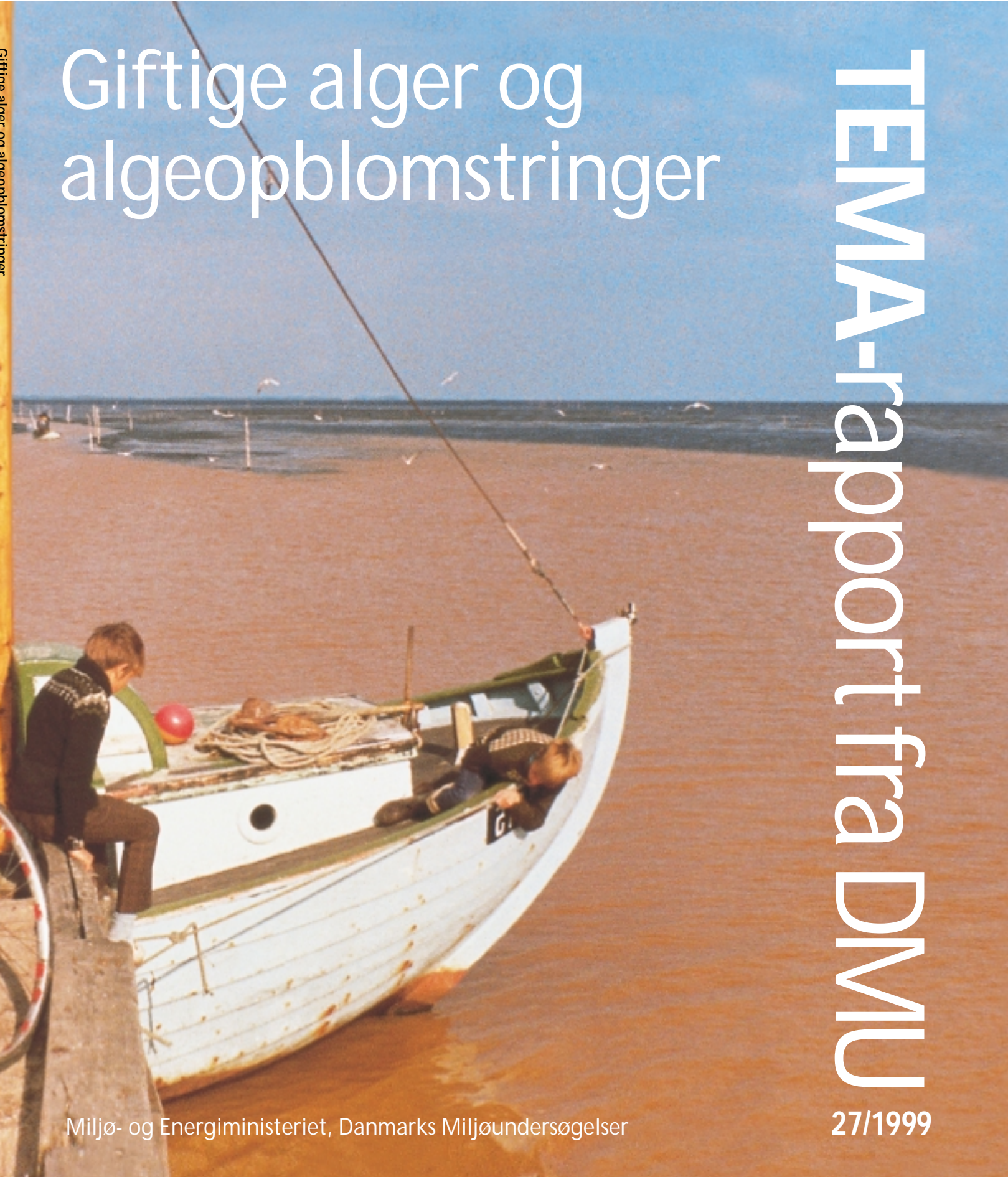


# Giftige alger og algeopblomstringer

TEMA-rapport fra DMU

27/1999

Miljø- og Energiministeriet, Danmarks Miljøundersøgelser



# Giftige alger og algeopblomstringer

---

Hanne Kaas

*Afdeling for Havmiljø og Mikrobiologi  
Danmarks Miljøundersøgelser*

Øjvind Moestrup

*Biologisk Institut  
Københavns Universitet*

Jacob Larsen

*IOC-Danida Science and Communication Centre on Harmful Algae  
Københavns Universitet*

Peter Henriksen

*Afdeling for Havmiljø og Mikrobiologi  
Danmarks Miljøundersøgelser*

Miljø- og Energiministeriet  
Danmarks Miljøundersøgelser  
1999

TEMA-rapport fra DMU, 27/1999,  
Giftige alger og algeopblomstringer

Forfattere: Hanne Kaas, Afdeling for Havmiljø og Mikrobiologi, Danmarks Miljøundersøgelser, Øjvind Moestrup, Botanisk Institut, Københavns Universitet, Jacob Larsen, IOC-Danida Science and Communication Centre on Harmful Algae, Københavns Universitet, Peter Henriksen, Afdeling for Havmiljø og Mikrobiologi, Danmarks Miljøundersøgelser.

Udgiver: Miljø- og Energiministeriet, Danmarks Miljøundersøgelser ©  
URL: <http://www.dmu.dk>  
Udgivelsestidspunkt: Juli 1999

Layout, illustrationer og produktion: Grafisk Værksted, DMU, Lisbeth Cederberg, Britta Munter. Forsidefoto: Helene Munk Sørensen

Gengivelse tilladt med tydelig kildeangivelse

Tryk: Scanprint, ISO 14001 Miljøcertificeret, EMAS registreret DK-S-0015. ISO 9002 kvalitetsgodkendt. Papir: Cyclus Print, 100% genbrugspapir med vegetabiliske trykfarver uden opløsningsmidler. Omslag lakeret med vandbaseret vegetabilisk lak.



Sideantal: 64  
Oplag: 2.000

ISSN: 0909-8704  
ISBN: 87-7772-476-3

Pris: 80,- kr. Klassesæt á 10 stk.: 400,- kr. Abonnement (5 numre): 225,- kr.  
(Alle priser er incl. 25% moms, excl. forsendelse)

Købes i boghandelen eller hos:

Danmarks Miljøundersøgelser  
Frederiksborgvej 399  
Postboks 358  
4000 Roskilde  
Tlf: 4630 1200  
Fax: 4630 1114

Miljøbutikken  
Information & bøger  
Læderstræde 1-3  
1201 København K  
Tel: 3395 4000  
Fax: 3392 7690

# Indhold

Forord .....	5
Sommerens plage .....	6
Et globalt problem .....	8
Få arter - store konsekvenser .....	8
Mennesker bliver syge .....	8
Muslinge- og fiskeforgiftninger .....	8
Cyanogifte er især et problem i ferskvand .....	12
Algegifte kan give kroniske effekter .....	13
Fugle og pattedyr påvirkes også .....	14
Fiskedød er især et problem i havet .....	14
Andre skadelige effekter .....	15
Skadelige og giftige planktonarter .....	16
Identifikation af alger kræver mange teknikker .....	16
Mange giftige arter er flagellater .....	17
Kiselalgerne blev tidligere regnet for ugiftige .....	21
Blågrønalger samles i stille vejr .....	22
Større giftige opblomstringer i danske farvande .....	26
Nye arter tilføjes stadigt .....	27
Ballastvand er en vigtig spredningskilde .....	27
Mange faktorer bestemmer artssammensætningen .....	28
Mange blågrønalger i søer, få i havvand .....	28
Giftstofferne .....	30
Hvorfor producerer algerne giftstoffer? .....	30
De kemiske forbindelser .....	32
Giftigheden varierer .....	33
Giftstofferne er „opstået“ flere gange .....	34
Havets græs .....	36
Planktonorganismene har forskellige funktioner .....	37
Plantep plankton vokser ved at blive flere .....	37
Plantep plankton producerer havets brændstof .....	41
Algerne skal bruge næringsstoffer .....	41
Balancen i planktonalgensamfundene .....	42

---

Årsager til planktonalgeopblomstringer .....	43
Resultatet af balance mellem vækst og tab .....	43
Næring og lys er en forudsætning .....	45
Fronter har stor betydning i havet .....	45
Havstrømmene samler og udbreder .....	47
Græsserne kan ikke følge med .....	47
Giftstoffernes betydning .....	47
Balance mellem vækst og tab .....	48
Opblomstringer stopper tit brat .....	49
Opblomstringer har økologiske effekter .....	50
Overvågning .....	51
Rutineovervågning .....	51
Varslingssystemet .....	51
Muslingekontrol .....	52
Gode råd .....	53
Når man bader, samler muslinger eller fanger fisk kan man afhjælpe fare for algegifte .....	53
Planktonalgeopblomstringer kan forveksles med andre fænomener .....	53
Alger er primitive planter .....	54
Algerne gav ilt på jorden .....	54
Primitivt, men komplekst .....	54
Algernes stamtræ .....	55
Sammenfatning .....	56
Ordliste .....	59
Litteratur .....	62

# Forord

Omkring 70% af jordens overflade er dækket af vand, og over 60% af verdens befolkning bor ved havet. Vandmiljøets tilstand indtager derfor naturligt en stor plads i nutidens miljødebat.

Målet med denne TEMA-rapport er at give læseren en baggrund for at forstå nogle af de centrale miljøproblemer, der ligger bag de næsten årligt tilbagevendende store overskrifter i sommerens aviser om giftige planktonalger og planktonalgeopblomstringer.

Det er forfatterens håb, at rapporten kan anvendes i undervisningen i gymnasier og på seminarier, samt at den vil blive brugt af journalister og af myndigheder og erhverv, der på den ene eller anden måde involveres i situationer med giftige planktonalger og planktonalgeopblomstringer.

Rapporten tager udgangspunkt i havet, hvor problemerne med giftige alger har været kendt i flere hundrede år og hidtil har tiltrukket sig størst opmærksomhed. Globalt set er der imidlertid ingen tvivl om, at problemerne er lige så alvorlige i ferskvand, ikke mindst fordi giftige alger i dag er almindelige i mange søer, der bruges til drikkevandsindvinding.

TEMA-rapporten bruger benævnelserne planktonalger, planteplankton og planktonalgeopblomstringer. I andre sammenhænge bruges andre betegnelser for de samme fænomener. Da stort set alle giftige alger er planktonalger, omtales de oftest bare som giftige alger, hvor betegnelsen plankton er underforstået. Tilsvarende forkortes planktonalgeopblomstringer ofte til algeopblomstringer, men det er misvisende, da denne betegnelse

også omfatter opblomstringer af tråd- og bladformede makroalger som fedtmøg og søsalat. I dansk litteratur kaldes plankton til tider for svæv, og specielt når der er tale om søer, støder man på udtrykket vandblomst om planktonalgeopblomstringer. I faglitteraturen benævnes planteplankton fytoplankton.

Kun få algegrupper og planktonalger har danske navne. Da der er ikke fastlagt et regelsæt for dansk navngivning, kan den samme alge have forskellige danske navne afhængigt af forfatterens valg. Forfatterne i denne rapport har valgt ikke at bidrage til denne forvirring og vi bruger kun danske navne, når der ligger en lang tradition bag, og der derfor er generel enighed om, hvad navnene står for.

---

Blågrøn algen *Nodularia* danner i varme somre masseopblomstringer i de indre danske farvande.

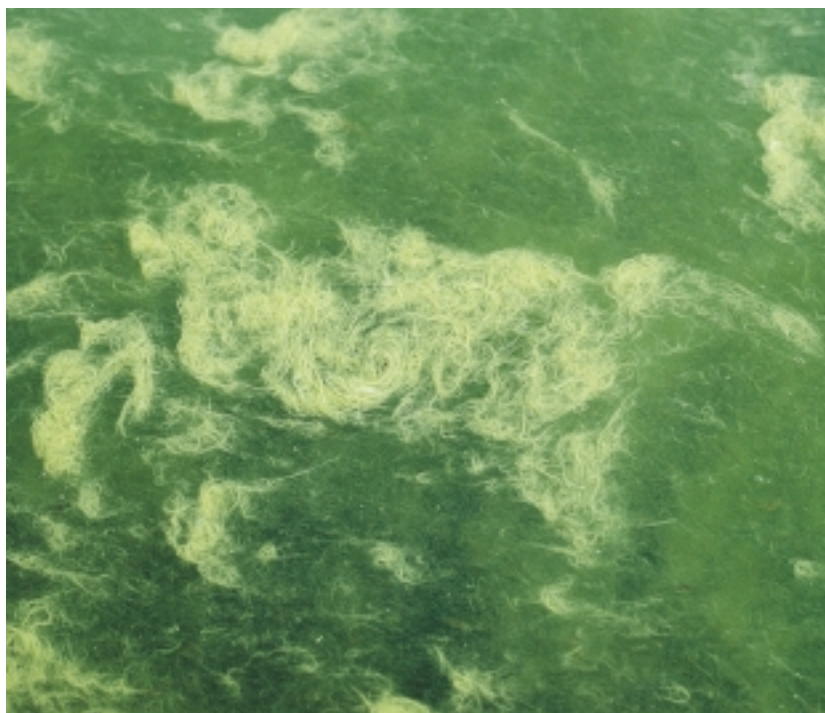


Foto: Helene M. Sørensen

# Sommerens plage

Det slår næsten aldrig fejl. Når sommeren endelig viser sig fra sin pæne side med høj sol og varme, og en stor del af befolkningen søger til strand og vand for at bade og surfe, så fyldes aviserne og radio- og TV-nyhederne med dramatiske historier om dræberalger, døde fisk og iltsvind. Der udsendes advarsler om fare for eksem og maveunder, hvis man bader i vand med store mængder af planktonalger, og vi advares mod at spise muslinger fra områder med giftige alger.

