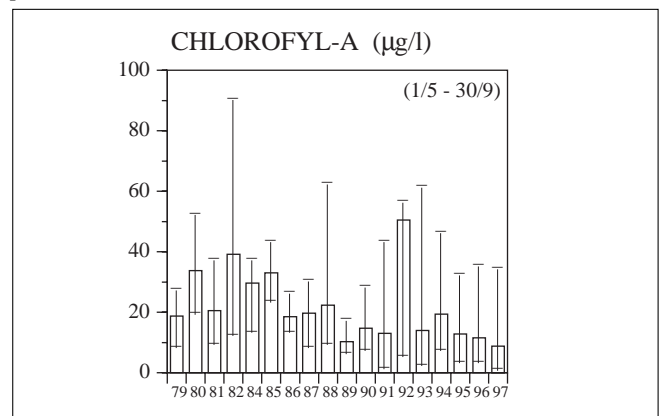
Afbildes chlorofyl-a indholdet som tidsvægtede gennemsnit ses ligeledes større indhold i sommerperioden (1/5-30/9) end i forårsperioden (1/3-30/4) (figur 10.5 og 10.6). De store variationer, specielt af forårsgennemsnit, i de tidlige prøver (1979-1982), skal ses i lyset af, at der ligger meget få resultater til grund for gennemsnittene. Prøvetagning indtil 1989 foregik ca. 1 gang pr. måned i sommerhalvåret og noget sjældnere i vinterhalvåret.

Chlorofyl-a indholdet i overfladevandet på station M3, Dybet, er generelt faldet i den periode, det er blevet målt, og der kan konstateres et statistisk signifikant fald i både forårsperioden (Kendalls tau-b analyse; $T = -0,598$; $p = 0,001$) og sommerperioden (Kendalls tau-b analyse; $T = -0,477$; $p = 0,006$). Faldet i koncentrationen af chlorofyl-a var særlig markant i sidste halvdel af 1980'erne. Mens sommergennemsnittet af koncentrationen af chlorofyl-a lå mellem 19 og 39 µg/l i perioden 1979-1988, lå sommergennemsnittet i perioden

Figur 10.5
 Tidsvægtede forårsgennemsnit (1/3 -30/4) samt min. og max. af koncentrationen af chlorofyl-a på st. M3, Dybet, for perioden 1979-1997.



Figur 10.6
 Tidsvægtede sommergennemsnit (1/5 -30/9) samt min. og max. af koncentrationen af chlorofyl-a på st. M3, Dybet, for perioden 1979-1997.



1989-97 (med undtagelse af 1992) på 9-19 $\mu\text{g/l}$. Tilsvarende lå forårsgennemsnittet i perioden 1979-1988 (med undtagelse af 1981) mellem 18 og 63 $\mu\text{g/l}$, mens det i perioden 1989-97 lå på 4-12 $\mu\text{g/l}$ (med undtagelse af 1996).

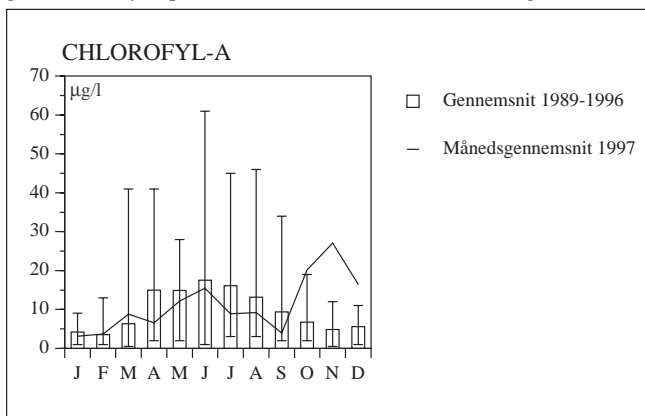
Faldet i koncentrationen af chlorofyl-a i sidste halvdel af 1980'erne er sammenfaldende med faldet i koncentrationen af fosfor i samme periode, og må ses som et resultat af, at produktionen af planteplankton i større omfang blev begrænset af tilgængeligheden af fosfor.

Tilstand i 1997

Chlorofyl-a indholdet i første halvdel af 1997 var ikke højere end målingerne fra de øvrige år i perioden, snarere lidt lavere. I disse måneder fulgte chlorofyl-a indholdet også samme mønster som i de foregående år, dog med tendens til lavere værdier. Sammenligning af tidsvægtede månedsgennemsnit for 1997 med et samlet månedsgennemsnit for perioden 1989-1996 viser da også, at månedsgennemsnittene for de første ni måneder af 1997 generelt var lavere end langtidsgennemsnittet (figur 10.7). Dette gælder også for august 1997, hvilket betyder, at den opblomstring af planteplankton, der blev registreret her (figur 10.1), ikke har givet anledning til usædvanligt højt chlorofyl-a indhold. Dette kan hænge sammen med artssammensætningen af planteplankton, da chlorofyl-a indholdet varierer fra art til art, eller det kan skyldes det solrige vejr i august, der har medført, at organismene ikke behøver store koncentrationer af pigment for at få fuldt udbytte af lyset.

De sidste tre måneder af 1997 var chlorofyl-a indholdet derimod væsentligt højere end i de foregående år (figur 10.7), hvilket stemmer overens med målinger af

Figur 10.7
Koncentrationen af chlorofyl-a på st. M3, Dybet. Tidsvægtede månedsgennemsnit for 1997 i forhold til tidsvægtede gennemsnit for perioden 1989-1996 samt min. og max.



de øvrige fytoplanktonparametre i disse måneder. De høje biomasser skyldtes store mængder næringssalte, der blev frigivet i forbindelse med iltsvindet, dels fra bunden og dels fra nedbrydning af døde planter og dyr i fjorden, kombineret med, at stort set alle græssere var døde (kapitel 16; Århus Amt og Nordjyllands Amt, 1997c).

10.1.3 Fluorescens

Ved undersøgelserne i Mariager fjord måles fluorescens, d.v.s. frigivelse af absorberet lysenergi, ned gennem vandsøjlen. Fluorescensen afhænger bl.a. af koncentrationen af fotosyntesepigmenter (primært chlorofyl-a) i vandet og afspejler dermed koncentrationen af planteplankton. Forholdet mellem fluorescens og chlorofyl-a varierer gennem året og afhænger af planteplanktons fysiologiske tilstand. Fluorescensen bør derfor kun betragtes som et relativt udtryk, men den er et godt udtryk for planteplanktons fordeling i vandsøjlen.

I 1990 blev fluorescensen ned gennem vandsøjlen på Dybet kun målt 2 gange pr. måned. Fluorescensisoplethen fra dette år skal derfor behandles med dette forbehold, da sjældne målinger betyder, at den enkelte måling strækkes ud over en lang periode. Frekvensen var i 1991 ca. en gang ugentligt og i perioden april-juni to gange om ugen. Fra 1992 er målinger foretaget en gang om ugen i sommerperioden, hver anden uge i marts og oktober og en gang månedligt i de fire vintermåneder.

Årstidsvariation og udvikling 1990-1997

Fluorescensprofilerne fra prøvetagninger på station M3, Dybet, i 1990-1997 giver overordnet et ensartet billede af årstidsvariationen (figur 10.8). I vækstsæsonen fra april findes planteplankton stort set kun i de øverste 10-15 meter af vandsøjlen. Dette svarer nøje til den øvre omrørte vandmasse, der ses på stationen i sommerhalvåret, afgrænset ved en lagdeling på grund af forskelle i saltholdighed (se kapitel 7). Den største koncentration af planteplankton ses som regel i 1-4 meters dybde. Dette stemmer med, at den fysiske zone (den zone, hvor lysmængden er tilstrækkelig til plantevækst) typisk strækker sig til 4-6 meters dybde på stationen (se afsnit 10.1.4). Der er i maj måned ofte observeret en større forekomst af planteplankton i omkring 15 meters dybde, mere eller mindre adskilt fra forekomsten i de øverste vandlag. Undersøgelse af sedimentationen på Dybet i maj 1993 viste, at der her var tale om planteplanktonceller, der sedimenterede ud af vandsøjlen efter en stor opblomstring (se kapitel 13,

Nordjyllands Amt, 1997). Der er altså ikke tale om en egentlig adskilt planteplanktonpopulation, der lever i de dybere vandlag.

Tilstanden i 1997

Fluorescensprofilen i den første del af 1997 fulgte det overordnede billede - de målte fluorescensværdier var dog generelt lidt lavere end de tidligere år (figur 10.8). Dette stemmer overens med koncentrationerne af chlorofyl-a (afsnit 10.1.2). I august blev målt en usædvanlig høj fluorescens i de øverste 3 m af vandsøjlen, som hænger sammen med usædvanligt store forekomster af planteplankton på dette tidspunkt (se afsnit 10.3). I oktober, november og december afspejlede fluorescensprofilen ligeledes den usædvanligt store koncentration af planteplankton, der blev registreret i de øverste vandlag i disse måneder, hvor der sædvanligvis er meget lave forekomster af planteplankton på Dybet (se afsnit 10.3 og 10.4).

10.1.4 Sigtdybde

Sigtdybden er et udtryk for lysets dæmpning ned gennem vandsøjlen og anvendes traditionelt som et mål for vandets klarhed. Sigtdybden måles ved hjælp af en Secchi-skive, en hvid skive, der nedsænkes til den dybde, hvor den netop ikke kan ses. Sigtdybden af-

hænger af vandets indhold af organiske og uorganiske partikler. I Mariager Fjord er sigtdybden vist at hænge godt sammen med koncentrationen af planteplankton i vandet (Nordjyllands Amt og Århus Amt, 1994). Da denne koncentration bl.a. afhænger af mængden af de tilgængelige næringsstoffer i vandet, kan sigtdybden tages som et udtryk for fjordens generelle miljøtilstand.