At der findes sundhedsfarlige „ting“ i vandet, har været kendt i mange år. Overlevelser i Nordamerika viser, at indianerne allerede for flere hundrede år siden var klar over, at det er farligt at spise muslinger fra bestemte kystområder på bestemte tider af året, og gamle beretninger fortæller om årligt tilbagevendende massedød af fisk. Fra Danmark har vi beretninger om algeforgift-

ninger tilbage til omkring 1830, men palæontologiske studier tyder på, at der også har været giftige planktonalger i danske farvande i forhistorisk tid. Gamle aflejringer fra havbunden omkring Bornholm viser, at der forekom massedød af muslinger, som kan skyldes giftige planktonalger, allerede for 130 millioner år siden. Den ældste beskrivelse af giftige planktonalger er formodentligt biblens beretning om Ægyptens første plage: Vandet forvandlede til blod og fiskene i Nilen døde (Anden Mosebog 7, 20-21). Mange giftige planktonalger farver vandet i røde og brune nuancer, når de optræder i store mængder.

Den bedst kendte og mest undersøgte algeforgiftning hos mennesker er muslingeforgiftning. Der findes flere typer af muslingeforgiftning, som skyldes forskellige planktonarter med forskellige giftstoffer. Giftstoffernes virkning strækker sig fra ildebefindende til lammelser med døden til følge. Selv lave koncentrationer af planktonalger kan give farlige muslinger, fordi dyrene opkoncentrerer giftstofferne. Men også andre typer algeforgiftninger kan have alvorlige konsekvenser for mennesker. Ikke mindst de der optræder i mange søer og damme i de verdensdele, hvor overfladevand er den væsentligste drikkevandskilde.

I Danmark er der kun få rapporter om mennesker med symptomer på algeforgiftning, men humantoksiske planktonarter er almindelige i vore søer og havområder. Derimod oplever vi jævnligt, at fisk og bunddyr dør i forbindelse med masseopblomstringer af giftige alger. Bedst kendt er nok den store opblomstring af den såkaldte dræberalge *Chrysochromulina polylepis*, der i 1988 var

**De farlige alger truer nu vandene ved Sjællands kyster**

Algerne er ca. ti meter høje - vindretningen afger om de stiger op mod overfladen

estersøvand som for tiden presses nordover af sønden-vind og nordgående strøm.

Hvis du ser

AL NILS ENRUM

**Alger kan også være giftige for mennesker**

Indeholder giftstoffet brevetoksin der kan irritere

**Luftbåren gift fra alger kan skade folk med astma**

Ameri-ker

ellers er kendt fra en helt anden alge, der er konstateret ved Florida-lyst USA. Og der har videnskabsfolk med omfattende dokumentation på-



Foto: Lars Angantyr

vidt udbredt i hele Kattegat og Skagerrak. Også opblomstringen af *Chattonella* i 1998 blev meget omtalt. I forbindelse med denne sidste døde hornfisk langs Nordjyllands Skagerrak-kyst.

Uanset virkningerne er de giftige planktonalger med til at forringe fiske- og badevandskvaliteten. De giver ofte store økonomiske tab for såvel fiskere og havbrugere som turistindustrien. Efter den vidt udbredte opblomstring af *Chrysochromulina* i 1988 måtte norske forsikringsselskaber betale omkring 70 mill kroner i erstatning til fiskeopdrættere.

Forekomst af giftige planktonalger er som nævnt ikke et nyt fænomen, og giftproducerende arter har sandsynligvis altid været en del af planteplankton. Den øgede tilførsel af næringsstoffer til vandmiljøerne har imidlertid øget mængden af planteplankton og dermed også risikoen for forekomst af giftige planktonalger og planktonalgeopblomstringer. Arter, der tidligere kun fandtes i uanselige mængder, danner pludselig masseforekomst, og deres giftvirkninger bliver synlige.

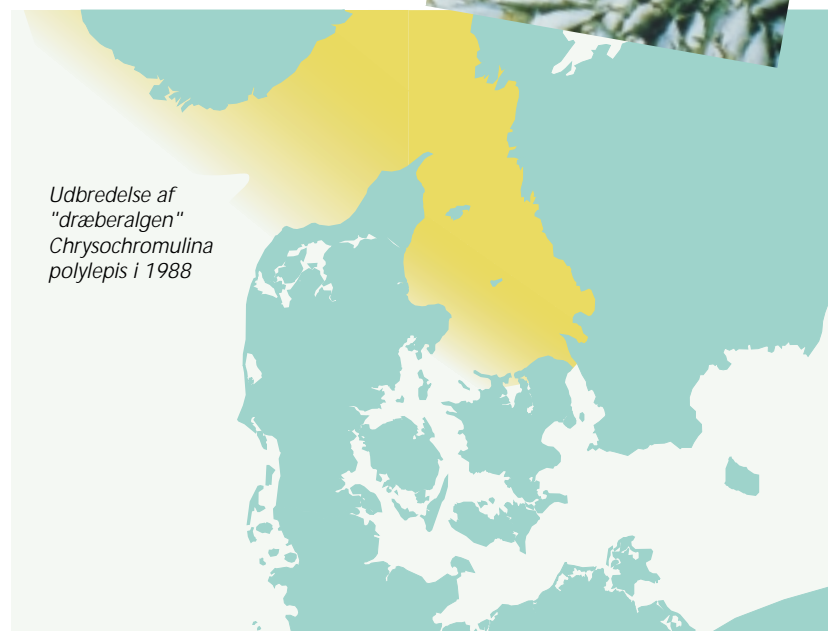
Forskningen i giftige planktonalger er intensiveret gennem de sidste årtier, så kendskabet til de giftige arter, de kår der fremmer deres vækst, giftstoffernes kemiske natur og deres virkning, er øget betydeligt. Forskerne må imidlertid erkende, at der endnu er områder, hvor deres viden er utilstrækkelig. Kendte giftige arter optræder pludselig på lokaliteter, hvor de ikke tidligere er set. Det har rettet opmærksomheden mod spredningsmekanismer som havstrømme og ikke mindst ballastvand i skibe. Der opdaget stadig nye giftstoffer, og nye arter føjes til listen over giftige planktonalger. Det er kun godt 10 år siden, at man opdagede at en af de mest artsrige grupper i planteplankton, kiselalgerne, også har arter, som producerer giftstoffer. Det er stadig uklart, hvorfor ellers giftige arter også optræder i ugiftige former.

Strukturen af mange giftstoffer er endnu ikke klarlagt, og derfor er den mulige sundhedsfare ikke kendt.

I de følgende kapitler beskrives de mest almindelige arter og effekter af giftige planktonalger ikke kun i Danmark, men globalt set. Hvad er giftige planktonalger? Hvorfra kommer de? Hvilke giftstoffer danner de? Hvad er deres effekter? Hvorfor danner de og andre planktonalger store opblomstringer? Vi giver en oversigt over de mest almindelige giftige planktonarter i danske søer og havområder, hvilke mekanismer, der er med til at bestemme arts sammensætningen, hvorfor og hvornår algegiftstofferne dannes, samt hvilke kemiske strukturer de har. For at give læseren en basis for at forstå, hvad giftige planktonalger er og hvilke mekanismer, der spiller en rolle for algernes forekomst og giftighed, giver vi en generel introduktion om planktonalger. Endelig gennemgår vi årsagerne til planktonalgeopblomstringer.



Foto: Yasuhiro Fukuyama





# Et globalt problem

## Få arter - store konsekvenser

Blandt de knap 4000 arter af planteplankton, der kendes i dag, er det kun en meget lille andel, der er skadelige (figur 1), men da de kan have voldsomme virkninger ikke mindst på menneskers helbred, er kendskab til deres forekomst og effekter af stor interesse. Dokumenterede beskrivelser af forgiftninger af mennesker går tilbage til det attende århundrede, og det er især de arter, der forgifter mennesker og i værste fald er dødelige, der har tiltrukket sig opmærksomhed. Derimod er kendskabet til virkningerne af de arter, hvis gifte er dødelige for fisk, endnu mangelfuldt på trods af, at effekterne kan have markante økonomiske konsekvenser for fiskere og havbrugerejere.

## Mennesker bliver syge

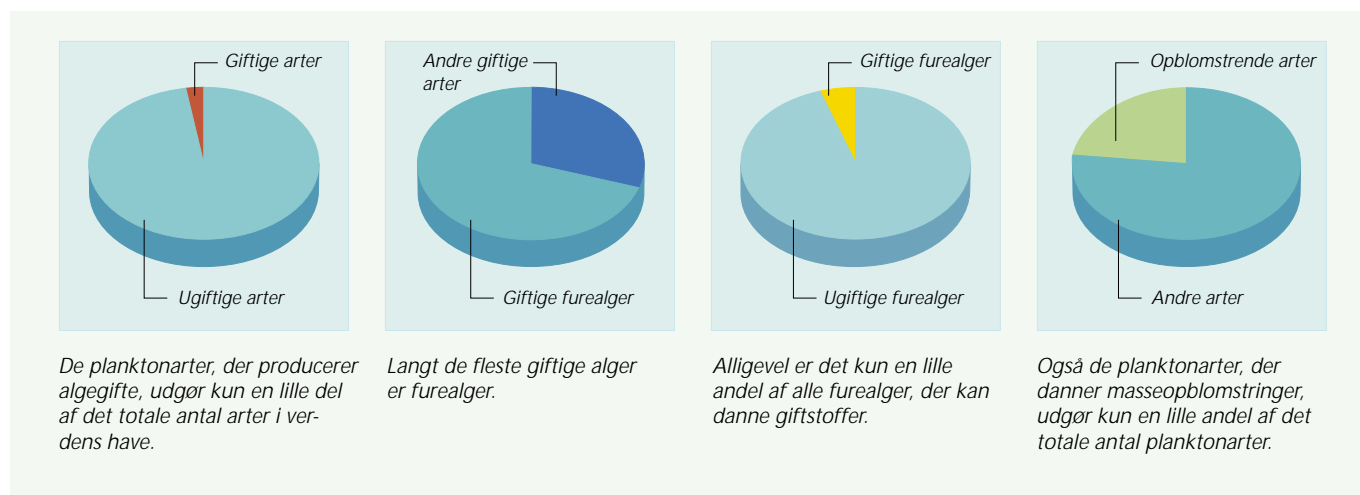
Effekterne af de humantoksiske arter (tabel 1) strækker sig fra milde tilfælde med hudirritation, allergilignende reaktioner og il-

debefindende over feber og maveproblemer til alvorlige forgiftninger, der kan give indre skader på organer som lever, mave og lunger eller lammelser af åndedrætsorganerne med dødsfald til følge (tabel 1 og 3). Symptomerne afhænger af, hvilke arter og dermed giftstoffer der er årsag til forgiftningen, og hvor store doser der indtages. Et alvorligt aspekt af effekterne er, at der ikke kendes egentlige medicinske behandlinger som f.eks. vacciner eller modgifte mod algegifte. Dog kan man, som det fremgår af tabel 1, i nogle tilfælde give symptomdæmpende behandling.

## Muslinge- og fiskeforgiftninger

I havet er muslinger og østers de mest almindelige kilder til algeforgiftninger af mennesker i de tempererede egne af verden. Skaldyrene filtrerer store mængder vand hver dag, og hvis der er giftige alger i vandet, ophobes disse i dyrene. Skaldyrene kan dermed ende med at indeholde høje giftkoncentrationer, selv om der kun er få

Figur 1.



	PSP	DSP	ASP	NSP	Ciguatera
<b>Symptomer</b>					
<i>Milde forgiftningstilfælde</i>	Efter ca. 30 min opstår kløe og følelsesløshed omkring munden, som gradvist spreder sig til ansigtet og nakken; prikkende følelse i fingerspidser og tæer; hovedpine, opkastning, diarré.	Efter ca. 30 min - nogle timer opstår diarré, opkastning og mavesmerter.	Efter 3-5 timer opstår diarré, opkastning og mavekramper.	Efter 3-6 timer opstår diarré, opkastning, hovedpine, kuldegysninger, samt muskel- og ledsmerter.	Efter 12-24 timer opstår diarré, opkastning og mavesmerter.
<i>Alvorlige forgiftningstilfælde</i>	Muskellammelse og kraftigt åndedrætsbesvær, som kan medføre døden 2-24 timer efter indtagelse af forgiftede muslinger.	Kronisk påvirkning fra DSP-toksiner kan muligvis medføre tumordannelse i tarmsystemet.	Nedsat smertereaktion, hallucinationer, sindsforvirring, hukommelsestab, „black-outs“. I alvorlige tilfælde død.	Åndedrætsbesvær, dobbeltsyn, tale- og synkebesvær, ændret følelse af varmt og koldt.	Neurologiske symptomer, ændret følelse af varmt og koldt, følelsesløshed og kløe i hænder og fødder, balanceproblemer, reduceret blodtryk og hjerteaktivitet, i alvorlige tilfælde død som følge af åndedrætssvigt.
<b>Behandling</b>					
	Kunstigt åndedræt kan redde selv alvorligt forgiftede personer, ingen varige mén.	Ingen kendt medicinsk behandling, fuld restitution efter ca. 3 dage (se ovenfor).	Ingen kendt medicinsk behandling.	Ingen kendt medicinsk behandling.	De neurologiske symptomer kan vare i måneder eller endog år, calcium og mannitol kan mildne symptomerne.

algeceller i vandet. I tropen er derimod er den væsentligste kilde til forgiftning fisk, der indeholder algegifte.

Den mildeste forgiftningstype er diarréfremkaldende muslingeforgiftning (forkortes DSP efter den engelske betegnelse: Diarrhetic Shellfish Poisoning) (tabel 1). I Danmark kendes kun få sygdomstilfælde, der er sat i forbindelse med algegifte, og disse skyldes alle DSP-gifte. DSP-gifte konstateres næsten hvert år i danske muslinger, og en enkelt gang, i 1990, var eksporterede danske muslinger årsag til, at 415 mennesker i Frankrig blev forgiftede. I dag sørger en løbende kontrol af muslingerne for, at forgiftede muslinger ikke når ud til forbrugerne. DSP-forgiftninger kendes fra

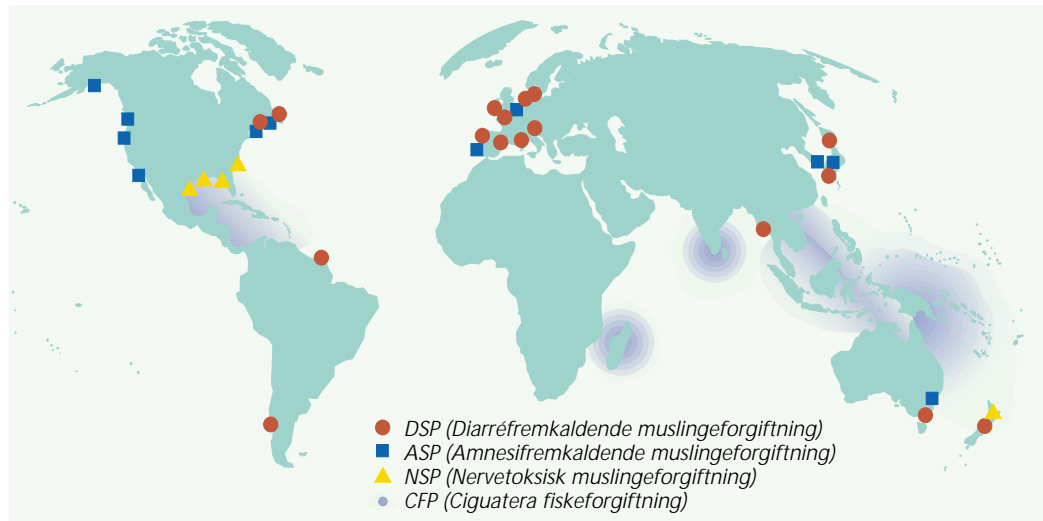
hele verden, men er især kendt fra Japan og Europa (figur 2).

Den kraftigst virkende forgiftningstype og bedst kendte er paralysefremkaldende muslingeforgiftning (forkortes PSP efter den engelske betegnelse Paralytic Shellfish Poisoning). PSP-gifte er fundet enkelte gange i muslinger i Danmark, men ingen sygdomstilfælde er forbundet med denne type forgiftning. Symptomerne er meget karakteristiske (tabel 1), og de har været kendt langt tilbage i tiden, bl.a. af inuitterne i Alaska. De første skriftlige rapporter om PSP-forgiftning går tilbage til slutningen af det attende århundrede, hvor den engelske kaptajn George Vancouver på opdagelsesrejse med skibet Disco-

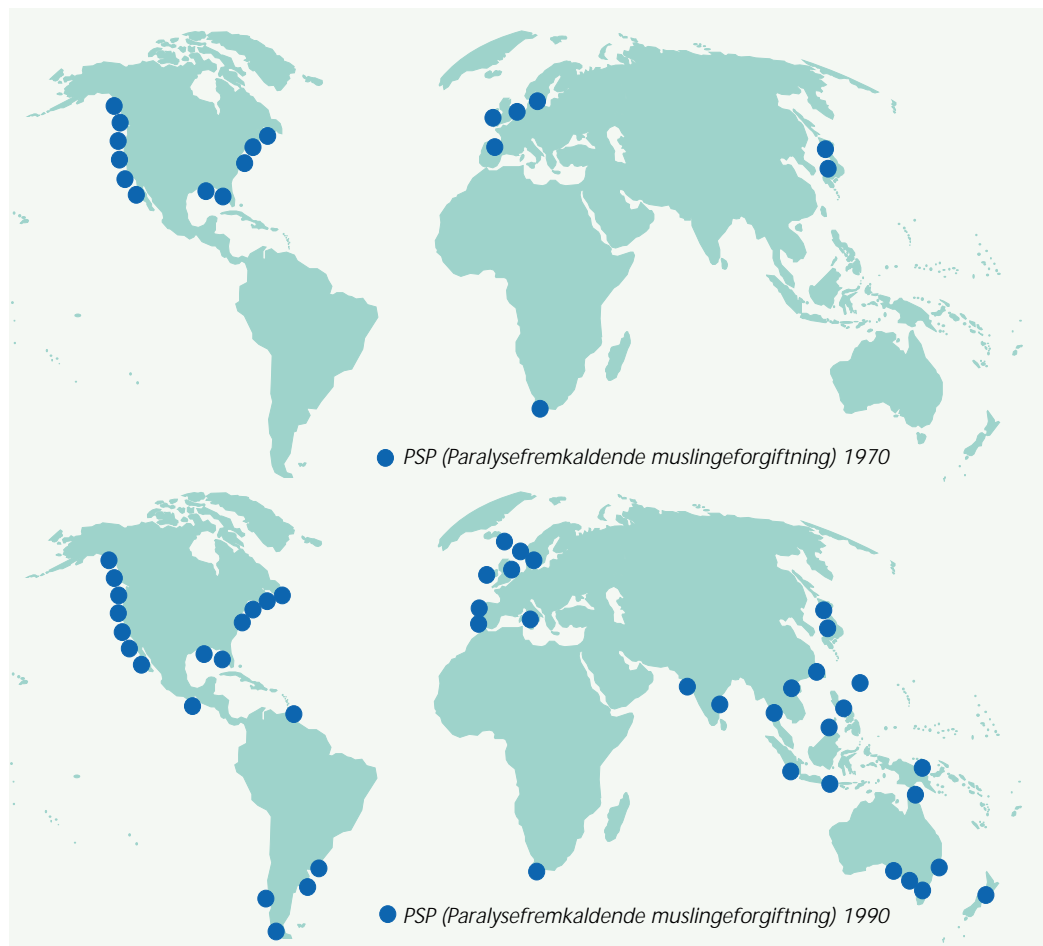
*Tabel 1.*  
Symptomer ved forgiftning med humantoksiske algegifte (modificeret efter Hallegraeff 1993).

## Et globalt problem

*Figur 2.* Den globale udbredelse af DSP (Diarrhetic Shellfish Poisoning), ASP (Amnesic Shellfish Poisoning), NSP (Neurotoxic Shellfish Poisoning) og CFP (Ciguatera Fish Poisoning) (modificeret efter Hallegræff 1993).



*Figur 3.* Kendte PSP-tilfælde (Paralytic Shellfish Poisoning) i verden i 1970 og 1990. Den globale spredning fra 1970 til 1990 skyldes formentligt en kombination af øget opmærksomhed på de problemer, som giftige alger medfører, og stigende eutrofiering af mange kystområder, hvilket giver hyppige og kraftige algeopblomstringer. Der er også enkelte dokumenterede eksempler på direkte spredning af giftige arter mellem forskellige geografiske områder (modificeret efter Hallegræff 1993).



very i 1793 sendte sine mænd i land for at udforske kysten af British Columbia, Canada. I sin ekspeditionsrapport beskriver Vancouver, hvorledes 4 af mændene blev alvorligt syge og én døde efter at have spist muslinger. PSP-forgiftninger var indtil 1970 især kendt fra Nordamerika og til dels Europa. Først i løbet af 1970erne og 80erne blev der observeret flere og flere tilfælde i Asien og Latinamerika (figur 3). Dødsfald som følge af PSP er i dag sjældne i Nordamerika og Europa, mens sygdomstilfælde og dødsfald stadig forekommer i de „nye“ områder, fordi kontrollen med fødevarerne endnu er utilstrækkelig. Et særlig grelt eksempel sås i Guatemala i 1987, hvor 186 mennesker blev syge af PSP, og 26 døde.

En tredje type muslingeforgiftning, nervetoksisk muslingeforgiftning (forkortes NSP efter den engelske betegnelse Neurotoxic Shellfish Poisoning), mente man indtil for få år siden var begrænset til den sydlige del af USAs østkyst og den Mexicanske Golf, men i 1993 blev 180 mennesker i New Zealand syge af NSP. Betegnelsen nervetoksisk (NSP) er ikke helt logisk, da mange af de andre forgiftningstyper (PSP, og nedenævnte ASP og CFP) også skyldes nervegifte. Opblomstringerne i USA medfører massedød hos fisk og andre marine organismer og ildebefindende hos mennesker, der spiser forgiftede muslinger og østers. Giftstofferne er også fundet i skumsprøjt (aerosoler), hvilket er usædvanligt. Skumsprøjtet kan give astmalignende symptomer. De første beretninger om fiskedød går tilbage til 1530, hvor opdagelsesrejsende udforskede den Mexicanske Golf. Beretningerne fortæller, at de indfødte indianere brugte episoder med fiskedød som tidsmærker, og fiskedød synes at have været et almindeligt fænomen på dette tidspunkt. Historiske og nutidige beskrivelser indikerer, at kilden til forgiftningerne er den samme. NSP-tilfældene i USA og New

Zealand skyldes to beslægtede furealger. Nye forskningsresultater viser tillige, at NSP-giftstoffer kan produceres af en anden type flagellater, de såkaldte raphidophyceer. NSP kan derfor være mere udbredt end hidtil antaget. I Danmark er der ikke observeret NSP eller NSP-giftstoffer, men raphidophyceer udgør en naturlig del af vort plankton.

Symptomerne for NSP har stor lighed med symptomerne for den såkaldte ciguatera fiskeforgiftning (forkortes CFP efter den engelske betegnelse Ciguatera Fish Poisoning, men kaldes ofte bare Ciguatera). Ciguatera er et tropisk fænomen, som skyldes ophobning af giftstoffer gennem koralrevenes fødekæder. Både fisk øverst i fødekæden som barracudaer, og papegøjefisk der spiser af korallerne, kan indeholde kritiske koncentrationer. I princippet findes problemet ikke i tempererede egne, men ciguatera „importeres“, fordi turister bliver forgiftede under rejser i troperne, og fordi tropiske fisk i stigende grad er en kulinarisk specialitet i Nordamerika og Europa.

Tabel 2.  
Registreringer af algegifte i muslinger i danske farvande. Data fra muslingeovervågningen. Da fiskeriet kun foregår i Limfjorden, Isefjorden og langs den sydlige del af Jyllands østkyst dækker data kun disse områder. Forekomsten af algegifte i andre områder kendes ikke (modificeret efter Andersen 1996).

År	Fangstlokalitet	Musling	Giftstof
1986	Limfjorden	Blåmusling	DSP
1987	Limfjorden	Blåmusling	DSP, PSP
1988	Limfjorden	Blåmusling	DSP, PSP
	Jyllands østkyst	Blåmusling	DSP
1989	Jyllands østkyst	Blåmusling	DSP
1990	Limfjorden	Blåmusling	DSP, PSP
1991	Jyllands østkyst	Blåmusling	DSP
1992	Jyllands østkyst	Blåmusling	DSP
	Horns Rev	<i>Spisula solidae</i>	DSP
	Vadehavet	Blåmusling	DSP
1993	Jyllands østkyst	Blåmusling	ASP (*)
1994	Jyllands østkyst	Blåmusling	DSP
	Horns Rev	<i>Spisula edule</i>	DSP
1995	Jyllands østkyst	Blåmusling	DSP
1996	Jyllands østkyst	Blåmusling	DSP
1997	Limfjorden	Østers	PSP (*)
1998	Ikke påvist giftstoffer		

(\*) Ikke verificeret ved krydstjek mellem flere laboratorier

Ikke alle forgiftningstyper er lige godt kendt, og nye giftstoffer og giftvirkninger bliver stadig opdaget. Den fjerde type muslingeforgiftning, amnesifremkaldende muslingeforgiftning (forkortes ASP efter den engelske betegnelse Amnesic (=hukommelsestab) Shellfish Poisoning) blev først registreret i 1987 i Canada, hvor 107 personer blev syge efter at have spist muslinger. 22 af patienterne fik permanente hukommelsesproblemer og 3 døde. ASP blev hurtigt inkluderet i den løbende overvågning, så der udsendes advarsler ved giftforekomster, og der er ikke siden konstateret sygdomstilfælde hos mennesker. ASP er usædvanlig, fordi årsagen er arter, der hører til kiselalgerne, mens muslinge- og fiskeforgiftninger ellers typisk skyldes furealger. Indtil nu er ASP-giftstoffer fundet i Nordamerika, Spanien og New Zealand. I Danmark har analyser af muslinger kun en enkelt gang antydning, at der var ASP-giftstof til stede (tabel 2). De alger, der producerer giftstoffet, er imidlertid almindelige i vort plankton, og kulturer af algerne viser, at de kan danne giftstof.

En anden nyligt opdaget forgiftningstype skyldes *Pfiesteria*-flagellater, der på mange måder adskiller sig fra de øvrige giftige alger. *Pfiesteria*'s humantoksiske effekter blev første gang opdaget i laboratoriet. Forskere, der arbejdede med kulturer af arten *Pfiesteria piscicida*, blev syge. Symptomerne var bl.a. midlertidigt hukommelsestab, desorientering samt sår på huden. Senere forespørgsler blandt fiskere viste, at de havde oplevet tilsvarende symptomer.

Giftteffekterne skyldes formodentligt spredning af giftstoffer med aerosoler og direkte kontakt med organismene i vandet. Laboratorieforsøgene blev gennemført for at belyse *Pfiesteria*-organismernes biologi efter, at masseforekomster siden starten af 1990'erne havde plaget kystområder i North Carolina, USA, med fiskedød. De angrebne fisk, muslinger og krebsdyr bliver paralyseret og får store åbne sår. *Pfiesteria* kan øjensynlig „lugte“ dyrene, idet de først bliver giftige, når der er byttedyr i nærheden. Problemet er indtil nu kun kendt fra USAs østkyst.

### Cyanogifte er især et problem i ferskvand

I ferskvand skyldes langt de fleste humantoksiske problemer cyanogiftstoffer, som produceres af blågrønalger. Cyanogiftstofferne omfatter en lang række forskellige gifttyper, som adskiller sig ved deres kemiske natur og deres effekter. I modsætning til muslingeforgiftningerne er sammenhængen mellem giftforekomst og symptomer ikke klarlagt, og der er ikke defineret lignende forgiftningstyper (tabel 3).

Den første beskrivelse af giftvirkninger af blågrønalger stammer fra 1833, og siden er der i talrige rapporter beskrevet effekter på mennesker og husdyr, fugle og fisk. Giftteffekterne ses især i forbindelse med badning i opblomstringer af blågrønalger og ved brug af søvand som drikkevand. Normalt skal der indtages en del vand før giftvirkningerne viser sig, men ikke desto mindre bliver folk jævnlige syge, og især børn og særligt følsomme personer er udsatte. Der er dog hverken i Danmark eller andre lande overblik over, hvor udbredte giftvirkningerne er. Da symptomerne har stor lighed med infektioner af bakterier, bliver mange tilfælde sandsynligvis fejldiagnosticeret.

Tabel 3.  
Humantoksiske symptomer ved kontakt med eller indtagelse af cyanogiftstoffer (modificeret efter Kaas et al. 1998).