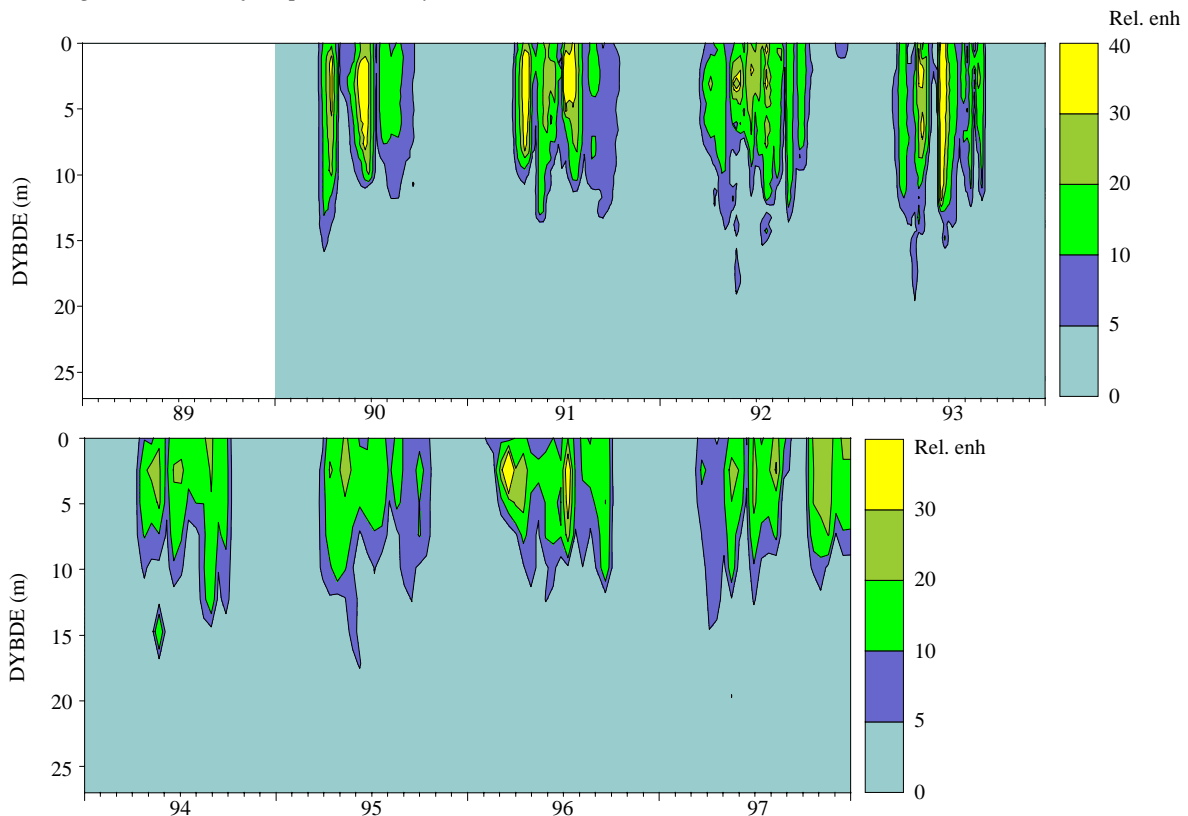
Sigtdybden ved Dybet er blevet målt siden 1979. I perioden 1979-1989 var målefrekvensen ca. 1 gang pr. måned i sommerhalvåret og noget sjældnere i vinterhalvåret. I 1990 blev målt 2 gange pr. måned og målefrekvensen var i 1991 planlagt til en gang ugentligt og i perioden april-juni to gange om ugen. Fra 1992 er målinger foretaget en gang om ugen i sommerperioden, hver anden uge i marts og oktober og en gang månedligt i de fire vintermåneder.

Sigtdybden på Dybet afspejler, at den fotiske zone (d.v.s. den zone, hvor lysmængden er tilstrækkelig til plantevækst) typisk kun strækker sig til 4-6 meters dybde på stationen.

Årstidsvariation

Sigtdybden på Dybet har et typisk forløb over året (figur 10.9). Vintersigtdybden ligger typisk på 8-10 m,

Figur 10.8
Fluorescens ned gennem vandsøjlen på st. M3, Dybet, i 1990-1997.



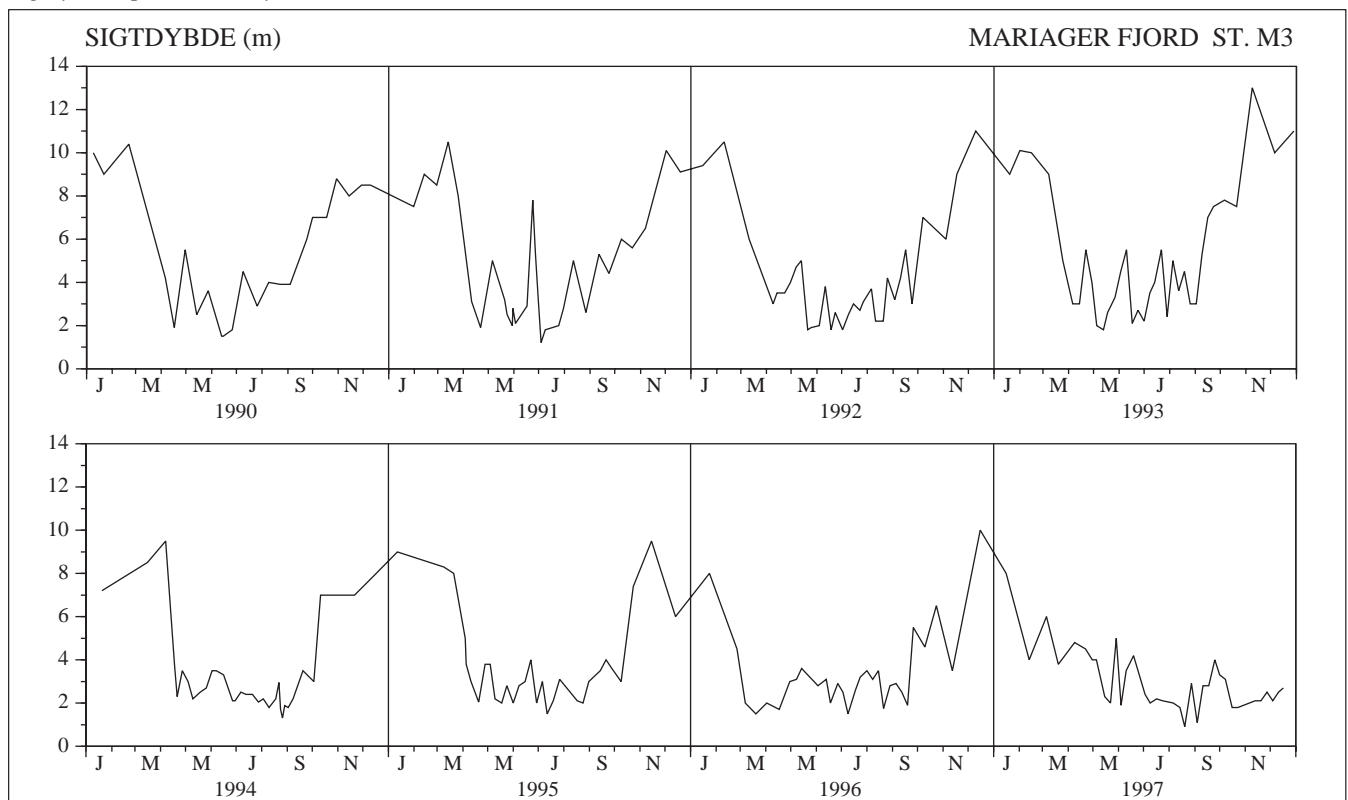
og samtidig med opblomstringen af planteplankton i marts-april falder sigtdybden drastisk. I vækstperioden ligger sigtdybden typisk på 2-4 m og med aftagende lys i efterårsmånederne aftager væksten, og sigtdybden stiger igen. Undtaget fra dette forløb er efterårsmånederne i 1997 (se nedenfor).

Udvikling 1979-1997

Der har siden undersøgelsesens start i 1979 været tendens til, at sigtdybden på station M3, Dybet, er blevet større. Ved anvendelse af Kendall tau-b test konstateres statistisk signifikant stigning i både forårsperioden (1/3-30/4; $T=0,489$; $p=0,006$) og sommerperioden (1/5-30/9; $T=0,470$; $p=0,007$) – se figur 10.10 & 10.11.

Stigningen har været specielt stor i forårsperioden. Med enkelte undtagelser steg sigtdybden i sidste halvdel af 1980'erne fra 1-2 m i perioden 1979-85 til sigt-dybder på 4-7 m i perioden 1988-94. Den lave forårs-sigt dybde i 1996, kan forklares ved, at planteplanktonet p.g.a. isdække var koncentreret i den allerøverste del af vandsøjlen. Sommersigt dybden steg ligeledes i sidste halvdel af 1980'erne fra et niveau på omkring 2 m i 1979-82 til et niveau på omkring 3,5 m i 1989-91. Sommersigt dybden har dog i de senere år (1994-1997) været mindre end sigt dybderne i årene op til (figur 10.11).

Figur 10.9
Sigt dybden på st. M3, Dybet, i 1990-1997.



Den signifikante stigning i sigt dybden er sammenfaldende med det signifikante fald i koncentrationen af chlorofyl-a og må ses som et resultat af den reducerede tilførsel af næringssalte, specielt fosfor.

Tilstanden i 1997

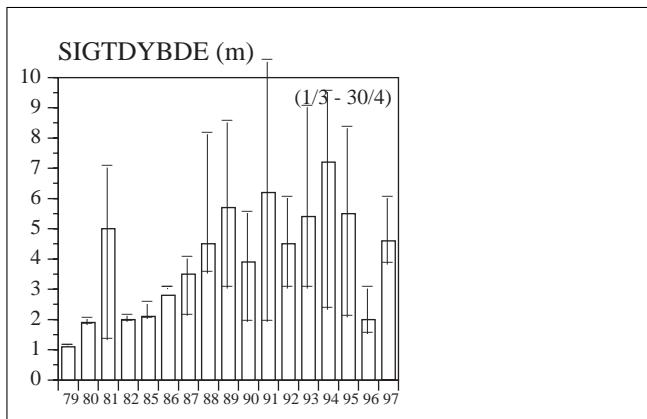
Sigt dybden i 1997 afveg i størstedelen af årets måneder ikke markant fra månedsgennemsnittene for 1989-1996 (figur 10.12). Undtaget herfra var februar måned, hvor sigt dybden lå langt under langtidsgennemsnittet. Der blev ikke samtidigt registreret høje biomasser af planteplankton, hvorfor den lave sigt dybde må skyldes uorganisk materiale eller delvist nedbrudt organisk materiale (figur 10.1). I efterårsmånederne afspejlede sigt dybden det mønster, de øvrige fytoplanktonparametre udviste, med usædvanligt lave sigt dybder i august og september og ekstremt lave sigt dybder i oktober, november og december.

10.2 Primærproduktion

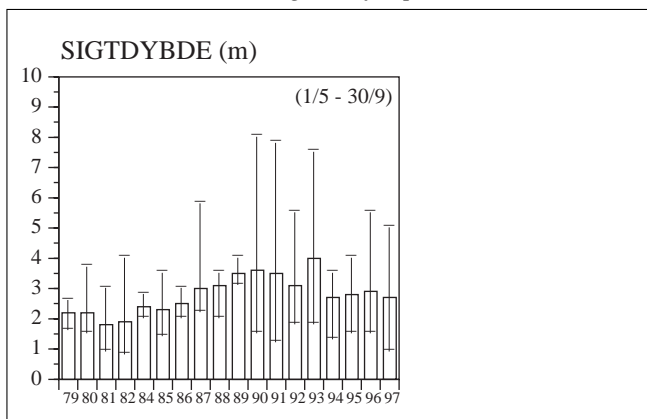
Den primærproduktion, der måles i de frie vandmasser, er et mål for den mængde kulstof, planteplankton optager og indbygger som organisk stof. Primærproduktionen afhænger af den tilgængelige lys- og næringmængde, af koncentrationen af planteplankton og

af planteplanktonorganismernes evne til at foretage fotosyntese. Primærproduktionen giver altså viden om tilgængeligheden af næringsalte og afspejler organismernes fysiologiske tilstand.