Diagnose	Symptomer
• Hudirritationer	Rødme, kløe
• Lunge-inflammation	Snue, rindende øjne, astma
• "Influenza"	Feber
• Mave-tarm katar	Mavesmerter, mavekrampe, diarré, opkastning, feber, hovedpine
• Leverbetændelse (hepatitis)	Appetitløshed, mavesmerter, hovedpine, feber, øm og forstørret lever

De alvorligste algegiftproblemer skyldes forekomst af cyanogiftstoffer i vandområder, der bruges til indvinding af drikkevand. En meget dramatisk episode opstod i Australien i 1991, hvor en opblomstring af blågrønalger dækkede en godt 225 km lang strækning af Darling-flodsystemet. Mange mennesker blev syge, og kvæg, får og hunde døde. Også i Brasilien har cyanogiftstoffer været årsag til en voldsom forgiftning, hvor 45 mennesker døde af leverskader i 1996. Et hospitals dialyseenhed havde ved en fejltagelse anvendt utilstrækkeligt rensed vand fra en nærliggende sø med cyanogiftstoffer. I Danmark anvender vandværkerne kun i meget begrænset omfang overfladevand, og der er ikke konstateret problemer med algegiftstoffer i drikkevandet i Danmark.

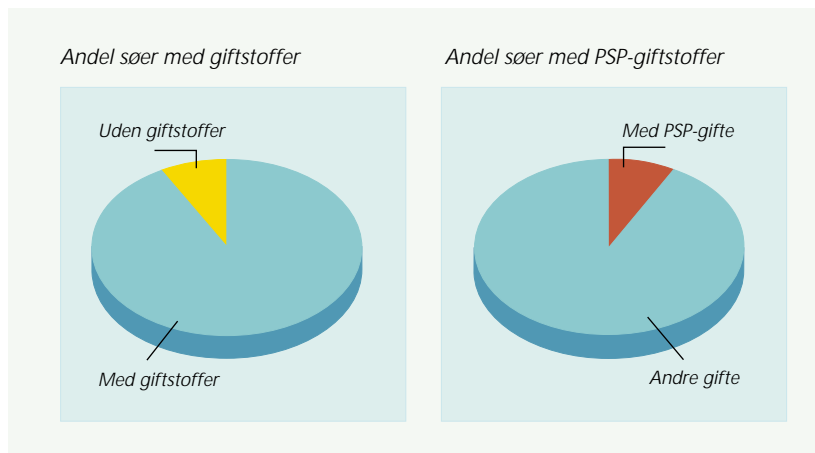
Giftstofferne i Darling-flodsystemet omfattede udover cyanogiftstoffer også PSP-gifte. PSP-giftene blev produceret af blågrønalger, og ikke af furealger som normalt i havet. Indtil nu er PSP-gifte hos blågrønalger kun fundet få steder i verden, men de kan vise sig at være mere udbredte end hidtil antaget, idet en undersøgelse af danske søer viste, at 12% af 96 søer indeholdt PSP-giftstoffer (figur 4). Lignende systematiske undersøgelser er ikke gennemført andre steder.

Cyanogiftstofferne findes også i havet, men i mindre omfang da blågrønalgeopblomstringer ikke er så udbredte. Det gælder specielt for den tempererede del af verden, hvor der kun kendes store forekomster af blågrønalger i Østersøen og i brakvandsområder i Australien. Opblomstringerne i Østersøen producerer levergifte, der kan give udslæt, ildebefindende og i værste fald leverbetændelse (tabel 3). I tropene er blågrønalgeopblomstringer mere almindelige, men de findes oftest langt fra land og giver ikke problemer for mennesker, på trods af at de producerer nervegifte.

## Algegifte kan give kroniske effekter

Først inden for det seneste tiår er man blevet opmærksom på, at algegiftene ikke kun giver akutte problemer, men at langvarig påvirkning af tilsyneladende ikke-giftige mængder kan give kroniske skader. Omfanget og virkningen af denne type skader er stadig utilstrækkeligt undersøgt. Problemerne skyldes så vidt vides især DSP- og cyanogiftstoffer. Små, men gentagne doser af levergifte (cyanogiftstoffer) giver kroniske leverskader og nedsætter immunforsvaret. Immunforsvaret skades også af DSP-giftstoffer, som yderligere menes at kunne ændre arveanlæggene. Både DSP- og cyanogiftstofferne er stærkt kræftfremmende; dvs. at de fremmer væksten af kræftceller, der allerede findes. Den kræftfremmende effekt er især et problem i mange asiatiske lande, hvor ferskvand bruges til drikkevand uden tilstrækkelig forudgående rensning. I Kina er set markant højere hyppighed af leverkræft i områder, hvor drikkevandet kommer fra damme og floder, end i områder hvor det kommer fra grundvand.

Figur 4.  
Forekomst af cyanogiftstoffer og PSP-gifte i danske søer.



### Fugle og pattedyr påvirkes også

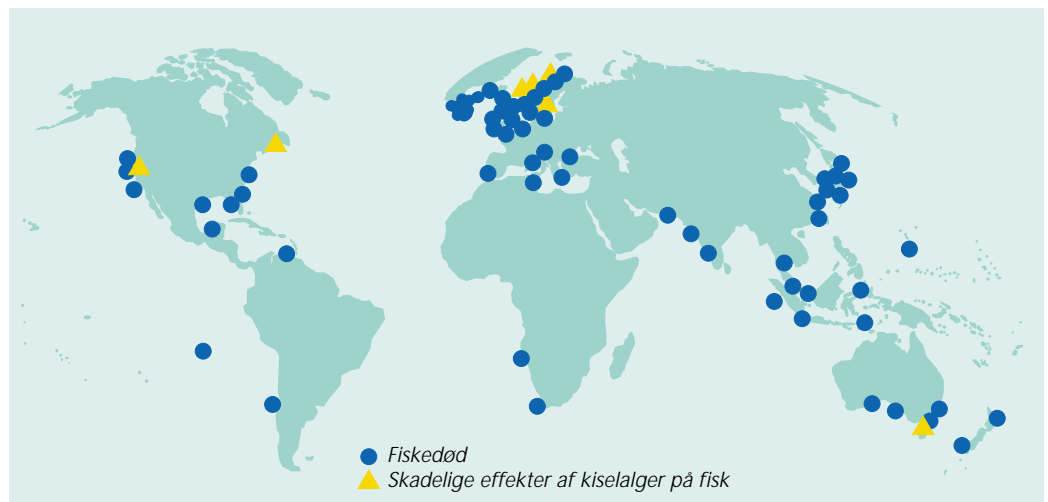
Giftstofferne er ikke kun farlige for mennesker. Da de ophobes gennem fødekæderne kan koncentrationerne blive så høje, at de sidste led i fødekæden bliver forgiftede. Således døde 14 pukkelhvaler ud for det nordøstlige USA efter at have spist makrel, som indeholdt PSP-giftstoffer, og ved Florida døde 150 søkøer i 1996 som følge af NSP-forgiftning. Massedød af søløver ved New Zealand er ligeledes sat i forbindelse med giftige alger. Fugle kan også blive forgiftede. I 1991 døde ca. 100 pelikaner og skarver i Santa Cruz i Californien af ASP. Giftstoffet endte i fuglene, fordi de spiste giftige ansjoser. Ved Knudsø i Jylland er der flere gange observeret døde ænder og lappedykkere i forbindelse med blågrøn-algeopblomstringer.

Der er også mange eksempler på ildebefindende og i nogle tilfælde dødsfald hos hunde og kvæg, der har drukket vand med høje koncentrationer af cyanogiftstoffer. Pludselige aborter hos køer er ligeledes forbundet med blågrøn-algeopblomstringer. Ofte er det imidlertid svært at forklare pludselige massedødsfald, fordi årsagen til forgiftningerne kan være forsvundet på

det tidspunkt, hvor effekten viser sig. Massedød kan også skyldes andre faktorer; for eksempel var en virusinfektion årsagen til den store dødelighed hos sæler i danske farvande i 1988, og ikke som man først troede, den samtidige opblomstring af den giftige haptophyt *Chrysochromulina polylepsis*.

### Fiskedød er især et problem i havet

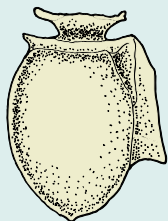
Fisketoksiske arter forekommer i havmiljøet overalt i verden (figur 5), og medfører hvert år massedød af fisk med deraf følgende økonomiske tab for fiskere, fiskeindustri og havbrugsejere. Efter *Chrysochromulina*-opblomstringen i 1988 i Kattegat-Skagerrak måtte norske forsikringsselskaber udbetale omkring 70 millioner kroner i erstatning til fiskeopdrætterne. I Japan ødelagde en *Chattonella* opblomstring i 1972 akvakulturer til en værdi af omkring 300 millioner kroner. Også turisterhvervet påvirkes, fordi fare for forgiftning og dårligt badevand skræmmer turisterne væk. Der til kommer følgerne for økosystemerne. Ved opblomstringer i søer er der eksempler på, at hele fiskebestande er døde. Dette kan ligesom giftstoffernes virkning på andre dyr ændre strukturen og funktionen i økosystemerne.



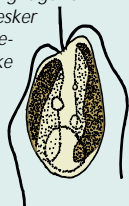
Figur 5.  
Fiskedød i forbindelse med forekomst af giftige alger er registreret overalt i verden (modificeret efter Sundstöm et al. 1990).

## Boks 1. De skadelige alger kan deles ind i 4 kategorier

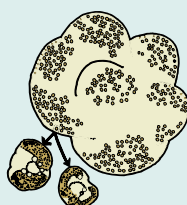
Arter, der producerer algegifte, som forgifter mennesker (= humantoksiske arter)



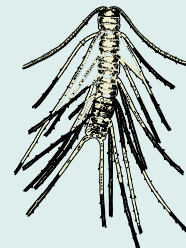
Arter, der producerer algegifte, som er skadelige for fisk og laverestående dyr, men tilsyneladende ikke er giftige for mennesker (= fiske-toksiske arter)



Arter, der danner andre usædvanlige stoffer, der generer fisk og laverestående dyr



Arter, som på anden måde generer, når de forekommer i meget høje koncentrationer



De giftstoffer, der medfører massedød af fisk, er ikke så velundersøgte som de humantoksiske. Heller ikke den eksakte virkning på fisk og andre dyr er særligt godt kendt. I modsætning til de fleste af de humantoksiske arter skal de fisketoksiske optræde i stort antal, dvs. danne opblomstring, før deres giftvirkninger kommer til udtryk. Fisketoksiske arter forekommer primært i havet, og det er især fisk i havbrug, der er udsatte, fordi de ikke kan svømme væk i modsætning til fritlevende fisk. En opblomstring af *Chattonella* i Nordsøen-Skagerrak i 1998 viste imidlertid, at selv fritlevende fisk kan blive „fanget“. Hornfisk, der var på vej til deres gydepladser, fortsatte deres vandring gennem algeopblomstringen, hvilket sandsynligvis var årsagen til at mange fisk døde.

## Andre skadelige effekter

Planteplankton kan også give gener uden at algegifte er involveret. Nogle kiselalger danner således store mængder slim, som kan sætte sig på fiskegæller og forhindre iltoptagelsen. Andre kiselalger ødelægger med deres kraftige udvækster gælleepithellet. Fiskene kan også selv producere slim, når kiselalgerne irriterer gællerne. Andre alger danner kemiske forbindelser, som

ikke kan karakteriseres som algegifte, men som får dyreplankton og fisk til at undgå algerne. De bedst kendte eksempler er haptophytslægten *Phaeocystis*, der producerer akrylsyre og dinoflagellaten *Noctiluca*, der danner ammoniak. Store mængder af planteplankton kan i sig selv være generende, fordi den høje algekoncentration er fysisk generende, eller fordi den høje primærproduktion øger pH. Endelig giver en høj algekoncentration et højt forbrug af ilt på grund af algernes respiration. Om natten, hvor fotosyntesen ikke tilfører nyt ilt, kan dette give midlertidigt iltsvind.

Figur 6. Massedød af fisk i havbrug under opblomstring af en giftig planktonalge.





# Skadelige og giftige planktonarter

## Navngivning af algerne

Algerne opdeles i klasser, som findes spredt rundt på stamtræet (figur 41).

Hver klasse omfatter et mindre antal ordner, som igen opdeles i familier. Hver familie indeholder algeslægterne, til hvilke de enkelte arter henføres. Det videnskabelige navn for en art er opbygget af to komponenter, slægtsnavnet, som altid skrives med stort begyndelsesbogstav, og artsnavnet, som altid skrives med lille begyndelsesbogstav. Som eksempel kan nævnes slægten *Alexandrium*, der omfatter adskillige arter, herunder *Alexandrium tamarense* og *A. ostentfeldii*. Slægten *Alexandrium* tilhører familien Gonyaulacaceae som igen tilhører ordenen Gonyaulacales inden for klassen Dinophyceae (furealger).

Med få undtagelser er de giftige alger planteplankton. Plankton er betegnelsen for de mange mikroskopiske organismer, der svæver frit i vandet i sø og hav. Planteplankton er således små alger, der svæver frit i vandet. Det omfatter en lang række forskellige grupper, hvor blågrønalger, furealger, kiselalger, rekyalger, haptophyter og grønalger er de mest almindelige. Oftest er algerne kugleformede, elliptiske eller cylindriske encellede organismer, der ikke er større end 0,001 til 0,2 mm. Mange har svingtråde (flageller) og kaldes flagellater (figur 11 og 12). Flagellerne bruger flagellaterne til at bevæge sig rundt i vandet. Nogle arter danner tråde og kolonier (figur 13 og 18), der kan nå op i millimeterstørrelse, så de bliver synlige med det blotte øje.

De planktonalger som har negative effekter på økosystemet og er til gene for mennesker kaldes skadelige planktonalger. Skadelige alger kan defineres bredt, så de omfatter alle arter, der misfarver vandet, gør vandet uæstetisk, danner skum og slim, er fysisk irriterende eller forgifter dyr og mennesker. Mere snævert opfattes skadelige alger som arter, der producerer kemiske forbindelser, som på en eller anden måde har negative effekter. Størstedelen af arterne i denne gruppe producerer giftstoffer og benævnes derfor giftige planktonalger.

De skadelige og giftige planktonarter tilhører 5 grupper af alger: Furealgerne, blågrønalgerne, kiselalgerne, raphidophyceerne og haptophyterne. I havmiljøet udgør furealger hovedparten af de giftige alger (figur 1, side 8), og det er denne gruppe, der giver oprhav til de fleste humantoksiske proble-

mer (tabel 4). Raphidophyceer og haptophyter derimod dominerer gruppen af fisketoksiske arter. I ferskvand er det som tidligere beskrevet stort set kun blågrønalgerne, der giver giftalgeproblemer.

## Identifikation af alger kræver mange teknikker

Ved at undersøge pigmenterne i planteplankton kan man få et overblik over, hvilke algegrupper der findes i vandet (figur 7). Artsbestemmelse af algerne kræver imidlertid andre metoder. Den mest almindelige teknik er lysmikroskopi, men da det i mange tilfælde er meget små cellestrukturer, som adskiller arterne, kan det være nødvendigt med en højere opløsning og større forstørrelser. Hertil anvendes forskellige former for elektronmikroskopi. Mikroskoperingen sker normalt på fikseret materiale, dvs. på algeprøver tilsat et konserveringsmiddel, der dræber og konserverer cellerne. Nogle arter tåler dog ikke denne behandling, og det er derfor nødvendigt at undersøge levende prøver.

For mange arters vedkommende er dette en tidsrøvende proces, og der søges derfor efter alternative metoder og redskaber. Et redskab, som specielt har fået stor opmærksomhed, er de såkaldte prober. En probe er fremstillet, så den genkender en del af en bestemt arts DNA og kun dette. Til proben hæftes et stof, som kan indgå i en farvereaktion. Når farvestof og probe tilsættes en vandprøve, vil en ændring af prøvens farve afsløre, at den art, som proben genkender, findes i prøven. Der arbejdes for øjeblikket med fremstilling af prober til genkendelse især af giftige arter. Selv om mange planktonarter er udbredt

Algeart	Gift-type	Opblomstring
<b>Giftige arter</b>		
Furealger ( <i>Dinophyceae</i> )		
• <i>Prorocentrum lima</i>	DSP	Nej
• ? <i>P. minimum</i>	Giftighed usikker	Tilbagevendende
• <i>Dinophysis acuminata</i>	DSP	Sjældent <sup>2</sup>
• <i>D. acuta</i>	DSP	Nej <sup>2</sup>
• ( <i>D. hastata</i> )	DSP	Nej <sup>2</sup>
• <i>D. norvegica</i>	DSP	Nej
• <i>D. rotundata</i>	DSP	Nej <sup>2</sup>
• ( <i>D. tripos</i> )	DSP	Nej <sup>2</sup>
• <i>Alexandrium minutum</i>	PSP	Nej
• <i>A. ostenfeldii</i>	PSP	Nej
• <i>A. tamarense</i>	PSP	Nej
• <i>Amphidinium carterae</i>	Ukendt	Nej
• <i>Gymnodinium galatheanum</i>	Fisketoksisk	Nej
• <i>G. mikimotoi</i> <sup>1</sup>	Fisketoksisk	Tilbagevendende
Raphidophyceae		
• ( <i>Heterosigma akashiwo</i> )	Fisketoksisk	Sjældent
• ( <i>Chattonella</i> sp.)	Fisketoksisk	Sjældent
Haptophyter ( <i>Prymnesiophyceae</i> )		
• <i>Chrysochromulina polylepis</i>	Fisketoksisk	Sjældent
• <i>C. leadbeateri</i>	Fisketoksisk	Nej
• <i>Prymnesium parvum</i>	Fisketoksisk	Tilbagevendende
Kiselalger ( <i>Bacillariophyceae</i> )		
• <i>Pseudo-nitzschia delicatissima</i>	ASP	Nej
• <i>P. multiseriis</i>	ASP	Nej
• <i>P. pseudodelicatissima</i>	ASP	Ja
• <i>P. pungens</i>	ASP	Nej
• <i>P. seriata</i>	ASP	Nej
Blågrønalger ( <i>Cyanophyceae</i> )		
• <i>Nodularia spumigena</i>	Cyanogiftstof	Tilbagevendende
• <i>Anabaena</i> spp.	Cyanogiftstof	Tilbagevendende
<b>Skadelige arter</b>		
Furealger		
• <i>Noctiluca scintillans</i>	Ammoniak	Tilbagevendende
Prymnesiophyceae (Haptophyter)		
• <i>Phaeocystis globosa</i>	Akrylsyre	Tilbagevendende
Kiselalger		
• <i>Chaetoceros</i> spp.	Fysisk irritation af fiskegæller	Tilbagevendende, men uden effekter
• <i>Coscinodiscus</i> spp.	Slim	Tilbagevendende

Tabel 4.

Potentielt skadelige og giftige arter i danske farvande.

Arter i parentes forekommer kun sjældent.

?) Arten er tilsyneladende ikke giftig i danske farvande.

Nej) Har ikke dannet opblomstring i danske farvande.

1) Arten hed indtil for nyligt *Gyrodinium aureolum*.

2) Celleantal ofte over den kritiske grænse for muslingeforgiftning.

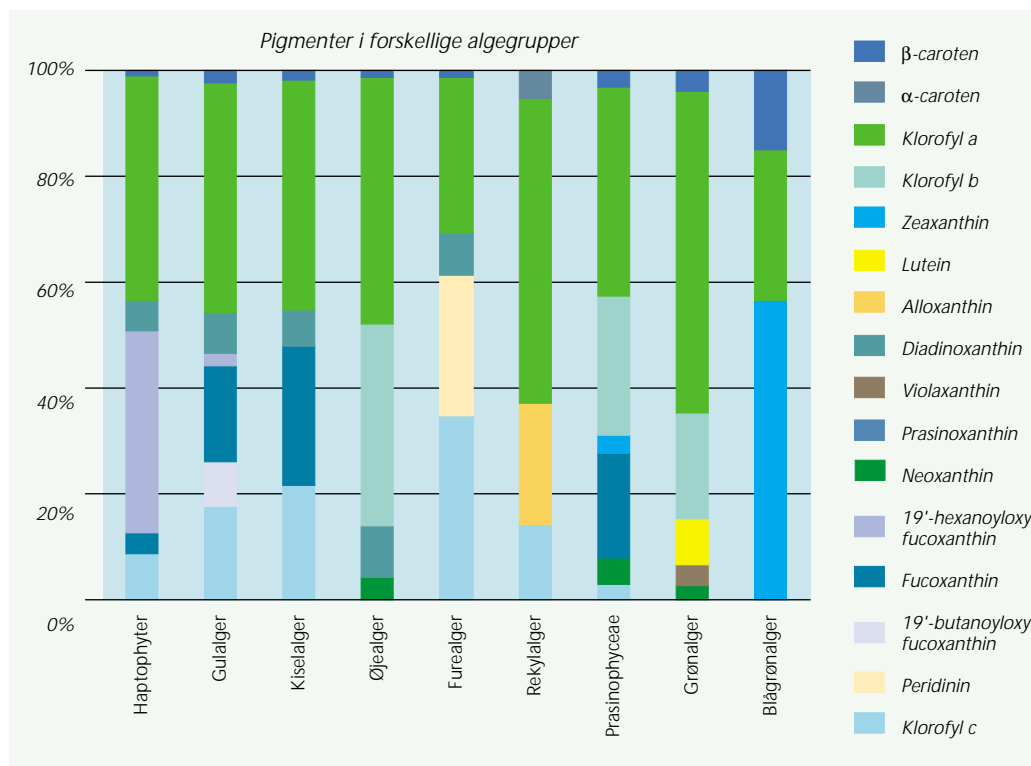
over store dele af jorden, er der ofte genetiske forskelle mellem forskellige geografiske områder. Derfor kan prøber baseret på en bestemt DNA sekvens ikke bruges overalt på jorden. Prøver til genkendelse af en given art må fremstilles på basis af individer fra det geografiske område, hvor man ønsker at bruge prøben.

## Mange giftige arter er flagellater

Furealgerne, raphidophyceerne og haptophyterne er flagellater, som med deres flageller er i stand til at bevæge sig rundt i vand-søjlen. Hvis vandbevægelserne ikke er for kraftige, kan de placere sig netop der, hvor vækstforholdene er bedst (mest lys, flest nærings-salte). De 3 algegrupper adskiller sig især ved deres cellebygning og pigmenter.

Figur 7.

Hver algegruppe indeholder et eller flere karakteristiske markørpigmenter. Mange furealger er for eksempel karakteriserede ved at indeholde peridinin. Pigmentsammensætningen fortæller derfor, hvilke algegrupper der findes i algesamfundet. Der er dog slægter og arter, der har afvigende pigmentsammensætning. Den giftige furealge *Gymnodinium mikimotoi*, der er almindelig i danske farvande, indeholder således de samme pigmenter som haptophyter. Skal man vide nøjagtigt hvilke arter, der er i algesamfundet, er det nødvendigt at mikroskopere vandprøver.



### Furealger (*Dinoflagellater*, *Dinophyceae*)

Furealger tilhører dinoflagellaterne, en stor gruppe mikroorganismer som både omfatter fototrofe og heterotrofe organismer, hvor de fototrofe kaldes furealger. Dinoflagellaterne er lette at kende, fordi deres cellekerner i modsætning til andre alger altid er synlig, også når de ikke deler sig (figur 11). De fleste arter har en længde- og en tværfure (heraf „furealger“), hvori de 2 flageller ligger. Hos de *thecate* dinoflagellater har cellerne yderst et lag af celluloseplader, som danner en funktionel cellevæg (figur 10). Cellulosepladernes form og indbyrdes placering er i mange tilfælde afgørende for identifikation af arterne. Pladerne bevirker, at cellerne bevarer deres form, når cellerne dør. Thecate arter kan derfor identificeres i fikseret tilstand.

På grundlag af cellernes form og cellulosepladernes mønster kan de thecate dino-

flagellater inddeles i 4 hovedgrupper hvoraf de 3 følgende omfatter giftige arter:

*Prorocentrum*-, *Dinophysis*- og *Gonyaulax*-gruppen. Slægten *Prorocentrum* er kun repræsenteret med få potentielt giftige arter i vore farvande. Mest udbredt er *P. minimum* (figur 8), men det er usikkert, hvorvidt den er giftig. I Japan blev arten i 1940'erne sat i forbindelse med alvorlige muslingeforgiftninger, hvor hundredevis af mennesker omkom. Siden har det imidlertid ikke været muligt at eftervise giftvirkningen med kulturer af algen. Først i en nyere fransk undersøgelse er der observeret gifteffekter ved forsøg med mus, og gifteffekten var kun målelig hos alger, der voksede dårligt. *P. lima* er en giftig bundlevende art, som kun er registreret få steder i danske farvande, men da undersøgelser af denne type mikroalger er sparsomme, kan algen være mere udbredt end hidtil antaget. Til *Dinophysis*-gruppen hører den meget store

slægt *Dinophysis* (figur 9), hvoraf flere arter kan forårsage DSP. Slægten er den hyppigste årsag til forekomst af algegifte i danske muslinger. *Gonyaulax*-gruppen omfatter den PSP-producerende slægt *Alexandrium* (figur 10), som også er kendt fra danske farvande. *Dinophysis*- og *Alexandrium*-arterne findes sjældent i høje koncentrationer og er ikke set i masseopblomstringer herhjemme. En anden PSP-producerende art i denne gruppe er *Pyrodinium bahamense* var. *compressum*, som ofte danner meget alvorlige opblomstringer i Sydøstasien med dødsfald til følge. *Gambierdiscus toxicus*, som er årsag til ciguatera, tilhører også denne gruppe. *G. toxicus* forekommer overalt i troperne.

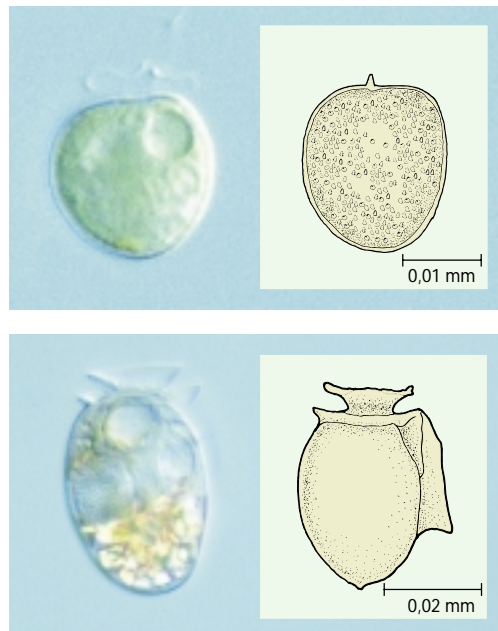
De øvrige dinoflagellater har ikke celluloseplader og betegnes „athecate“ eller „nøgne“ dinoflagellater. De hører til *Gymnodinium*-gruppen. Da de ikke er omgivet af en funktionel cellevæg, ændrer de let form ved fiksering. Identifikation af nøgne former kan derfor i mange tilfælde kun foretages ved observation af levende celler. Denne omstændighed har været stærkt medvirkende til, at gruppen er den dårligst kendte blandt dinoflagellaterne. Adskillige arter i denne gruppe kan producere fiskegiftstoffer, heriblandt *Gymnodinium mikimotoi* som er almindelig i danske farvande. De danske *Gymnodinium mikimotoi* blev tidligere kaldt *Gyrodinium aureolum*, men en nærmere gennemgang af de oprindelige beskrivelser af de 2 arter har vist, at de danske individer tilhører den første art. Til gruppen hører også *Gymnodinium breve*, der er årsag til de tidligere beskrevne tilfælde af fiskedød og NSP langs den sydligste del af USAs østkyst og den Mexicanske Golf. En enkelt art, *Gymnodinium catenatum*, giver PSP.