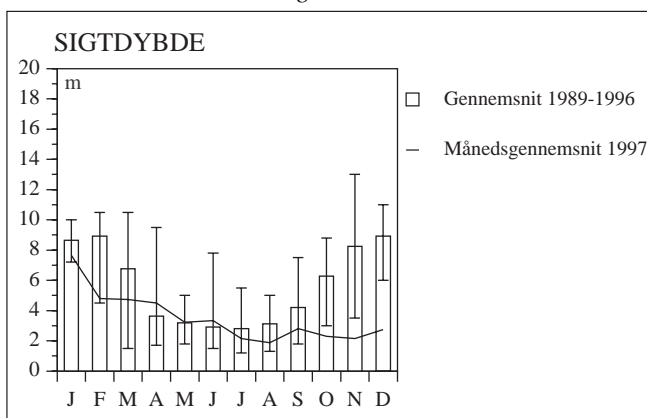
Figur 10.10
Sigtdybden på st. M3, Dybet. Tidsvægtede forårsgennemsnit (1/3-30/4) samt min. og max. for perioden 1979-1997.



Figur 10.11
Sigtdybden på st. M3, Dybet. Tidsvægtede sommergennemsnit (1/5-30/9) samt min. og max. for perioden 1979-1997.



Figur 10.12
Sigtdybden på st. M3, Dybet. Tidsvægtede månedsgennemsnit for 1997 i forhold til tidsvægtede gennemsnit for perioden 1989-1996 samt min. og max.



Primærproduktion måles på vandprøver, der er udtaget i overfladen, i den halve og i den dobbelte sigtdybde. Ved måling korrigeres produktionen for skiftende dagslængde gennem året og lysets dæmpning ned gennem vandet.

På Dybet er primærproduktionen blevet målt i perioderne 1979-1982 og igen fra 1987. I de tidlige år følger metodikken dog ikke standard, og der er meget stor forskel på prøvetagningsfrekvensen gennem tiden. Fra 1990 er primærproduktionen typisk blevet målt i perioden fra begyndelsen af februar til midten af november, i 1990 2 gange pr. måned. Målefrekvensen var i 1991 ca. en gang ugentligt og i perioden april-juni to gange om ugen. Fra 1992 er målinger foretaget en gang om ugen i sommerperioden, hver anden uge i marts og oktober og en gang månedligt i perioden november til februar.

Årstidsvaration

Den samlede dagsproduktion ned gennem vandsøjlen pr. m² overflade samt årsproduktionen, der er beregnet ved at antage, at dagsproduktionen varierer lineært mellem prøvetagningsdagene er vist på figur 10.13 og 10.14. Dagsproduktionen udviser typisk en sæsonvariation med den for Mariager Fjord karakteristiske sene forårsopblomstring i april, efterfulgt af et fald og derefter varierende, høje produktioner sommeren igennem.

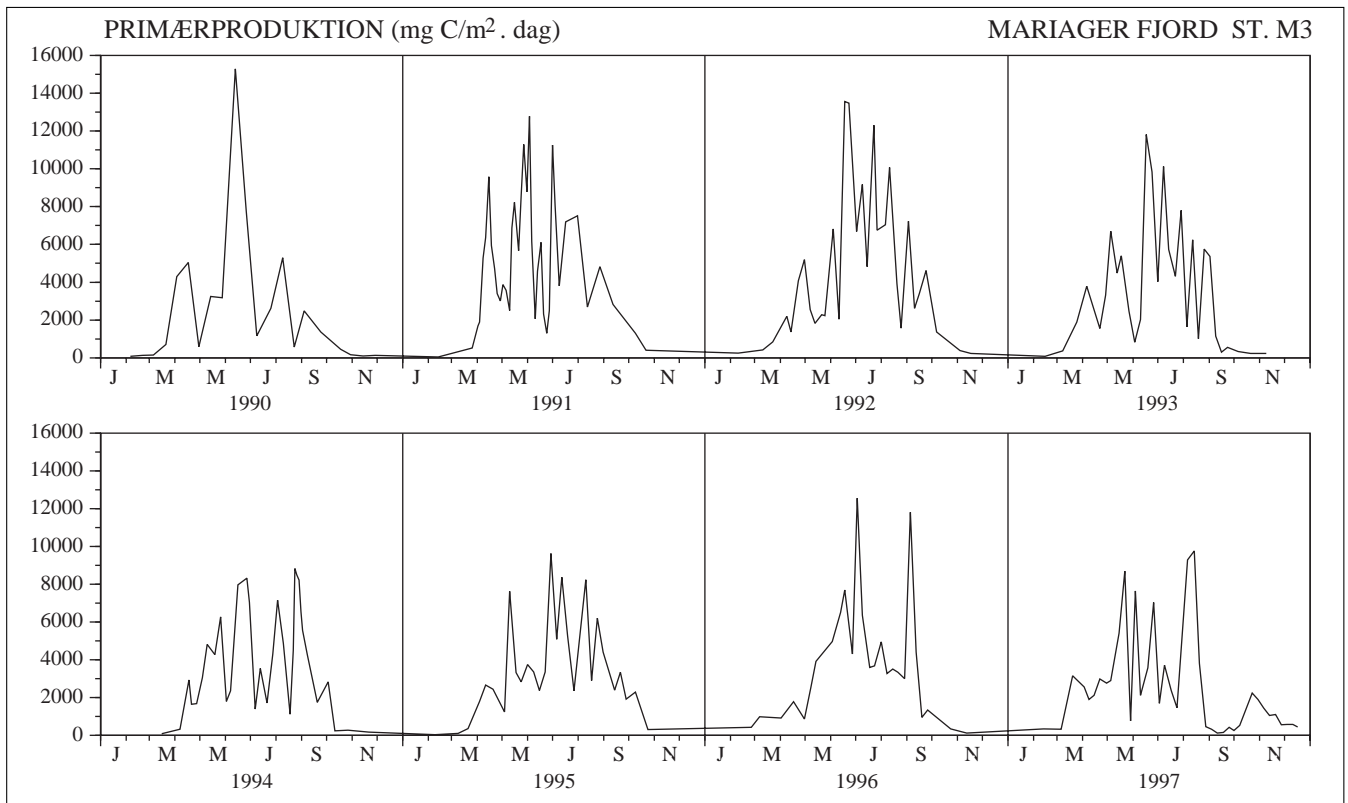
Udvikling 1987-1997

Det er ikke muligt at vise en statistisk signifikant udvikling i primærproduktionen på Dybet. Årsproduktionen har, siden den regelmæssige prøvetagning på mindst én gang hver anden uge startede i 1990, ligget på nogenlunde samme, høje niveau på omkring 800 g kulstof pr. m² pr. år (figur 10.14). De tidlige beregninger af årsproduktionen (1987-1989) er usikre, da der kun er udtaget prøver ca. en gang om måneden. Eksempelvis afspejler den meget høje årsproduktion i 1987 enkelte høje produktioner i juni og juli. Disse er dog ikke så høje som de maksimale værdier, der er målt i årene efter, hvor en tættere prøvetagning har gjort, at enkelte ekstreme værdier ikke får så stor betydning for årsproduktionen.

Mariager Fjord er kendt for at have en ekstrem høj primærproduktion, og årsproduktionen er markant højere end på alle andre målestationer i det nationale overvågningsprogram (DMU, 1994). Som eksempler kan nævnes, at årsproduktionen på station M3, Dybet (gennemsnit over perioden 1988-1996) er godt 5 gange højere end den tilsvarende produktion i Kattegat

Figur 10.13

Den samlede primærproduktion (mg C pr. m² pr. dag) på st. M3, Dybet, i 1990-1997.



(Ålborg Bugt), lidt nord for Mariager Fjords udløb og 1,5-3 gange større end i Skive Fjord før spildevandsrensning blev påbegyndt i oplandet til Skive Fjord.

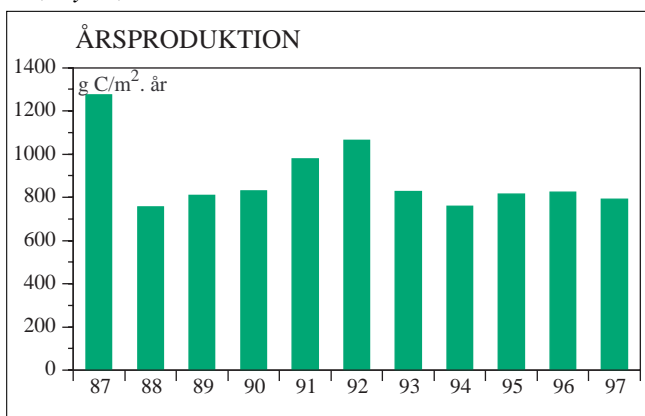
Tilstanden i 1997

Sammenligning af de tidsvægtede månedsgennemsnit for 1997 med de samlede månedsgennemsnit for perioden 1990-1996 viser, at produktionen pr. m² i de fleste måneder lå på niveau med langtidsgennemsnittet (figur 10.15). Undtaget var produktionen i marts 1997, der var markant højere. Produktionen i august 1997 lå

som månedsgennemsnit kun lidt over normalen, inden for spredningen af de tidligere års månedsgennemsnit. Sammenlignes produktionen med de høje planteplanktonbiomasser, der blev registreret i denne måned (se figur 10.1 og 10.3), er dette umiddelbart overraskende. Men gennemsnittet afspejler, at mens produktionen de første tre uger af august var ekstremt høj for måneden, var produktionen d. 28/8, efter iltsvindet, meget lav (se figur 10.13). Følgeeffekterne af iltsvindet fortsatte i september, hvor primærproduktionen var lavere end langtidsgennemsnittet, afspejlende den ekstremt lave planteplanktonbiomasse, som fulgte efter iltsvindet. Produktionen fra november og året ud var usædvanligt høj, i overensstemmelse med det højere niveau af næringssalte og den usædvanligt store biomasse af planteplankton (se afsnit 10.1.1).

Figur 10.14

Den samlede primærproduktion (g C pr. m² pr. år) på st. M3, Dybet, i 1987-1997.



10.3 Planktonsammensætning

Årstidsvariation

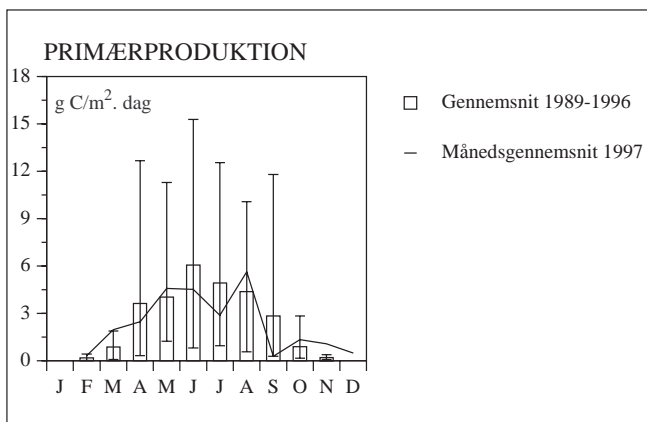
Det generelle billede af planteplanktonsamfundet har, siden overvågningen af planteplankton startede i 1980, været, at kiselalger dominerer biomassen af planteplankton i størstedelen af året. Siden 1991 er lavet en detaljeret opgørelse af planteplanktonsamfundet. I

figur 10.16 og 10.17 ses kiselalgenes andel af den totale biomasse i årene 1991-1997. Det er ofte de samme arter, der dominerer biomassen år efter år på samme tid af året (se figur 10.18, 10.19 og bilag 10.1).

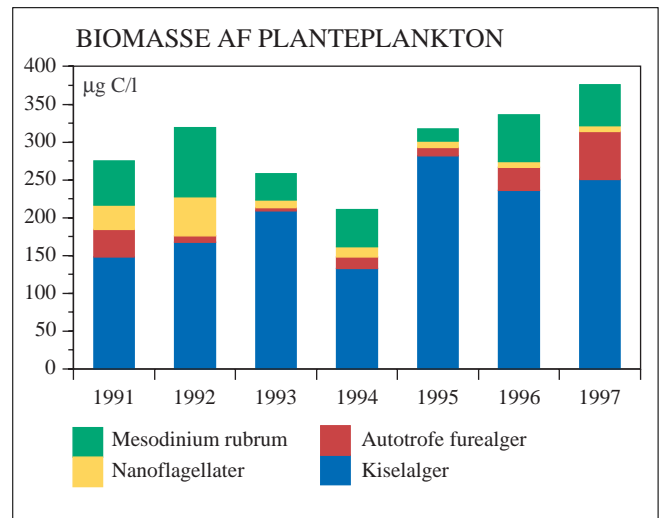
Årstidsvariationen er typisk, at den autotrofe ciliat *Mesodinium rubrum* dominerer biomassen i januar, februar og marts (sammenlign figur 10.18 og 10.17). I april sker en voldsom opblomstring af planteplankton,

og biomassen er nu totalt domineret af den kædedannende kiselalge *Skeletonema costatum*. Denne art dominerer herefter nærmest totalt biomassen af planteplankton fra april til september (se figur 10.17 og 10.19). Enkelte andre kiselalger som *Chaetoceros sociali*, *Ditylum brightwellii* og *Rhizosolenia fragilisima* og forskellige centriske kiselalgearter med diameter under 10 µm (bilag 10.1) optræder som subdo-

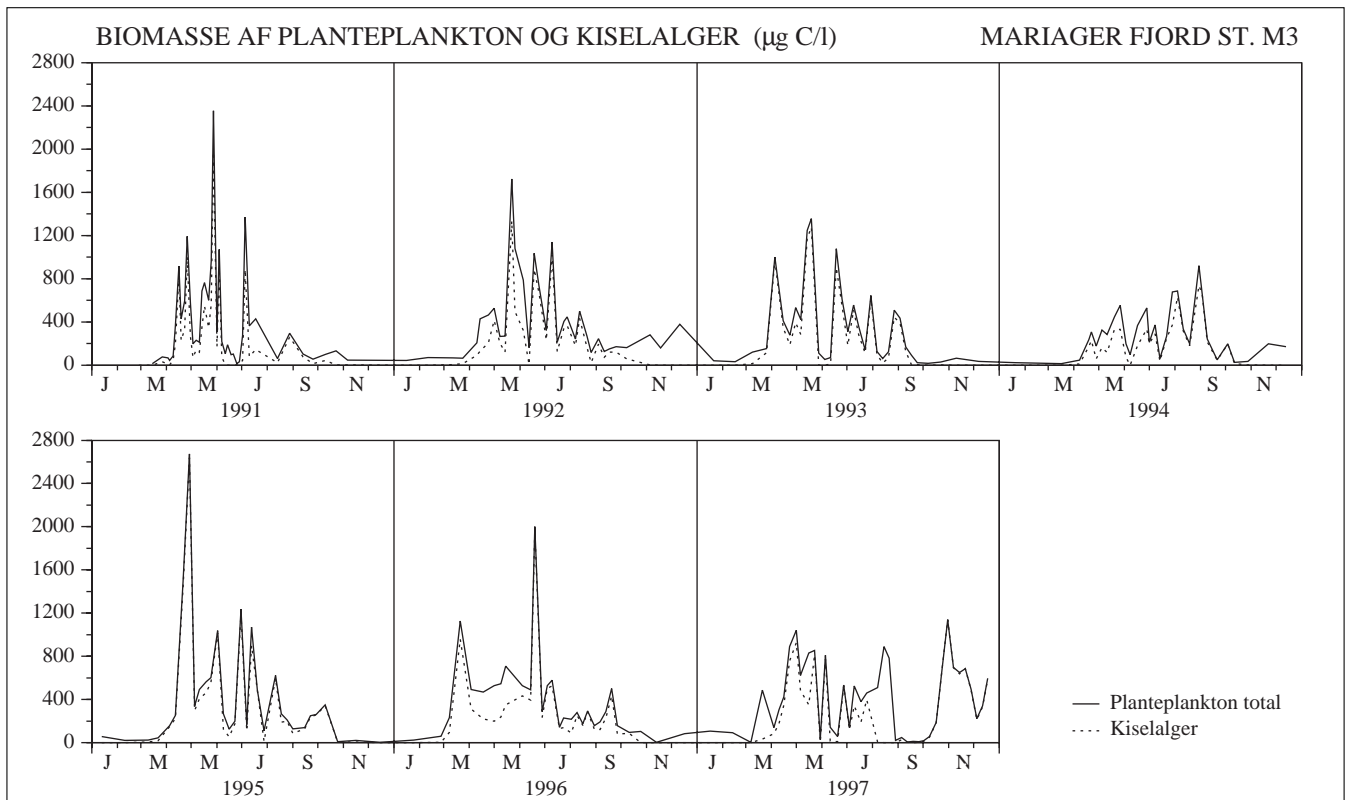
Figur 10.15
Primærproduktion (mg C pr. m² pr. dag) på st. M3, Dybet. Tidsvægtede månedsgennemsnit for 1997 i forhold til tidsvægtede gennemsnit for perioden 1989-1996 samt min. og max.



Figur 10.16
Den samlede biomasse (årgennemsnit) af planteplankton på st. M3, Dybet, fordelt på grupper i 1991-1997.



Figur 10.17
Den samlede biomasse af planteplankton og biomassen af kiselalger på st. M3, Dybet, i 1991-1997.



minerende, specielt i perioden juni-august i flere af de år, der er foregået registrering af planteplankton. Enkelte furealgearter, *Katodinium rotundatum* og *Heterocapsa triquetra* (bilag 10.1) dominerer biomassen i juni-juli måned i flere af årene.

Den nærmest totale dominans blandt kiselalgerne af *Skeletonema costatum* i lange perioder fra april til september er karakteristisk for Mariager Fjord og ses ikke i samme grad i andre farvande. Forholdene i Mariager Fjord er således specielt favorable for *S. costatum*, hvilket kan skyldes, at *S. costatum* dels har høj maksimal vækstrate (oversigt i Olrik, 1993) og dels sandsynligvis tilhører den gruppe af planteplanktonarter, der benævnes „R-strategier“ eller forstyrrelsestolerante arter. Disse arter kan tåle hyppig eller konstant turbulent transport gennem en lysgradient og kan foretage hurtig fotosyntese og oplagring af fotosyntetiseret kulhydrat, der kan forbruges, når algerne er ude af den fotiske zone (Olrik, 1993). Dette passer godt til netop forholdene i Mariager Fjord, hvor den øvre vandmasse som regel er opblandet ned til omkring 10 m samtidig med, at den fotiske zone typisk kun strækker sig ned til omkring 4-6 meters dybde. Også det høje græsningstryk p.g.a. de mange muslinger i fjorden kan have indflydelse på denne favorisering af arter, der vokser hurtigt (se afsnit 10.6).

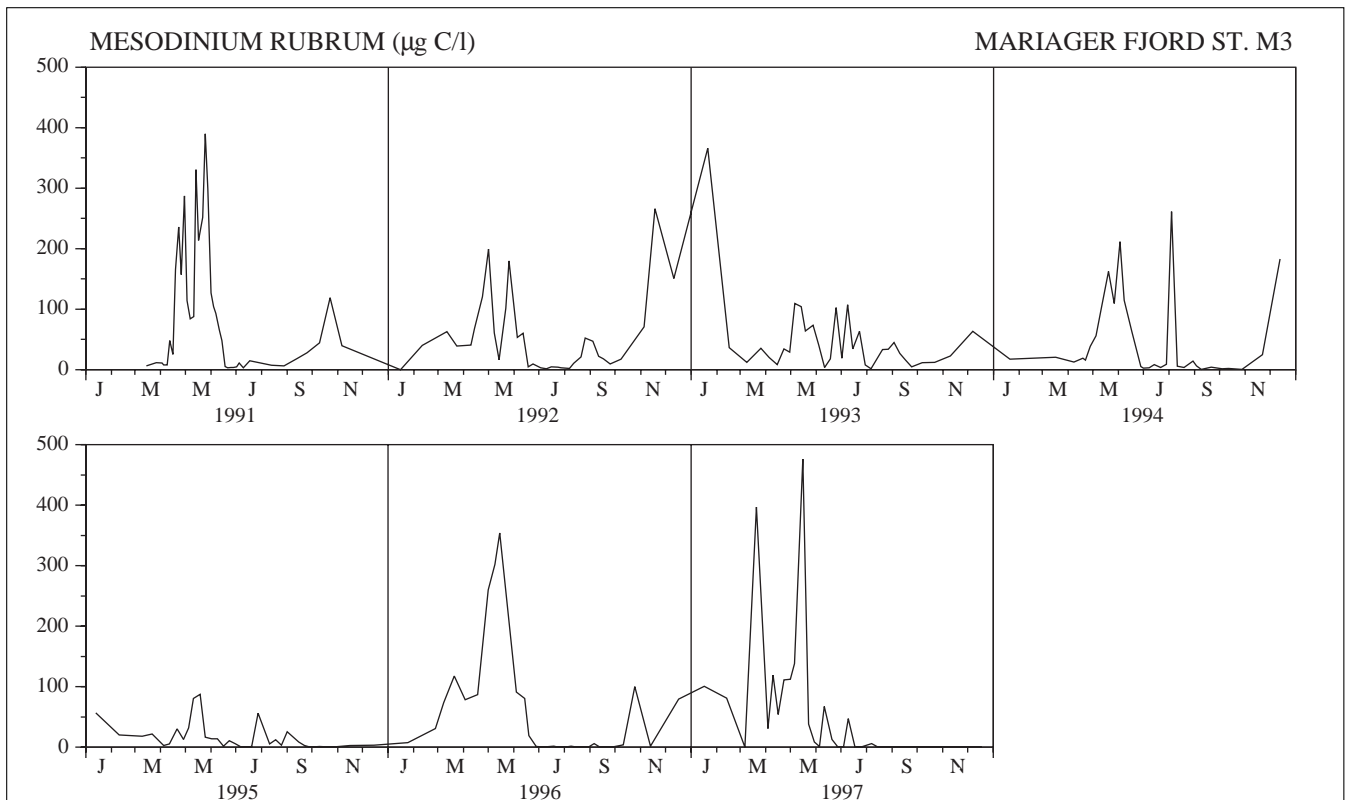
De øvrige kiselalgearter, der ofte er registreret med høje biomasser i Mariager Fjord (*Chaetoceros socialis* og centriske kiselalge-arter med diameter under 10 µm), er kendt for også at kunne optræde i massive opblomstringer i andre meget nærings saltbelastede områder, bl.a. Skive Fjord. De autotrofe furealger udgør en relativ lille del af den totale autotrofe biomasse i Mariager Fjord, hvilket er et typisk fjordfænomen og skyldes de meget høje kiselalgebiomasser. De arter, der dominerer blandt de autotrofe furealger er små hurtigvoksende arter, hvilket også er et karakteristisk fænomen i andre næringsbelastede fjorde som f.eks. Limfjorden (Limfjordskomiteen, 1989; Nordjyllands Amt og Århus Amt, 1995) og i den indre del af Vejle Fjord (Vejle Amt, 1989).