### Raphidophyceer

(gruppen har ikke et dansk navn)

Raphidophyceerne i havet er meget karakteristiske flagellater med mange gule eller

gulbrune kloroplaster og 2 flageller. De er blandt de største fytoflagellater. Én art, *Chattonella antiqua*, kan blive over 0,1 mm lang og er dermed synlig for det blotte øje. Flagellaterne er vanskelige at arbejde med, bl.a. fordi fiksering ofte deformerer cellerne, og gør det vanskeligt eller umuligt at identificere dem. Det kan også være forklaringen på, at raphidophyceerne sjældent er registreret i danske farvande. Det er formentlig grunden til den usikkerhed, som har hersket omkring den såkaldte flagellat X, en fiskedråber kendt bl.a. fra Skotland og Irland. Flagellat X er formentlig identisk med *Heterosigma akashiwo* eller en art af *Chattonella*. Adskillige raphidophyceer er stærkt giftige for fisk, og særligt i Japan har opblomstringer forvoldt katastrofale ødelæggelser i havbrug. En opblomstring i 1972 af *Chattonella antiqua* ødelagde således akvakulturer til en værdi af omkring 300 millioner kroner. Arternes giftstoffer er kun delvist kendt. I danske farvande har *Chattonella* kun en enkelt gang, i maj 1998, dannet en større opblomstring. Endnu er det usikkert hvilken



Figur 8 (øverst).

*Prorocentrum minimum* er en meget lille art som let overses, hvis den forekommer i ringe antal. Den danner regelmæssigt kraftige opblomstringer i kystområder og fjorde, hvor den kan nå koncentrationer på over 100 mill. celler pr liter. I følge udenlandske undersøgelser kan arten være giftig, men der er ingen indikationer for giftproduktion i danske farvande.

Figur 9 (nederst).

*Dinophysis acuminata*. Blandt de danske *Dinophysis*-arter er *D. acuminata* oftest årsag til, at muslingefiskeriet må indstilles som følge af giftindhold i muslingerne. Arten forekommer både i troperne og i kolde havområder, og giver anledning til problemer i store dele af verden. Dens udseende kan variere betydeligt og utypiske celler kan være vanskelige at identificere. Slægten er generelt vanskelig at arbejde med, bl.a. fordi det ikke er muligt at dyrke arterne i kultur. Vores viden om arterne er derfor udelukkende baseret på iagttagelser fra naturen.

art, der var tale om. *Heterosigma akashiwo* er ligeledes kun en enkelt gang set i masseopblomstring, i Venø Bugt i 1988. Fra Tyske Bugt og det hollandske Vadehav har begge arter sammen med *Fibrocapsa japonica* været kendt siden starten af 1990'erne. Her, såvel som andre steder i verden, findes arterne ofte alle tre eller parvis sammen.

### Haptophyter

(også kendt under navnet *Prymnesiophyceer*, gruppen har ikke et dansk navn)

Karakteristisk for denne algeklasse er det såkaldte haptonema, et stilkagtigt organel placeret mellem de 2 flageller hos mange af gruppens arter (figur 12). Haptonemaet er normalt synligt i lysmikroskop og kan ligne en flagel, men bruges bl.a. når disse mixotrofe flagellater optager andre orga-

nismer. Et haptonema kendes ikke fra andre algeklasser.

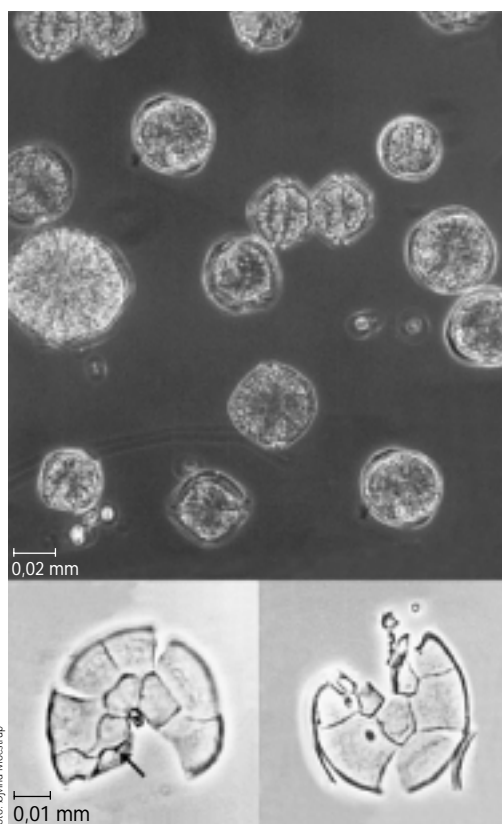
Slægten *Chrysochromulina* omfatter bl.a. *C. polylepis* (figur 12), som dannede en kraftig opblomstring i maj-juni 1988. Arten blev på grund af haptonemaet døbt Stilkalgen. Sammen med andre arter af *Chrysochromulina* gav den mindre opblomstringer i Lillebæltsområdet i starten af 1990'erne. *Chrysochromulina* findes også i ferskvand og slægten er to gange forbundet med fiskedød i danske søer. Slægten omfatter formodentlig ca. 100 arter, og halvdelen af disse findes i danske farvande. Cellens overflade er dækket af organiske skæl, hvis struktur er vigtig for artsidentifikationen. Strukturen kan oftest kun ses i elektronmikroskop, hvilket betyder, at kun få, karakteristiske arter kan identificeres ved lysmikroskopi - de øvrige må undersøges i elektronmikroskop, før de kan identificeres med sikkerhed.

Slægten *Prymnesium* er nært beslægtet med *Chrysochromulina* og kræver ligeledes elektronmikroskopisk undersøgelse, før arterne kan identificeres. Flere arter i denne slægt er kendt som fisketoksiske. De kan forekomme både ved høje og meget lave saltindholdigheder. I danske farvande er det arten *P. parvum*, der medfører fiskedød. Den har flere gange dannet opblomstring i lukkede brakvandsområder.

*Phaeocystis globosa* danner regelmæssigt opblomstringer i Nordsøen og er årsag til den voldsomme skumdannelse, som kan ses ved den jyske vestkyst om foråret og forsommeren (figur 13). Slægten *Phaeocystis* optræder i to former; én hvor cellerne lever som frie flagellater enkeltvist, og én hvor cellerne er samlet i kolonier, der holdes sammen af slim. Det er slimen, der danner skum, når algerne dør. *Phaeocystis* anses ikke for giftproducerende, men den danner akrylsyre som påvirker plankton og

Figur 10.

*Alexandrium*. Arter i denne slægt blev tidligere henført til *Gonyaulax* eller *Protogonyaulax*, hvilket gav anledning til betydelig forvirring i litteraturen. Nyere taksonomiske undersøgelser viser, at de giftige arter hører til slægten *Alexandrium*. Arter af *Alexandrium* kan forårsage PSP. Slægten omfatter omkring 30 arter, hvoraf mange er giftige. Artsidentifikationen kan være vanskelig og kræver at cellulosepladernes form analyseres nøje. Den øverste figur viser hele celler af *Alexandrium tamarense*, der blot fremtræder som afrundede brune klumper, ofte parvis, mens figuren forneden viser celler fra samme prøve efter delvis udtørring under mikroskopet. Herved skilles pladerne fra cellens øvrige indhold og de arts-karakteristiske detaljer kan iagttages. En af disse detaljer er et lille hul i en særlig plade (pilen).



fisk. Arter af denne slægt forekommer overalt i verdenshavene; specielt i Arktis og Antarktis er de ofte dominerende.

## Kiselalgerne blev tidligere regnet for ugiftige

Kiselalger kaldes også diatomeer. Videnskabeligt hedder de Bacillariophyceae.

Kiselalger er ofte dominerende i plankton, men indtil for få år siden blev ingen anset for giftige. I 1987 forårsagede en opblomstring af *Pseudo-nitzschia multiseries* i Canada imidlertid ASP. Siden har flere arter inden for denne slægt vist sig at være giftproducerende, og nogle af disse forekommer i danske farvande.

Kiselalger er ligesom dinoflagellaterne en meget artsrig gruppe. Gruppen omfatter adskillige tusinde arter. Det nøjagtige artsantal er imidlertid ukendt, fordi det i mange tilfælde ikke er klart defineret, hvordan arterne skal adskilles fra hinanden. Kiselalger er alle omgivet af en cellevæg bestående af kiseltsyre, og kisel skallens facon og struktur danner oftest grundlag for artsadskillelsen (figur 14). Kiselalger har ingen flageller og kan ikke svømme rundt i vandet. De er derfor meget afhængige af vandets bevægelse. Algerne er tungere end vand og uden omrøring i vandet, synker de ned til bunden.

De skadelige men ikke giftige effekter, som kiselalger kan have på fisk, skyldes hovedsageligt arter inden for slægten *Chaetoceros*. Det er især *C. convolutus* (figur 15) og *C. concavicornis*, der har forvoldt skader. Arter af *Coscinodiscus* kan på grund af en meget stor produktion af slim tilstoppe hullerne i fiskenet. *Chaetoceros* har ikke givet problemer i danske farvande, mens *Coscinodiscus* til tider generer vesterhavsfiskere om foråret.

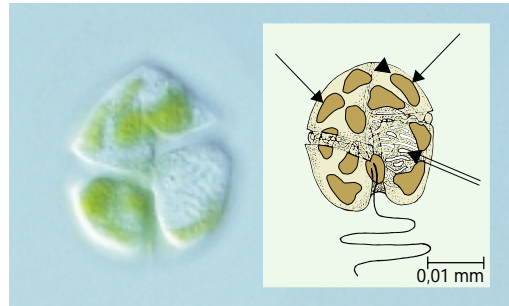


Foto: Jacob Larsen

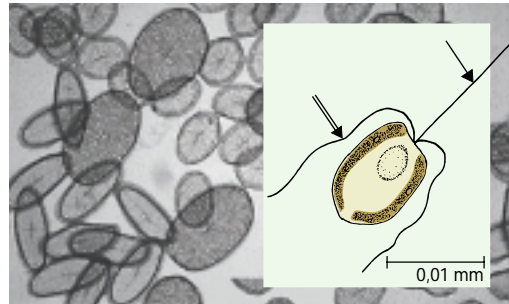


Foto: Jacob Larsen

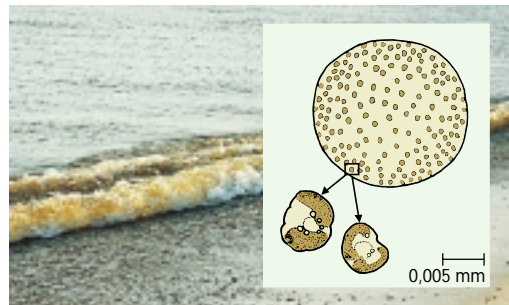


Foto: Helene M. Sørensen

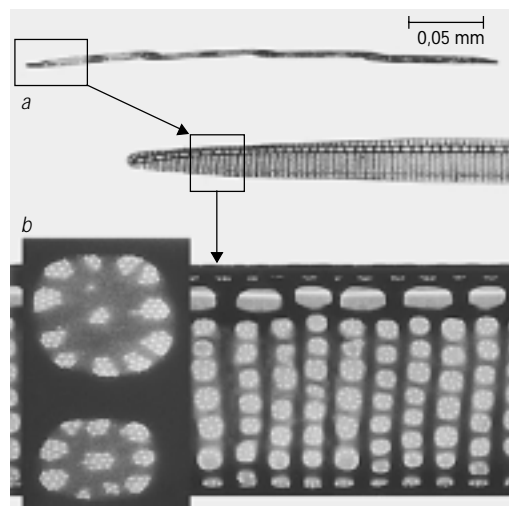


Foto: Jacob Larsen

Figur 11 (øverst).

*Gymnodinium mikimotoi* er karakteriseret bl.a. ved sine kloroplaster (pile), cellekernens placering (dobbeltpil) og ikke mindst den fine fure på cellens forende (pilhoved). Disse karakterer er meget vanskelige eller umulige at se i fikserede celler. Det er derfor bedst at identificere algerne i levende prøver (cellen til venstre).

Figur 12 (næstøverst).

*Chrysochromulina polylepis* med det karakteristiske haptonema (pil) og 2 flageller (dobbeltpil). De arts karakteristiske skæl på billedet i baggrunden kan kun ses i elektronmikroskop.

Figur 13 (næstnederst).

*Phaeocystis* kan danne store mængder af skum langs strandene på den jyske vestkyst, specielt i forsommeren. Skumet dannes, når kolonierne dør.

Figur 14 (nederst).

*Pseudo-nitzschia pseudodelicatissima*. Cellerne hos denne slægt danner kolonier, som let kan erkendes i lysmikroskop (a). Artsidentifikation kræver iagttagelse af kisel skallens struktur, oftest efter en særlig præparation og i de fleste tilfælde også elektronmikroskopi (b).

### Blågrøn-alger samles i stille vejr

Blågrøn-alger hedder også cyanobakterier, da de egentligt er bakterier. Videnskabeligt kaldes de Nostocophyceae eller Cyanophyceae.

Blågrøn-algerne mangler flageller, men mange har luftfyldte hulrum i cellerne (aerotoper) som gør, at cellerne kan regulere deres vægtfylde og dermed bevæge sig op og ned i vandsøjlen. I stille vejr danner de således tætte lag nær vandoverfladen. Aerotoper ser i mikroskopet ud som små sorte korn (ses på flere af trådene i figur 19). Blågrøn-alger er specielt et stort problem i næringsrige ferskvandsområder. I danske søer ses blågrøn-algeopblomstringer hvert år, og langt de fleste er giftige (figur 4, side 13). Især arter inden for slægterne *Microcystis*, *Planktothrix* og *Anabaena* er almindelige og forekommer i høje koncentrationer.

Der findes to hovedtyper af blågrøn-alger: encellede, der kan være samlet i kolonier (figur 16), og trådformede (figur 18 og 19). De trådformede inddeles i former, som kun har én type celler, kaldet vegetative celler (figur 18 a), og former, der både danner vegetative celler og specialiserede celler som heterocyter og akineter (figurene 18 b og 19). Heterocyter er tykvæggede celler, der i modsætning til alle andre typer algeceller kan optage frit kvælstof ( $N_2$ ). Lige som i luften findes der store mængder frit kvælstof i vand, og blågrøn-alger med heterocyter kan udnytte denne kvælstofkilde. Akineter er hvileceller, der kan overleve ugunstige perioder og spire til nye tråde, når forholdene igen bliver gunstige.