Udvikling 1991-1997

Sammenlignes årene 1991-1996 med hensyn til års-tidsvariationen af de dominerende arter *Skeletonema costatum*, *Chaetoceros socialis* og *Mesodinium rubrum* (figur 10.18, 10.19 og bilag 10.1) ses ingen udvikling i løbet af perioden. Der er store variationer i biomasserne af arterne fra år til år ligesom perioderne for opblomstring af de enkelte arter kan forskydes mellem årene, men overordnet er billedet ens.

Figur 10.18

Biomassen af den autotrofe ciliat *Mesodinium rubrum* på st. M3, Dybet, i 1991-1997.



I 1996 og 1997, hvor forårsopblomstringen optræder tidligere end i de tidligere år, p.g.a. isdække (se afsnit 10.6), ses dog en anderledes arts sammensætning i forårsperioden. I 1996 er den usædvanligt tidlige forårsopblomstring domineret af kiselalgen *Detonula confervaceae*, som tidligere ikke er registreret i fjorden i større biomasser. Biomassen i foråret 1997 udgøres overvejende af *Mesodinium rubrum*. Begge år ses desuden i marts måned en tidlig forekomst af furealgen *Katodinium rotundatum*, som ikke er registreret i tidligere år.

Tilstanden i 1997

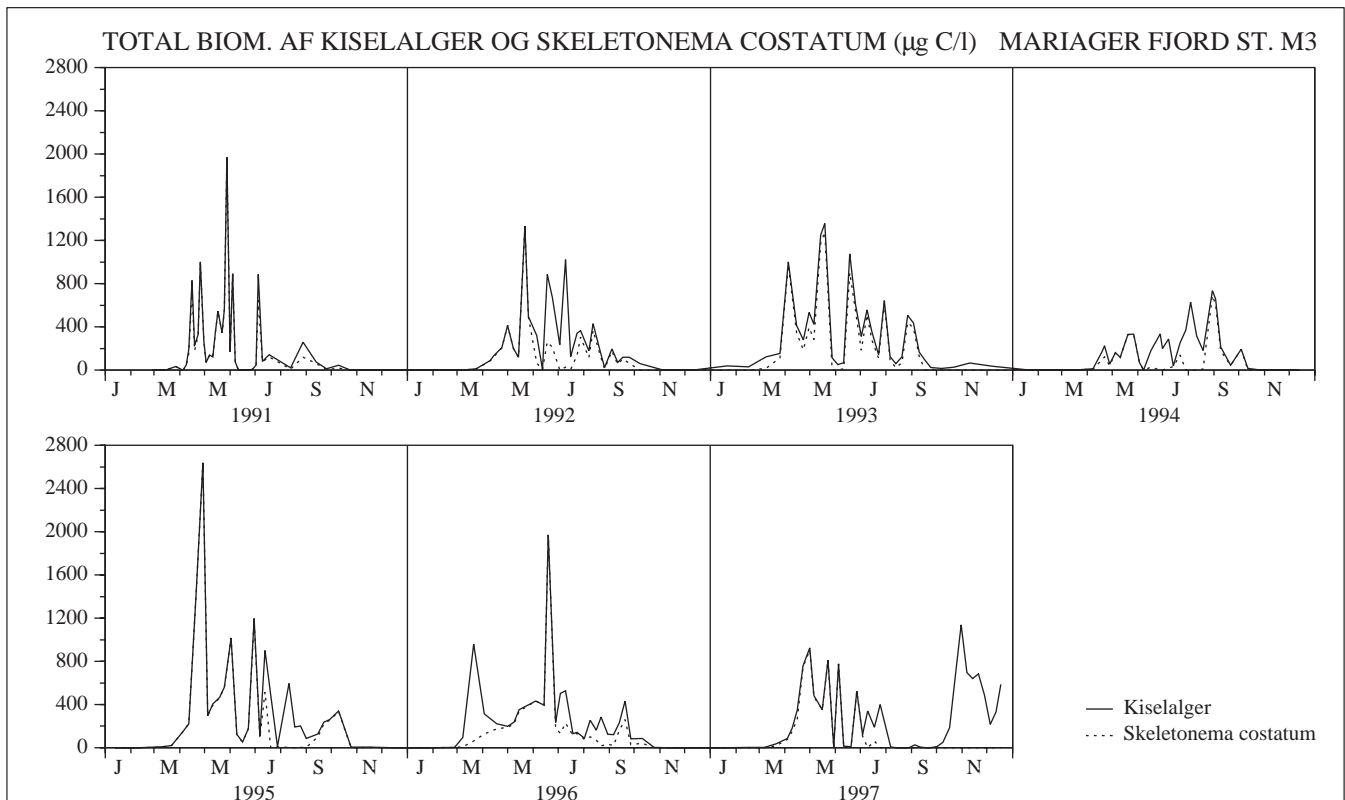
Arts sammensætningen af planteplankton i 1997 var usædvanlig. Op til det kraftige iltsvind i slutningen af august 1997 blev i juli og august registreret biomasser på op til 880 µg C/l (14/8) af furealgen *Prorocentrum minimum*, som normalt ikke registreres på Dybet. Også efter iltsvindet blev fundet en artsmæssig forskydning i forhold til de tidligere år. Dette skyldtes sandsynligvis, at muslingerne døde og græsningstrykket på planteplanktonsamfundet derfor stort set var væk, hvilket medførte mulighed for opblomstring af andre arter end de sædvanlige forstyrrelsestolerante arter (se ovenfor). De sædvanlige små opblomstringer af *Skeletonema costatum* i august-oktober og *Mesodinium rubrum* i oktober blev således ikke set i 1997. Til

gængæld var der en usædvanlig stor biomasse af kiselalgen *Chaetoceros socialis* i slutningen af oktober, denne art forekommer normalt i sommermånederne. En anden stor ændring var, at arterne *Chaetoceros curvisetus* og *Chaetoceros debilis* for første gang blev registreret i nævneværdige biomasser. Arterne optrådte samtidig med *Chaetoceros socialis* i store mængder i oktober-november og blev registreret i store forekomster året ud, hvor de udgjorde størstedelen af biomassen (bilag 10.1).

10.4 Opblomstringer/masseforekomster

Planteplanktonsamfundet i Mariager Fjord er karakteriseret ved meget høje biomasser. I figur 10.1 er indtegnet 200 µg C / l og 400 µg C / l, der traditionelt opfattes som grænser for henholdsvis masseforekomster og kraftige masseforekomster. Som figuren viser, er der registreret sådanne masseforekomster i Mariager Fjord på store dele af indsamlingsdagene i perioden april-september langt de fleste af årene 1991-1997. Procentvis ligger andelen af indsamlede prøver, hvor den registrerede biomasse af planteplankton er på over 200 µg C/l, generelt over 50 % i perioden 1990-1996 (Nordjyllands Amt og Århus Amt, 1994, 1996).

Figur 10.19
Biomassen af kiselalgen *Skeletonema costatum* og kiselalger totalt på st. M3, Dybet, i 1991-1997.



Hvis planteplanktonbiomassen udtrykkes som cellernes indhold af fotosyntesepigmentet chlorofyl-a er andelen af indsamlingsdagene i perioden 1990-1997 med masseforekomster ligeledes meget stor. Traditionelt opfattes chlorofyl-a indhold på henholdsvis 8 µg chlorofyl-a pr. liter og 16 µg chlorofyl-a pr. liter som grænser for henholdsvis masseforekomster og kraftige masseforekomster. I figur 10.4 er disse grænser indtegnet. Andelen af chlorofyl-a biomasser på eller over 8 µg chlorofyl-a pr. liter har i perioden ligget på mindst 45 % af årenes prøvetagningsdage, mens biomasser på 16 µg chlorofyl-a eller derover er registreret i mindst 19 % af prøverne. Størst andel af masseforekomster ses i 1994, hvor biomasser på 16 µg chlorofyl-a eller derover er registreret i 47 % af prøverne.

Planteplanktonsamfundet i Mariager Fjord består typisk af meget få arter, og det er generelt de samme arter, der dominerer biomassen periodevist år efter år (afsnit 10.3). Biomassen af kiselalgen *Skeletonema costatum* når således ofte værdier, der karakteriseres som masseforekomster (d.v.s. biomasser større end 200 µg C pr. liter, figur 10.19). I perioden er ofte registreret masseforekomster af den autotrofe ciliat *Mesodinium rubrum*, ligesom kiselalgearten *Chaetoceros socialis* de fleste år er registreret som masseforekomst i maj-juni måned (figur 10.18 og bilag 10.1). I sommerperioden ses desuden ofte opblomstringer af små centriske kiselalger (bilag 10.1).

10.5 Giftige og potentielt giftige arter

En del planteplanktonslægter kan producere giftstoffer. Giftstofferne kan dels frigives i vandet og derved påvirke andre organismegrupper i vandets fødekæde eller større dyr, der drikker af vandet, og kan dels, gennem opkoncentrering i f.eks. muslinger, forgifte mennesker ved indtagelse. Af tabel 10.1 fremgår, hvilke giftige slægter og arter, der er registreret i Mariager Fjord siden overvågningen af planteplankton startede i 1987.

Arterne er generelt blevet registreret i lavt antal i perioden. Det har ikke været nødvendigt at lukke muslingebbruget i Mariager Fjord, ligesom der ikke har været rapporteret om tilfælde af forgiftninger i forbindelse med forekomster af giftige arter i perioden (Nordjyllands Amt og Århus Amt, 1990a, 1991, 1992, 1993, 1994, 1995, 1996, 1997).

I august 1997 blev registreret en opblomstring af furealgen *Prorocentrum minimum* i Mariager Fjord. Vandet i store dele af fjorden var rødbrunt og i blandingsprøven fra station M3, Dybet, blev registreret forekomster på op til 4 millioner celler pr. liter (14/8). I enkeltprøver fra andre dele af fjorden blev tætheder på op til 200 millioner celler pr. liter observeret. En sådan opblomstring af potentielt giftige planteplanktonarter er højst usædvanlig for Mariager Fjord og koncentrationerne er langt de største, der er registreret i fjorden siden overvågningen af planteplankton startede. Test for giftighed overfor mus viste dog, at *Prorocentrum minimum* ikke producerede gift.

GRUPPE / ART	GIFTSTOF	GIFTVIRKNING
Furealger		
<i>Alexandrium ostenfeldii</i>	PSP	Paralyserende skaldyrsforgiftning
<i>Dinophysis acuminata</i>	DSP	Diarréfremkaldende skaldyrsforgiftning
<i>D. norvegica</i>	DSP	
<i>Gyrodinium aureolum</i>	Hæmolyserende lysiner (HA)	Giftig for fisk og bunddyr
<i>Prorocentrum micans</i>	Evt. DSP	
<i>P. minimum</i>	Evt. DSP	
Kiselalger		
<i>Pseudonitzschia seriata</i> -gruppe	ASP	Hukommelsestab, evt. coma
<i>P. delicatissima</i> -gruppe	ASP	
Blågrønalger		
<i>Anabaena</i> spp.	Nerve- og levergiftstoffer	Lammelser, leverskader m.m.

Tabel 10.1
Giftige og potentielt giftige arter registreret i Mariager Fjord siden 1987. Giftvirkning ifg. Bjergskov et al., 1990 & Larsen et al., 1993.

10.6 Regulerende faktorer for biomasse og produktion af planteplankton

Forskellige faktorer regulerer og begrænser biomassen og produktionen af planteplankton i Mariager Fjord over året. Som eksempel på et sådant årsforløb er i figur 10.20 afbildet udviklingen af chlorofyl-a biomassen i 1993. Det, der anses for de(n) mest betydende begrænsende faktor(er) er anført ud for de enkelte perioder.

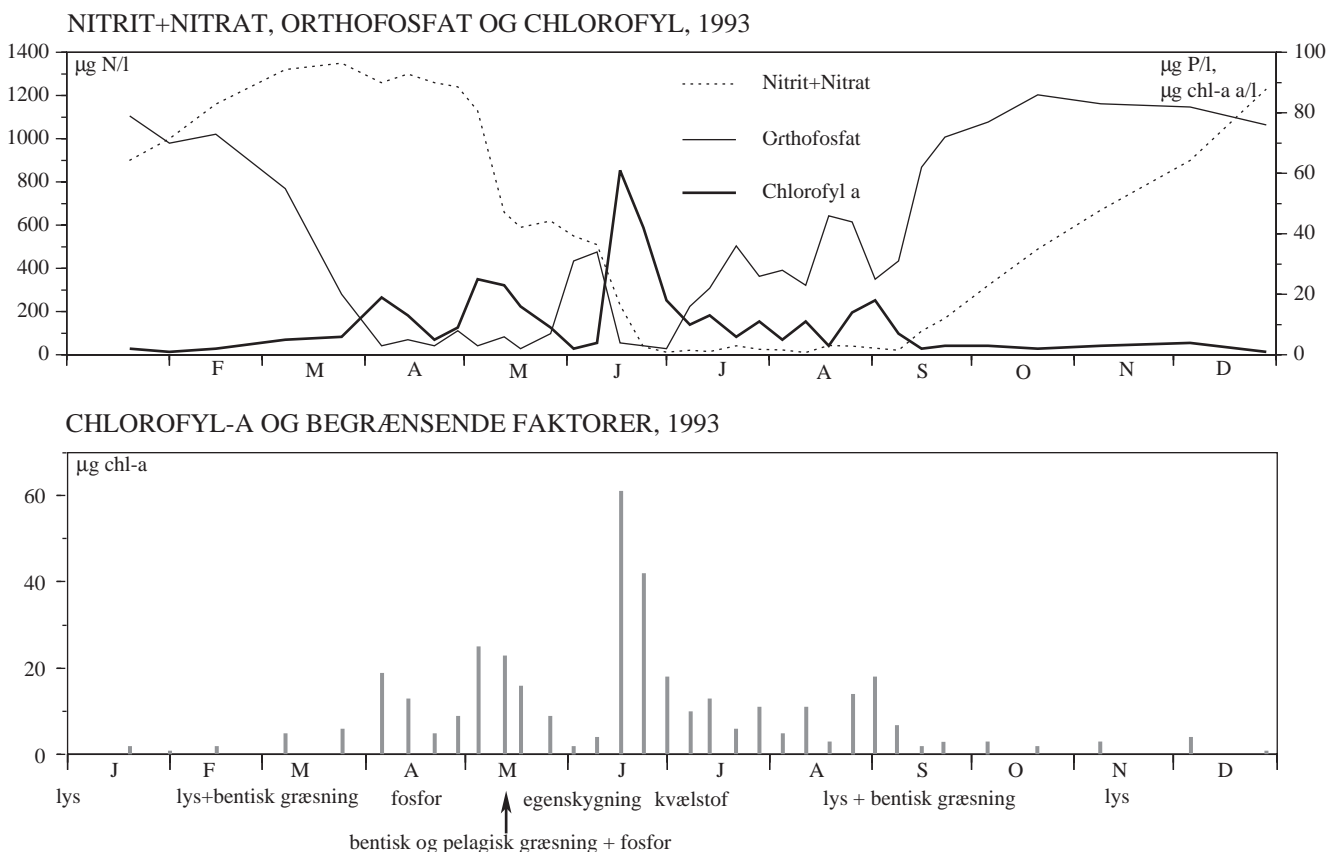
Mønsteret fra figur 10.20 går generelt igen i de fleste indsamlingsår i Mariager Fjord:

I Mariager Fjord er produktionen af planteplankton lysbegrænset **indtil april**, kombineret med muslinge-filtration/græsning (se afsnit 10.6.3). At forårsopblomstringen sker så sent, er karakteristisk for Mariager Fjord. I Kattegat og andre indre farvande sker opblomstringen oftest i februar eller tidligt i marts måned. Først i **april** overstiger produktionen af planteplankton p.g.a. stigende dagslængde, muslingernes græsningstryk. Næsten al uorganisk fosfor bliver hurtigt optaget, og i slutningen af april er fosfor så begrænsende, at væksthastigheden falder, hvorpå biomassen af planteplankton falder p.g.a. muslingernes græsning.

I **maj** stiger temperaturen og dermed muslingernes egenrespiration og udskillelse af næringssalte. Samtidig øges den bakterielle nedbrydning af fækalier og døde muslinger, hvorved en frigivelse af fosfor finder sted. Produktion og biomasse af planteplankton stiger efterhånden og stadig optages al den frigivne fosfor, hvorfor fosforniveauet er lavt (se afsnit 10.3). Det må antages, at fosfor her er relativt begrænsende for væksten. Samtidig ses et fald i nitratmængden, hvilket skyldes, at den bakterielle denitrifikation også stiger på dette tidspunkt, som følge af den stigende temperatur. Denne denitrifikation foregår sandsynligvis hovedsagelig i selve muslingebankerne: Omkring muslingerne ligger store mængder letomsætteligt, organisk materiale i form af fækalier, og samtidig er strukturen i en muslingebanke meget porøs, med gode muligheder for mikroområder med lavt iltindhold. Her er hele tiden tilgang af nyt vand med mere nitrat, da muslingerne foretrækker steder med en vis vandbevægelse. Samtidig skaber muslingerne selv en vis vandbevægelse i forbindelse med pumpning, når de filtrerer vandet.

I årene fra 1990 er i **juni** observeret en kort periode med stor sigtdybde og lav biomasse af planteplankton. Dette skyldes sandsynligvis stigende fosforbegrænsning. Omkring midsommer er frigivelsen af uorganisk

Figur 10.20 (a og b)
Chlorofyl-a, næringssalte og begrænsende faktorer på st. M3, Dybet, i 1993.



fosfor fra bunden så stor, at produktionen af planteplankton er maksimal og kun begrænses af selvskygning.

Mod slutningen af **juli** når nitrat-koncentrationen et lavt niveau, og produktionen aftager. Det må antages, at ammonium fra muslingerne dækker hovedparten af algerne kvælstofbehov, men at dette alligevel ikke er nok til at opretholde planteplanktonbiomassen. Muslingebestanden udskiller ikke nødvendigvis hele den optagne mængde kvælstof umiddelbart efter indtagelsen. Der ophobes sandsynligvis en del kvælstof i muslingerne om sommeren, da det må antages, at muslingebiomassen stiger efter setling af nye individer og falder om vinteren. En del ammonium fra muslingerne kan desuden blive oxideret bakterielt til nitrat og derefter blive reduceret til frit kvælstof og forsvinde fra kredsløbet.

I **august og september** varierer produktionen af planteplankton og dermed biomassen med tilgangen af uorganisk kvælstof udefra, enten fra land eller ved opblanding af bundvand. Det må antages, at kvælstof her er relativt begrænsende.

I begyndelsen af **oktober** falder produktionen efterhånden som dagslængden aftager. Blåmuslingernes græsning overstiger produktionen af planteplankton, og biomassen aftager hurtigt.

I vinterhalvåret er der kun ubetydelige mængder planteplankton i Mariager Fjord. Kun en bestand af den autotrofe ciliat *Mesodinium rubrum* er i stand til, ved aktiv svømning, delvist at holde sig tæt ved overfladen og derved til dels undgå muslingernes græsning. I **december og januar** er lyset antagelig den primære begrænsende faktor. Der er dog i december flere gange observeret relativt høje chlorofyl-a værdier, op til 9 µg chlorofyl-a pr. liter, i den øverste meter af vandsøjlen. De høje værdier er kun registreret efter en periode med stille vejr og skyldes hver gang en monokultur af ciliaten *Mesodinium rubrum*. Ciliaten er p.g.a. den ringe vandbevægelse i stand til at holde sig nær overfladen, hvor lyset er tilstrækkeligt til en positiv nettoproduktion. Opblomstringerne af *M. rubrum* har dog ikke dæmpet lysets nedtrængen gennem vandsøjlen betydeligt, da sigtddybden samtidig har været omkring 10 m. Dette skyldes nok, at *M. rubrum* celler er forholdsvis store og samtidig har et højt indhold af chlorofyl-a pr. volumenenhed.

10.6.1 Næringssalttilførsel

De meget høje planteplanktonbiomasser i Mariager Fjord afspejler den høje tilførsel af næringssalte fra land kombineret med vandets lange opholdstid i fjorden (se kapitel 9 og 14).

Det generelle billede af næringstilstanden for planteplankton i fjorden er, at det målte næringssaltindhold sjældent, og kun i korte perioder, når ned på det niveau (30 µg Si/l, 14 µg N/l og 2 µg P/l), som normalt anses for begrænsende for planktonvæksten.

Sammenholdes analyser af vandets næringssaltindhold med chlorofyl-a, kulstofbiomasse og planteplanktonorganismernes næringssaltbehov fremgår det, at der sandsynligvis er tale om en relativ næringssaltbegrænsning i for- og eftersommeren i Mariager Fjord (Nordjyllands Amt, 1994). Produktionen er her ikke totalt stoppet men hæmmet af lav fosformængde i forsommeren og lav kvælstofmængde i eftersommeren (figur 10.20).

De højeste værdier af kulstof- og chlorofyl-a biomasse registreres i Mariager Fjord omkring midsommer, hvor der er høje koncentrationer af såvel uorganisk fosfor som kvælstof, og lyset derfor er den eneste begrænsende faktor. Figur 10.20 viser sammenhæng mellem næringssalte og chlorofyl-a biomasse på st. M3, Dybet, i 1993 og er et eksempel på en typisk årstidsvariation.

10.6.2 Dyreplankton og græsning

Samtidig med undersøgelserne af planteplankton ved Dybet er også biomassen af dyreplankton blevet opgjort. Dyreplankton i undersøgelsen omfatter bakterier, små flagellater, visse furealger, ciliater og mesozooplanktonorganismer (dyreplanktongrupper større end 20 µm). Dyreplanktonorganismer behøver tilførsel af organisk stof for at leve; de er heterotrofe. Dyreplankton vil fortrinsvis leve af planteplankton – de siges at græsse.

I 1991 og siden 1993 er der blevet lavet detaljerede opgørelser af de forskellige heterotrofe planktongrupper. Biomassen af heterotrofe planktonorganismer på station M3, Dybet, fremgår af figur 10.21. Biomassen er generelt lav og meget beskeden i forhold til den autotrofe biomasse (sammenlign figur 10.1 og 10.21). I 1992 er kun opgjort en del af dyreplanktongrupperne (se figur 10.22), og året er derfor ikke taget med i figur 10.21.