#### Encellede blågrøn-alger

De fleste undersøgelser af giftproduktion hos encellede blågrøn-alger er lavet på arter, hvor mange celler er samlet i en fælles gele, så de danner store kolonier, der let

kan indsamles med et planktonnet (typisk med en maskevidde på ca. 0,02 mm). Der findes væsentligt mindre information om de meget små picoblågrøn-alger (diameter < 0,002 mm), der lever som enkeltceller, men det vides dog, at nogle af disse også kan producere giftstoffer.

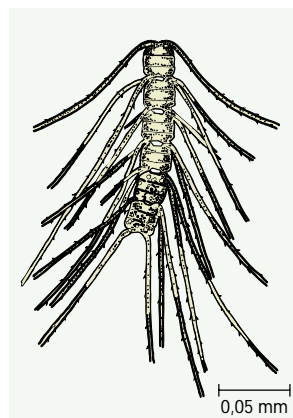
Den på verdensplan mest almindelige giftproducerende blågrøn-algeslægt er *Microcystis*, der også er den hyppigst forekommende slægt i næringsrige danske søer. Alle arterne danner kolonier af forskellig størrelse, og cellerne indeholder aerotoper. Artsadskillelsen sker især på baggrund af cellestørrelsen og udformningen af den omgivende gele (figur 16). I danske søer er opblomstringer af *Microcystis* næsten altid giftige, og i de fleste opblomstringer findes flere af de meget almindelige arter *Microcystis aeruginosa*, *M. botrys*, *M. viridis*, *M. wesenbergii* og *M. flos-aquae*. Heraf vides *M. aeruginosa*, *M. botrys* og *M. viridis* at kunne producere de levertoksiske microcystiner (tabel 5).

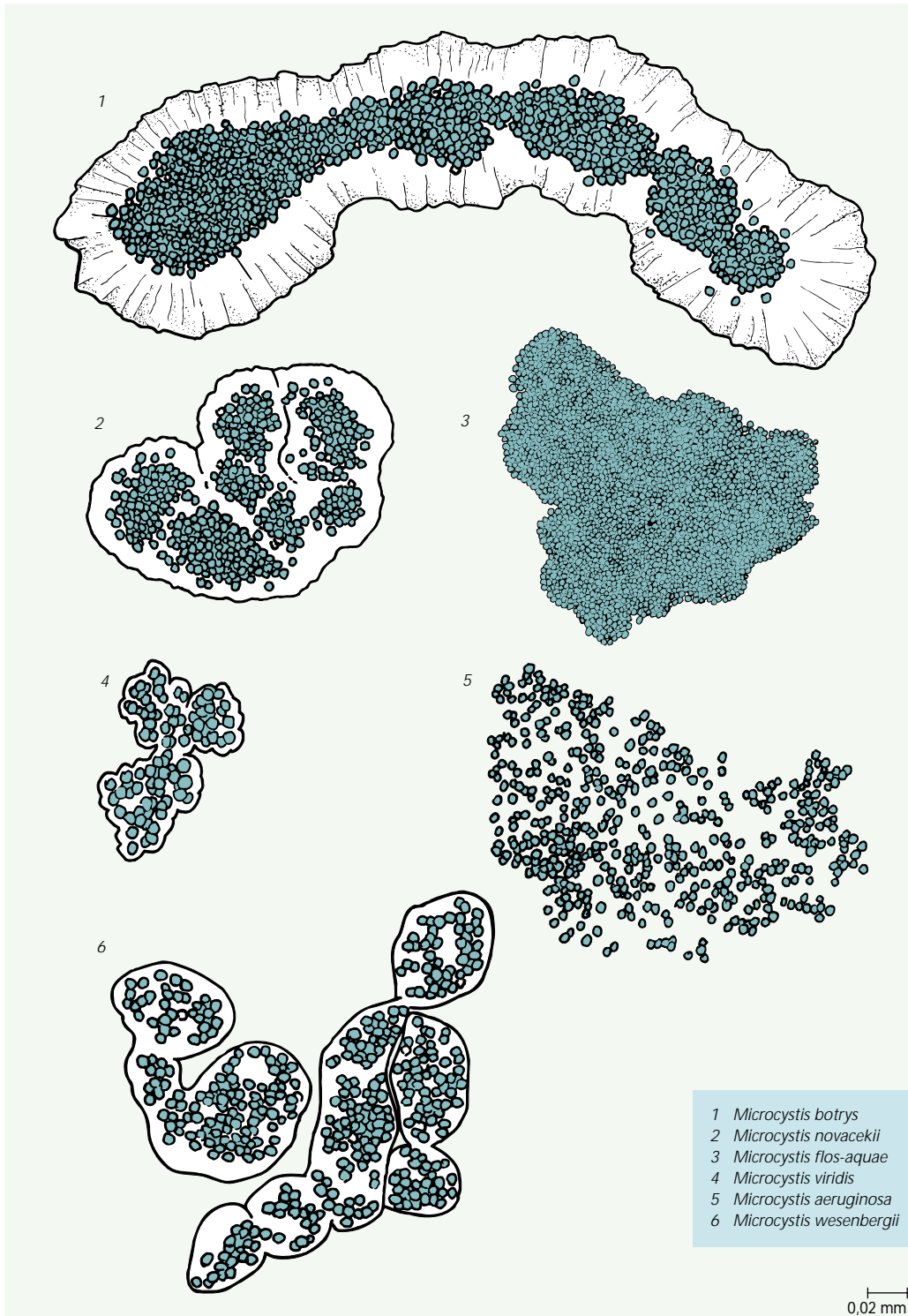
Enkelte andre encellede arter er også fundet i store koncentrationer i giftige opblomstringer, men det er ikke bevist, at de er ansvarlige eller medansvarlige for giftproduktionen. Det gælder f.eks. den i Danmark meget almindelige art *Woronichinia naegeliana* samt picoblågrøn-algeslægten *Synechococcus*.

#### Trådformede blågrøn-alger

De to mest almindelige slægter af trådformede giftproducerende blågrøn-alger er *Anabaena* og *Aphanizomenon*. Begge slægter har heterocyter og akineter, og hos de fleste arter indeholder cellerne aerotoper. Vigtige arts-kriterier inden for begge slægter er længden og bredden af cellerne og den indbyrdes placering af de forskellige celletyper, samt hvorvidt trådene er samlet i kolonier.

Figur 15.  
*Chaetoceros convolutus*.  
De lange kraftige udvækster  
kan skade gælleepithelet hos  
fisk.





Figur 16.  
*Microcystis* arterne er alle kolonier af små celler der ligger i en fælles gelé. Arterne kendes blandt andet fra hinanden på udformningen af geléen.

- 1 *Microcystis botrys*
- 2 *Microcystis novacekii*
- 3 *Microcystis flos-aquae*
- 4 *Microcystis viridis*
- 5 *Microcystis aeruginosa*
- 6 *Microcystis wesenbergii*

0,02 mm

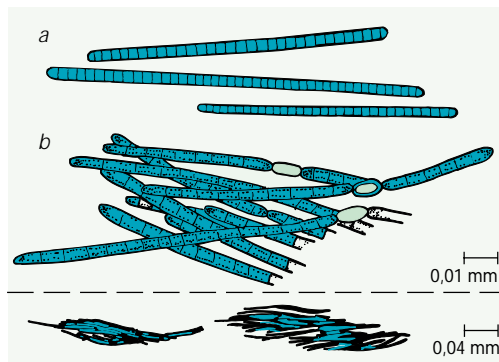


**Figur 17.**  
Opblomstring af *Microcystis*. Blågrønalgeopblomstringer ligner ofte grøn maling, men kan også gå over i gul-grålige nuancer eller være rødbrune. Opblomstringer i søer kaldes til tider for vandblomst.

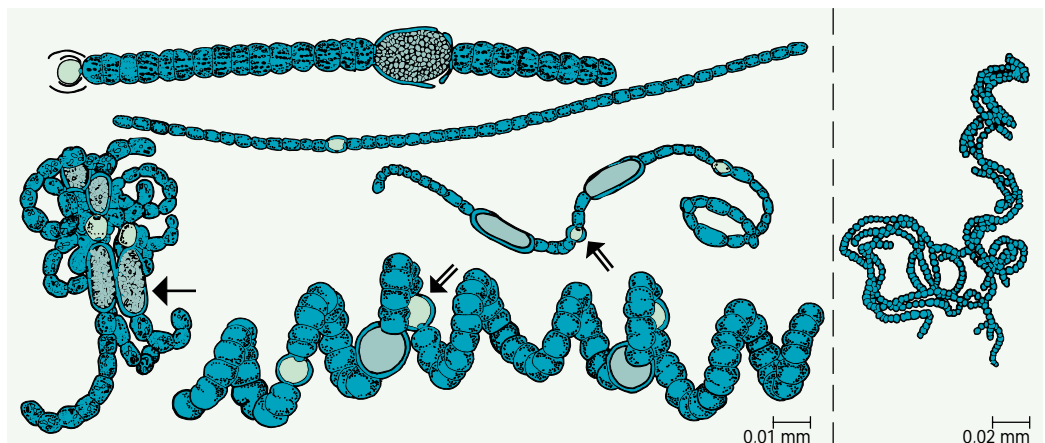


Foto: Helene M. Svendsen

**Figur 18.**  
*Planktothrix* (a) og *Aphanizomenon* (b) er begge trådformede blågrønalger. *Aphanizomenon* er karakteristisk ved at trådene ligger i tætte bundter. Bundterne er så store og tykke at de ses tydeligt med det blotte øje. *Aphanizomenon* findes også i Østersøen, hvor den er én af de dominerende slægter i blågrønalgeopblomstringer.



**Figur 19.**  
*Anabaena* er trådformede blågrønalger. På fagsprog kaldes trådene for trichomer. Flere arter er også kendt fra havvand. Pil = akinet. Dobbelpil = heterocyt.



*Anabaena* danner rette eller spiralsnoede tråde, hvilket inddrages i artsbestemmelsen (figur 19). Hos mange arter med spiralformede eller snoede tråde kan et stort antal tråde være samlet i karakteristiske op til flere millimeter store kolonier. Artsbestemmelse af *Anabaena* kan være uhyre vanskelig og er ofte kun mulig, når trådene har udviklet akineter. Nervegiftstofferne anatoxin-a og anatoxin-a(s) blev, som navnene antyder, første gang fundet hos slægten *Anabaena*. Senere har det vist sig, at slægten desuden kan producere PSP-gifte og levergifte af typen microcystiner (tabel 5).

De mest almindelige potentielt giftige arter er *Anabaena flos-aquae*, *A. lemmermannii*, *A. circinalis* og *A. spiroides*. I Danmark indeholder opblomstringer af *A. lemmermannii* ofte nervegifte (anatoxin-a(s) eller PSP-toksiner) eller microcystiner. Foruden i ferskvand er *Anabaena*-slægten også almindelig i Østersøen.

Slægten *Aphanizomenon* danner næsten udelukkende helt rette tråde, der hos nogle arter forekommer enkeltvis, men hos andre er samlet (parallelt) i bundter, der kan blive indtil flere mm lange (figur 18 b). Arten *Aphanizomenon flos-aquae* har i enkelte tilfælde i udlandet vist sig at producere PSP-gifte. En variant af denne art med mindre celle- og kolonidimensioner, *A. flos-aquae* var. *klebahnii*, forekommer meget hyppigt i danske søer, men toksinproduktion er aldrig påvist. En art, der ligner *A. flos-aquae* meget, er en væsentlig komponent i blågrønalgopblomstringerne i Østersøen. Heller ikke hos denne er der observeret giftstoffer. Det er der derimod hos den anden dominerende blågrønalge i Østersøen *Nodularia spumigena*. *N. spumigena* kendes bedst på dens meget korte celler (figur 24, side 35). Arten producerer levergiftstoffet nodularin.

Blandt de trådformede arter, der ikke har heterocyter og akineter, findes der både giftige arter i plankton og på sø- og havbunden (bentiske arter). Arter og slægter i denne gruppe adskilles bl.a. på trådbredden, forholdet mellem cellelængde og -bredde, celledelingsmønstre samt tilstedeværelse henholdsvis fravær af slimskede omkring trådene og tilstedeværelse af aerotoper i cellerne.

*Planktothrix agardhii* er den almindeligste af de giftproducerende planktoniske arter (figur 18 a). Den forekommer både i en grøn og en rød form, hvoraf den røde måske er en selvstændig art ved navn *P. rubescens*. Begge former kan danne masseopblomstringer fra tidlig sommer til sent efterår. Desuden giver den røde form lejlighedsvis store opblomstringer i vintermånederne, endda i nogle tilfælde under isdække.

De fleste danske opblomstringer af *Planktothrix* danner microcystiner (tabel 5). Nogle bentiske arter af *Oscillatoria* produ-

cerer også giftstoffer. Hvorvidt dette er almindeligt, er ikke undersøgt tilstrækkeligt. Artsbestemmelsen af de bentiske blågrøn-alger er vanskelig og gør, at de fleste beskrivelser af forekomst af giftige former kun angiver et slægtsnavn. De bentiske arter kan danne „tæpper“, der dækker bunden. Når dyr træder på dem, kan tæpperne hvirvles op i vandet. Hvis arterne i tæppet er giftige, er der i sådanne tilfælde risiko for forgiftning af dyr, der drikker af vandet, selvom vandet ikke er farvet som under opblomstringer af planktonformer. Der er også eksempler på, at dyr slikker på algetæpperne. Fra Danmark kendes et eksempel, hvor en hund døde inden for en time efter at have drukket vand fra en klarvandet sø uden umiddelbart synlige tegn på tilstedeværelse af blågrøn-alger. Det viste sig, at hunden havde slugt store mængder af stærkt nervegiftige bentiske blågrøn-alger. Tilsvarende er set gentagne gange i Skotland og Irland.

Tabel 5.  
Blågrønalgslægter, der vides at kunne producere lever- eller nervetoksiner.