Årstidsvariationen i den heterotrofe biomasse følger et generelt mønster. Med stigende vandtemperatur stiger biomassen i forårsperioden, hvorefter biomassen er rimeligt konstant sommeren over for igen at falde i august-september (figur 10.21).

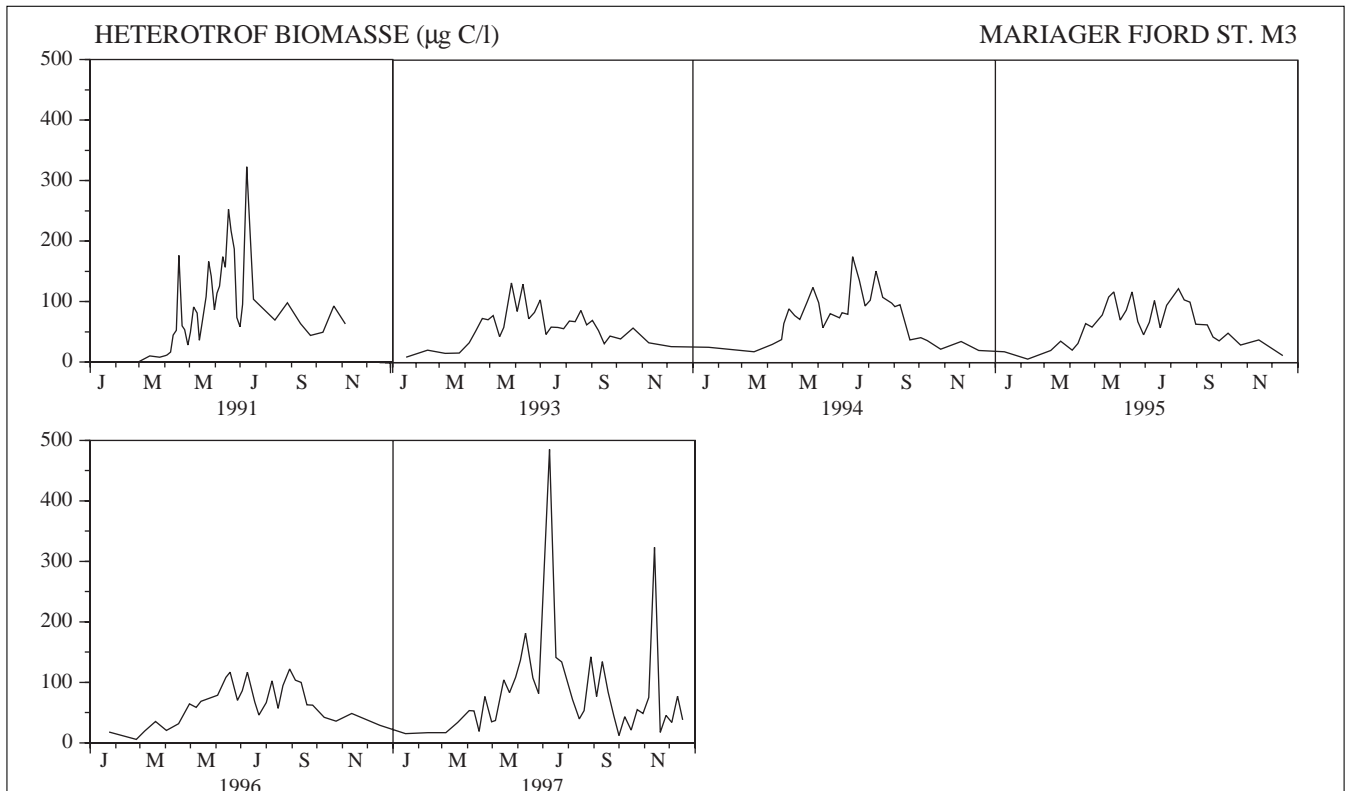
Af figur 10.22 fremgår hvordan, biomassen af de heterotrofe grupper har fordelt sig i perioden. De pelagiske bakterier udgør generelt en relativ stor andel (omkring 40 %) af den samlede heterotrofe biomasse, hvilket er et typisk træk for belastede, kystnære fjordområder (Williams, 1984). Den øvrige heterotrofe biomasse udgøres af mesozooplankton, der primært er larver af bunddyr, især blåmuslinger, heterotrofe ciliater, heterotrofe furealger (fortrinsvis *Gyrodinium spirale*, *Micracanthodinium claytonii* og *Protoperdinium bipes*) og små, heterotrofe flagellater (nanoflagellater).

De heterotrofe planktonorganismers potentielle græsning er meget lille, og gennemsnitligt græsses kun omkring 15 % af primærproduktionen væk i Mariager Fjord (Nordjyllands Amt og Århus Amt, 1994, 1995, 1996). Der er dog tydelig årstidsvariation i forholdet mellem den pelagiske græsning og primærproduktionen, hvor græsningen betyder langt mest i sommer- og efterårsperioderne (figur 10.23). Selv i disse perioder svarer græsningen dog kun enkelte dage til mere end

halvdelen af den producerede kulstofmængde. Den lave procentdel skyldes bl.a. sammensætningen af planteplankton i fjorden (se afsnit 10.3). Store dele af året består biomassen af planteplankton stort set udelukkende af kiselalger, som primært græsses af vandlopper (copepoder) og større, heterotrofe furealger. Bestanden af begge disse dyreplanktongrupper er meget lav i fjorden, og langt den største del af de heterotrofe grupperes kulstofoptag står de små grupper (bakterier, små flagellater og ciliater) for (Nordjyllands Amt og Århus Amt, 1996, 1997).

Det fænomen, at store mængder tilgængelig føde (høje biomasser af planteplankton) ikke umiddelbart afspejles i tilsvarende høje koncentrationer af græssere (især vandlopper) er blevet karakteriseret som „fjordparadokset“ (Nielsen, 1990). Paradokset er tydeligt i Mariager Fjord i hele perioden 1991-1996 og skyldes bl.a., at vandloppernes antal holdes nede via predation på vandloppernes æg og nauplier, først og fremmest af blåmuslinger, men også af fisk og vandmænd. En vigtig bestanddel af det pelagiske samfund i Mariager Fjord er små vandmænd, *Aurelia aurita*, (diameter 5-10 cm), der år efter år findes i betydelige bestande fra juni måned. Vandmændene er registreret i koncentrationer på op til 10 individer pr. m³. Undersøgelser i Kertinge Nor har vist, at små vandmænd har filtrati-

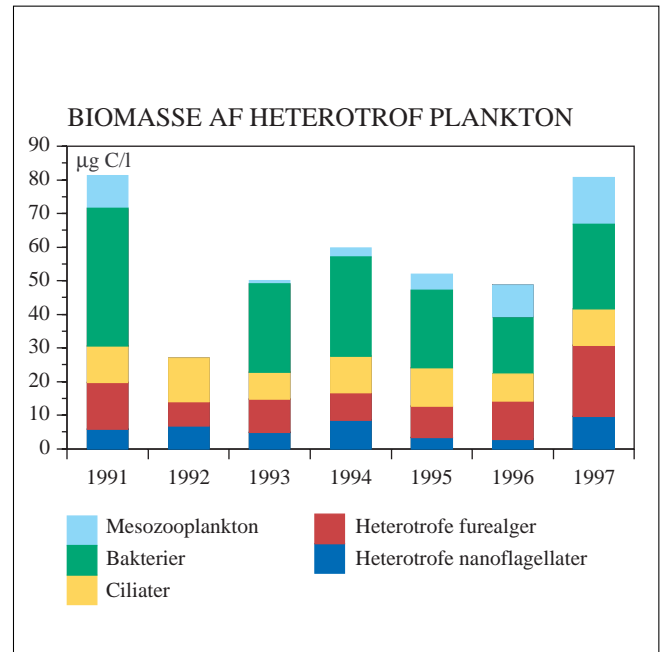
Figur 10.21
Total heterotrof biomasse på st. M3, Dybet, i 1991 og 1993-1997.



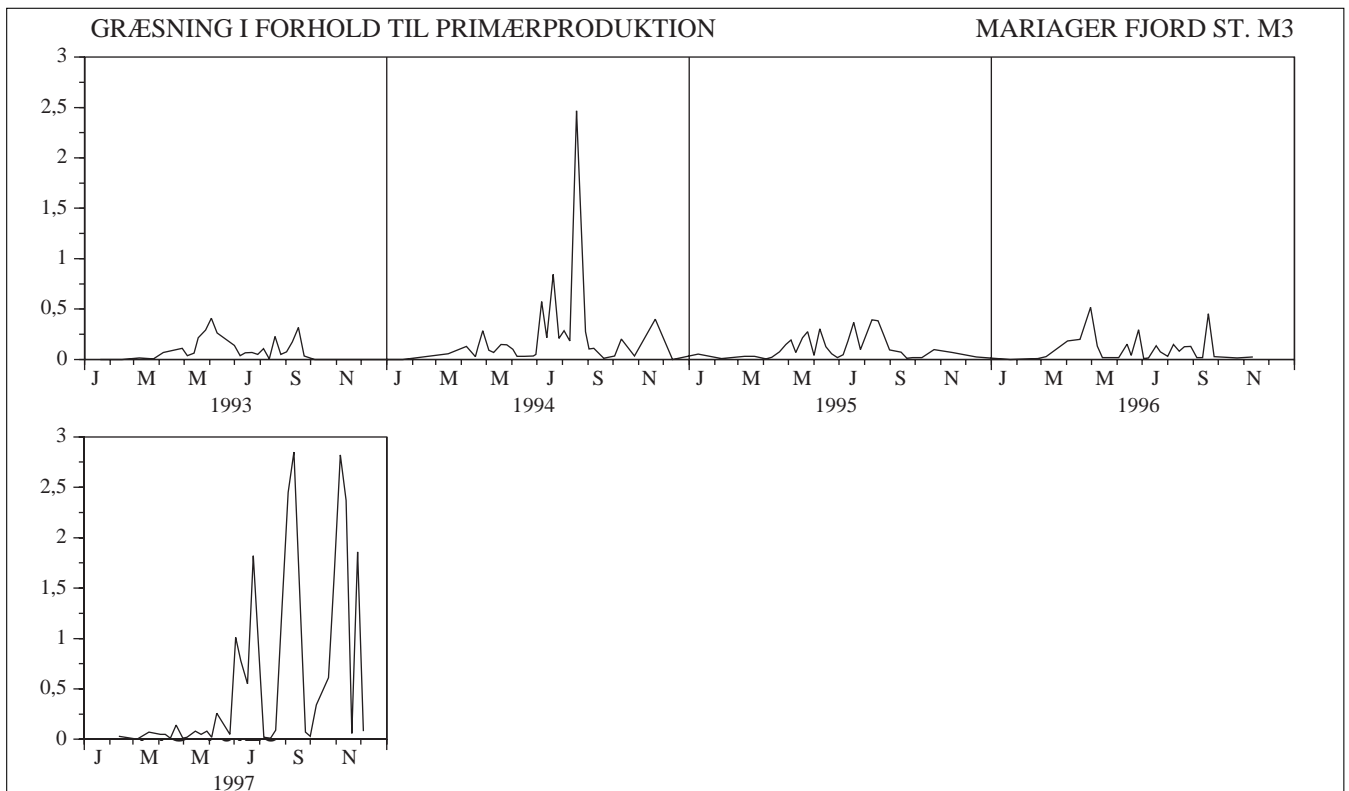
onsrater på bl. a. vandlopper på ca. 30 l pr. dag (Olesen, 1994), hvilket med de koncentrationer, der registreres i Mariager Fjord, betyder en predationsrate på 0,3 pr. dag. De dele af dyreplankton i Mariager Fjord, der lever alle livsstadier i de frie vandmasser, har typisk vækstrater på under 0,1 pr. dag. En tilsvarende predation fra vandmænd ville altså være mere end tilstrækkeligt til at holde dyreplankton nede (Nordjyllands Amt og Århus Amt, 1997). Det kræver dog detaljerede studier i Mariager Fjord, at fastslå, om dette er tilfældet. De dårlige iltforhold på dybder over 15 m i Mariager Fjord (se kapitel 8) med medfølgende iltvind og udvikling af svovlbriente, kan desuden medføre øget dødelighed af copepod-æg og -nauplier, hvis disse ender i bundvandet (Fenchel *et al.*, 1995).

De små vandmænd græsser tilsyneladende også på dele af det planteplanktoniske samfund. Den autotrofe ciliat *Mesodinium rubrum*, der i perioder dominerer den autotrofe planktonbiomasse i fjorden, er således tilsyneladende styret af vandmændene. Det er tydeligt, at efterhånden som vandmændene forsvinder i løbet af november og græsningstrykket på *Mesodinium rubrum* derfor falder, kan der i perioder med stille vejr være store koncentrationer af ciliaten nær overfladen (se afsnit 10.3.1).

Figur 10.22
Den samlede heterotrofe biomasse fordelt på grupper. St. M3, Dybet, i 1991-1997.



Figur 10.23
Forholdet mellem den pelagiske græsning og primærproduktionen på st. M3, Dybet, i 1993-1997.



Vandmændene er ofte kraftigt inficeret med goplelus (*Hyperia galba*). Goplelus er fritsvømmende og udgør antagelig et fødeemne for fiskene i fjorden. Der er således tale om et alternativ til den traditionelle fødekæde.

I august 1994 undersøgte Fenchel *et al.* (1995) planktonsamfundet i Mariager Fjord. Her blev hele vandsøjlen undersøgt, og Fenchel *et al.* (1995) konstaterede, at betydningen af de forskellige heterotrofe planktongrupper i forhold til det autotrofe plankton var langt større i de iltfrie vandlag end i de øverste, omrørte 10 m af vandsøjlen. Desuden var sammensætningen af de heterotrofe organismer i de dybe vandlag anderledes end i overfladelaget, og en del ukendte arter blev fundet (Fenchel *et al.*, 1995).

10.6.3 Blåmuslinger og græsning

En stor del af bunden i den indre del af Mariager Fjord har i undersøgelsesperioden været uden dyreliv, da dybden hurtigt tiltager til over 10 m, hvor der er iltfrit om sommeren (se kapitel 8). Til gengæld har de stejle skråninger fra 2 til 10 meters dybde været tæt besat med blåmuslinger frem til iltsvindet i august 1997 (se kapitel 12).

Muslingerne græsser på planteplanktonsamfundet. Udfra en bestandsundersøgelse, lavet i 1991, blev det beregnet, at blåmuslingerne potentielt var i stand til at filtrere hele vandvolumen i den indre del af fjorden ca. én gang hver anden time (Århus Amt, 1992b). Beregninger udfra muslingernes tilvækst fra år til år, som generelt er ringe, viste dog, at den faktiske omsætning kun var 20-25 % af den totale primærproduktion i den indre del af fjorden (se kapitel 12). Dette kan hænge sammen med, at muslingerne kan opleve fødebegrænsning i den mængde vand, de filtrerer, fordi den samme vandmasse bliver filtreret adskillige gange. Den første meter vand over muslingebanken er således ved dykkerundersøgelse set at være mere klar end de øvre vandmasser (Århus Amt, 1992b). Det er derfor sandsynligvis sjældent, den potentielle filtrationskapacitet realiseres. Det er dog sandsynligt, at blåmuslingebankerne inden iltsvindet i august 1997 var i stand til at regulere planteplanktonmængden i vinterhalvåret og i perioder i sommerhalvåret, hvor vindskabt omrøring af hele den øvre vandmasse forekommer (se kapitel 5).

I vinter/forår 1996 og 1997 var Mariager Fjord dækket af is. Dette gav anledning til usædvanligt tidlige forårsopblomstringer og store biomasser af planteplankton under isen (afsnit 10.1.1). Dette skyldes sandsynligvis, at isen lægger låg på fjorden, hvorved vandbe-

vægelse nærmest forsvinder og planteplanktonorganismerne får mulighed for at opholde sig i overfladen. Udover, at give organismene mulighed for at holde sig, hvor lyset er kraftigt, betyder den manglende omrøring også, at planteplanktoncellerne ikke kommer i kontakt med muslingernes græsning, hvorfor der bliver gode muligheder for vækst af planteplankton.

10.6.4 Sedimentation

Sedimentationen af planteplankton i Mariager Fjord er beskeden i forhold til primærproduktionens størrelse (Nordjyllands Amt, 1997b). Der er sæsonmæssige variationer i sedimentationen, der kan hænge sammen med variationer i artssammensætningen. De opblomstringer, der skyldes den sædvanligvis dominerende art, kiselalgen *Skeletonema costatum*, giver anledning til betydelig sedimentation ud af den øvre vandmasse. En opblomstring af den kolonidannende kiselalge *Chaetoceros socialis/radians* medfører derimod kun ringe sedimentation, nok fordi kolonidannelsen giver arten lavere densitet (Bienfang, 1981, i Olrik, 1993).

Samlet i perioden var primærproduktionen på omkring 800 g kulstof pr. m², af hvilken kun ca. 14 g organisk kulstof sedimenterede ud af den øvre vandmasse, svarende til ca. 2 %. Tilsvarende fandt Lundsgaard (1995) en meget lav sedimentation i Mariager Fjord i sommerperioden 1994, hvor planteplanktonsamfundet var domineret af kiselalgen *Skeletonema costatum*, og væksten var lysbegrænset. Ifølge Lundsgaard (1995) skyldtes dette, at planteplanktoncellerne havde lav klæbrighed og derfor ikke var tilbøjelige til at danne aggregater og sedimentere. At sedimentationen i Mariager Fjord er så lav i forhold til den meget store primærproduktion kan hænge sammen med, at produktionen for en stor del er baseret på næringssalte, der er gendannet i vandfasen p.g.a. planteplanktonorganismernes lange opholdstid her (afsnit 10.6.1; Olesen, pers. komm.).

Sammenfatning

Udvikling i undersøgelsesperioden

Planktonsamfundet i Mariager Fjord er blevet undersøgt ved overvågning af en række parametre på st. M3, Dybet.

Vandets indhold af chlorofyl-a og sigtddybden er blevet målt siden 1979. Sigtddybden har været stigende og chlorofyl-a koncentrationen faldende i undersøgelsesperioden.

Koncentrationen af chlorofyl-a faldt markant i sidste halvdel af 1980'erne. Med undtagelse af enkelte år faldt sommergennemsnittet fra 19 -39 µg/l i perioden 1979-88 til 9-19 µg/l i perioden 1989-97. Tilsvarende faldt forårsgennemsnittet med enkelte undtagelser fra 18-63 µg/l i perioden 1979-88 til 4-12 µg/l i perioden 1989-97. Faldet i koncentrationen af chlorofyl-a er sammenfaldende med faldet i koncentrationen af fosfor, og må ses som et resultat af, at produktionen af planteplankton i større omfang blev begrænset af tilgængeligheden af fosfor.

Stigningen i sigtddybden var ligeledes særlig markant i sidste halvdel af 1980'erne. Sigtddybden i sommerperioden steg fra et gennemsnit på omkring 2 m i 1979-82 til et gennemsnit på omkring 3,5 m i 1989-91. Sommersigtddybden har dog i de senere år (1994-1997) været svagt faldende. Stigningen i sigtddybden var særligt stor i forårsperioden, fra et gennemsnit på 1-2 m i årene 1979-85 til et gennemsnit på 4-7 m i årene 1988-94. Stigningen i sigtddybden var sammenfaldende med faldet i koncentrationen af chlorofyl-a, og må ligeledes ses som et resultat af den reducerede tilførsel af næringssalte i samme periode.

Produktionen af planteplankton er blevet målt med sammenlignelig metode siden 1987. Årsproduktionen har i perioden 1987-97 ligget på stort set samme niveau omkring 800 g C pr. m² pr. år, hvilket generelt er 2-4 gange højere end i andre danske hav- og fjordområder.

Kvantitative undersøgelser af planktonsamfundet er lavet siden 1991, og der er ikke sket markante ændringer i størrelsen af kulstofbiomassen i perioden. Årgennemsnittet af kulstofbiomassen var størst i 1997 (ca. 380 µg C/l), mens årgennemsnittet i de foregående år var på 210-325 µg C/l.

Årstidsvariation

I vækstsæsonen findes planteplankton stort set kun i de øverste, omrørte 10-15 m af vandsøjlen. Alle planteplanktonparametre udviser en typisk sæsonvariation med en for Mariager Fjord karakteristisk sen forårsopblomstring i april, efterfulgt af et fald og mange toppe, af varierende størrelse, sommeren igennem.

Sammensætning

Planteplanktonsamfundet på station M3, Dybet, er karakteristisk ved at bestå af meget få arter. Biomassen domineres oftest af kiselalger, og specielt *Skeletonema costatum* dominerer nærmest totalt i lange perioder fra april til september. Ind imellem domineres biomassen dog også af forskellige andre kiselalger og små, hurtigtvoksende furealger. I vintermånederne dominerer den autotrofe ciliat *Mesodinium rubrum* biomassen.

Biomassen af planteplankton i Mariager Fjord er meget høj p.g.a. den høje tilførsel af næringssalte fra land og vandets lange opholdstid i fjorden, og de få karakteristiske arter er ofte blevet registreret som masseforekomster med biomasser over 200 µg kulstof pr. l.

Græsning

Indtil iltsvindet i august 1997 dræbte muslingerne i Inderfjorden, var biomassen af planteplankton først og fremmest reguleret af muslingernes græsning. Dyreplanktonets potentielle græsning udgør kun ca. 15 % af primærproduktionen, hvilket skyldes, at der kun er meget små mængder dyreplankton i fjorden. Kun en meget beskedent del af primærproduktionen (ca. 2 %) sedimenterer udaf den øvre vandmasse.

Forholdene i 1997

Indtil august 1997 adskilte forløbet af de forskellige planktonparametre på station M3, Dybet, sig ikke fra de tidligere år, bortset fra en usædvanlig tidlig forårsopblomstring. I august blev registreret en usædvanlig stor opblomstring af furealgen, *Prorocentrum minimum*, med biomasser på op til 890 µg kulstof pr. l. Da iltsvindet i slutningen af august bredte sig i hele vandsøjlen og medførte frigivelse af svovlbrinte, faldt biomassen drastisk til et usædvanligt lavt niveau, mindre end 25 µg kulstof pr. l. Frigivelse af næringssalte og fravær af græssere gav fra 1. oktober anledning til usædvanligt høje biomasser af planteplankton. Efter iltsvindet dominerede kiselalger (*Chaetoceros*-arter), der ikke tidligere er registreret i betydende koncentrationer i fjorden.