Slægt	Levertoksiner	Nervetoksiner
<i>Anabaena</i>	Microcystiner	Anatoxin-a (#) Anatoxin-a(s) PSP-toksiner Uidentificerede (#)
<i>Anabaenopsis</i>	Microcystiner (#)	-
<i>Aphanizomenon</i>	Cylindrospermopsin (#)	PSP-toksiner (#)
<i>Cylindrospermopsis</i>	Cylindrospermopsin (#)	-
<i>Hapalosiphon</i>	Microcystin (#)	-
<i>Lyngbya</i>		PSP-toksiner (#)
<i>Microcystis</i>	Microcystiner	Anatoxin-a (☞)
<i>Nodularia</i>	Nodulariner	-
<i>Nostoc</i>	Microcystiner (#)	-
<i>Oscillatoria</i> (bentiske)	Microcystiner (#)	Anatoxin-a (#) Homoanatoxin-a Uidentificerede
<i>Planktothrix</i>	Microcystiner	Anatoxin-a (#) Uidentificerede (#)
<i>Pseudanabaena</i>		Uidentificerede
<i>Umezakia</i>	Cylindrospermopsin (#)	-

(#) Kun påvist uden for Danmark. (☞) Kun to rapporter fra Japan. De etablerede kulturer mistede med tiden evnen til produktion af anatoxin-a.

### Større giftige opblomstringer i danske farvande

Flere arter danner regelmæssigt større opblomstringer i danske farvande (tabel 4, side 17). Blandt disse er furealgen *Gymnodinium mikimotoi* og blågrønalgerne *Nodularia spumigena* og *Aphanizomenon* sp. *G. mikimotoi* ses i det tidlige efterår, mens blågrønalgerne når de største mængder i sensommeren. *Gymnodinium mikimotoi* blev første gang set i større antal i midten af 1960'erne, hvor den dannede opblomstringer i Nordsøen. Siden var arten knyttet til Skagerrak og Kattegat, og af ukendte årsager er opblomstringerne i 1990'erne koncentreret til Kattegat. Algen hæmmer de andre planktonorganismer og slår bunddyr og fisk ihjel (boks 5, side 49). *Nodularia's* giftstoffer er humantoksiske. Hvorvidt opblomstringer i danske farvande har givet symptomer hos mennesker vides ikke, mens flere hunde er døde efter kontakt med blågrønalgerne. Normalt er blågrønalgeopblomstringerne begrænset til Østersøen og de sydøstligste dele af de danske farvande, men under særlige vejrforhold kan algerne spredes op i Kattegat. *Prorocentrum minimum* er en meget almindelig opblomstrende sommerart i fjorde

**Figur 20.**  
Masseopblomstring af *Noctiluca*. Til tider bliver algebiomassen så høj, at algerne farver vandet, og vi får det man internationalt kalder "red tides"; et misvisende udtryk fordi opblomstringerne ikke nødvendigvis er røde, og intet har at gøre med tidevand.



Foto: Helene M. Sørensen

og kystområder. Arten blev første gang registreret i høje koncentrationer i 1981. Der er aldrig konstateret gifteffekter af algen i danske farvande. I Nordsøen er især opblomstringer af de skadelige men ikke giftige *Phaeocystis* og *Noctiluca* almindelige. *Phaeocystis* er årsag til den voldsomme skumdannelse, som til tider ses langs den jyske vestkyst om foråret og forsommeren (figur 13). Skummet dannes af den slim, der holder kolonierne sammen (figur 13). Algen har af ukendte årsager været mindre udbredt i 1990'erne end tidligere.

Store opblomstringer af andre giftige flagellater er sporadiske. Tilsyneladende er vækstforholdene kun sjældent særligt gunstige for disse arter. I danske farvande har fire slægter dannet markante opblomstringer, som var udbredt over større geografiske områder. Det er karakteristisk for opblomstringerne, at de optrådte i forsommeren. I 1983 blev der observeret fiskedød i Lillebæltsområdet under en opblomstring af *Dictyocha speculum*. Der er senere rejst tvivl om algen var giftig, da det ikke har været muligt at påvise giftproduktion. Sandsynligvis døde fiskene af iltmangel, som følge af algernes store iltforbrug om natten. Opblomstringen af haptophyten *Chrysochromulina polylepis* i maj-juni 1988 dækkede store dele af Kattegat og Skagerrak. Nord for Djursland nåede cellekoncentrationen op på 100 millioner celler pr liter. Opblomstringen slog fisk, andre dyr samt planter ihjel. I 1992 og 1993 gav arten sammen med andre *Chrysochromulina*-arter opblomstringer i Lillebælt. I forbindelse med opblomstringerne døde fisk i havbrug. I sommeren 1992 dannede kiselalgen *Pseudo-nitzschia pseudodelicatissima* en større længerevarende opblomstring i Kattegat og nogle fjordområder. Der blev ikke observeret gifteffekter, men senere analyser på kulturer viste, at de danske populationer kan producere giftstoffer.

*Chattonella*-opblomstringen i maj 1998 er den seneste større og usædvanlige opblomstring, der er set i danske farvande. Den var udbredt langs Jyllands vestkyst og i Skagerrak. I forbindelse med opblomstringen blev der fundet mange døde hornfisk.

## Nye arter tilføjes stadigt

Antallet af kendte giftige planktonalger er steget betydeligt inden for de seneste 20 år, og der føjes hele tiden nye arter til listen. Stigningen skyldes ikke mindst, at opmærksomheden om tilstanden af vore vandmiljøer, og derunder forekomsten af giftige alger, er øget mange steder i verden. En anden faktor der spiller ind er, at den øgede tilførsel af næringsstoffer, som er foregået i den sidste halvdel af det 20. århundrede, har øget mængden af planteplankton. Dermed er mængden af giftige alger uden tvivl også øget, og jo flere individer der er af en art, jo større er chancen for at arten og specielt dens eventuelle giftvirkninger bliver observeret. En tredje faktor der har været med til at øge listen over giftige arter i forskellige dele af verden, er den øgede kontakt (transport) mellem verdensdelene, som har spredt giftige - og andre - arter til nye levesteder.

## Ballastvand er en vigtig spredningskilde

Ballastvand i skibe anses for at være en væsentlig spredningskilde for giftige alger i dag. Da mange planktonalger har et cystestadium i deres livscyklus (figur 29, side 39), kan de overleve flere år i mørket i havbunden - eller i ballasttanke. Ballasttanke kan indeholde hundrede millioner cyster af giftige alger, og hvis tankene tømmes et sted, hvor vækstforholdene passer til algens krav, spirer cysterne, og algen har fået et nyt voksested.

Den danske havforsker C.J. Ostfeld var den første, der blev opmærksom på denne

spredningsmekanisme, da han i starten af dette århundrede undersøgte, hvordan kiselalgen *Odontella* (tidl. *Biddulphia*) *sinensis* i en årrække pludselig kunne optræde i plankton i Nordsøen, mens den tidligere kun var kendt fra Stillehavet. Introduktionen af *Odontella* havde ikke nogen umiddelbare effekter, hvorimod introduktionen af en anden kiselalge, *Coscinodiscus wailesii*, stadig giver problemer for fiskere langs den jyske vestkyst. Den klassiske illustration af ballastvandets betydning stammer fra Tasmanien. Her var muslingeforgiftninger af typen PSP ikke kendt før 1980'erne, hvor flere arter, bl.a. furealgen *Gymnodinium catenatum*, dannede giftige opblomstringer. Algerne var nyindvandrede. Cyster af algerne blev senere påvist i ballastvand i skibe fra mulige „moderlande“ i Østasien. For at nedsætte risikoen for spredning via ballastvand anbefaler den internationale maritime organisation IMO i dag, at ballastvand udskiftes på dybt vand langt fra kystområderne. Derved undgår man at flytte arter fra et kystområde til et andet. Risikoen for at starte en giftig opblomstring på det dybe vand er lille, fordi oceanerne er næringsfattige. Endnu er det frivilligt, om rederierne vil følge denne anbefaling, og det er usikkert i hvor høj grad det sker.

Figur 21. Oceangående skibe spreder med deres ballastvand planktonalger mellem verdensdelene.

Manglende  
ophavsret  
til  
Internettet

Andre metoder bliver i øjeblikket afprøvet, for eksempel anvendelse af spildvarme fra skibsmotorerne til opvarmning af vandet til temperaturer, der slår cysterne ihjel. Et generelt problem er at de kendte metoder, som kan nedsætte risikoen for at cysterne overlever, alle er fordyrende for skibstrafikken, hvorfor det er svært få gennemført bindende restriktioner.

Alger kan også spredes med levende muslingekulturer, der kan indeholde store koncentrationer af algeceller og cyster. Denne type spredning menes at være forklaringen på pludselig forekomst af nye planter og dyr i mange områder. I løbet af de seneste 15 år er der i Danmark indført østers til akvakulturer i Isefjorden og Limfjorden, og de japanske østers er sandsynligvis årsagen til at der i dag vokser *Sargassum*-tang i Limfjorden.

### Mange faktorer bestemmer artsammensætningen

Eutrofieringen har ikke kun givet en øget næringssalttilførsel, men har også påvirket det relative forhold mellem næringsstofferne. Begrænsningen af belastningen, som gennemføres mange steder i verden i dag, vil igen medføre ændringer i næringsstofforholdene. Et spørgsmål der i dag optager mange forskere er, om forholdet mellem kvælstof- og fosfornæringssaltene er bestemmende for artssammensætningen og for de giftige arters succes. Arternes nicher i planktonalgesamfundet er bestemt af en mosaik af mange til dels ukendte faktorer, og selv små ændringer i vækstbetingelserne kan være afgørende for en arts succes. Bliver vækstraten bare 10% større end konkurrenternes, kan den hurtigtvoksende art blive dominerende i løbet af få uger.

Siden starten af 1950'erne er den menneskeskabte tilførsel af kvælstof og fosfor steget i mange vandområder, mens der ikke er sket

en tilsvarende udvikling i tilførslen af kisel. Specielt arter, der ikke bruger kisel - og det gælder størstedelen af de giftige alger - har derfor haft fordel af den øgede mængde af næring. I Nordsøen er betydningen af flagellater, der ikke behøver kisel, da også øget, og masseopblomstringer af den skadelige flagellat *Phaeocystis* langs den hollandske Nordsøkyst er kædet sammen med den stigende mængde af kvælstof og fosfor. Da mængden af fosfor er steget mere end kvælstof, har kvælstofbegrænsning sandsynligvis også haft betydning for algens fremgang.

Specielt for de giftige alger kan underskud af fosfor øge giftigheden hos flere arter, og fosforbegrænsning kan derved give nogle alger en konkurrencemæssig fordel. I danske farvande ses opblomstringer af fiske-dræbende flagellater som *Prymnesium*, *Chrysochromulina* og *Chattonella* hyppigst i det sene forår og først på sommeren (april-maj), hvor risikoen for fosforbegrænsning er størst, men det er endnu ikke vist, hvor stor betydning dette har for algernes succes.

Mikronæringsstoffer kan sandsynligvis også være afgørende for artssammensætningen. I de seneste år har flere undersøgelser vist, at øget tilførsel af for eksempel selen og jern kan fremme væksten af visse arter. Dertil kommer betydningen af faktorer som temperatur, saltholdighed, lys, græsningstryk (nogle alger er bedre føde end andre) og tilførslen af organisk stof. Sidstnævnte kan bl.a. øge tilgængeligheden af mikronæringsstoffer.

### Mange blågrønalger i søer, få i havvand

Effekten af eutrofieringen er tydelig i artssammensætningen i ferskvand, hvor blågrønalger og grønne alger har fået stor betydning med den stigende mængde nærings-

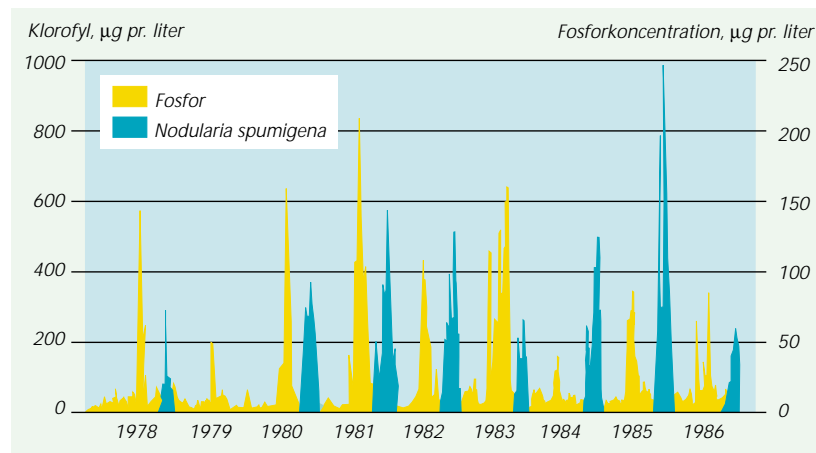
stoffer. Da mange blågrønalger producerer giftstoffer, øger denne succession risikoen for giftige opblomstringer. Blågrønalger vokser langsomt, men andre egenskaber gør, at de klarer sig godt i konkurrencen med de øvrige alger i næringsrige søer. Den høje primærproduktion i disse søer giver et lavt CO<sub>2</sub>-indhold med deraf følgende høje pH-værdier og begge dele favoriserer blågrønalger. Dertil kommer at mange græssere ikke æder blågrønalger og græsningstrykket på dem er derfor lavt. Endelig kan mange blågrønalger optage fri kvælstofgas og omdanne det til nitrat og ammonium og derved dække deres behov for kvælstof, selv når der er mangel på kvælstofsalte.

I betragtning af blågrønalgerne evne til at optage kvælstofgas synes det mærkeligt, at der kun er få tempererede havområder med større opblomstringer. Mange kystnære havområder har ellers i sommerperioden lave kvælstofkoncentrationer i forhold til fosfor, og det skulle fremme alger, der kan optage kvælstofgas. Endnu har forskerne ikke fundet en entydig forklaring på dette. I den danske miljødebat diskuteres det undertiden om reduktionen i kvælstofbelastningen og deraf følgende lavere N:P forhold i tilførslerne kan give blågrønalgeopblomstringer i Kattegat svarende til dem, vi ser i Østersøen. Sådanne opblomstringer er dog usandsynlige, da Kattegat er et gennemstrømningsområde med en stor vandudskiftning. De langsomtvoksende blågrønalger kan derfor ikke nå at opbygge store biomasser. Tilførslen af fosfor har også betydning. I danske søer ses en tæt sammenhæng mellem forekomsten af blågrønalger og fosforkoncentrationen. I Peel-Harvey deltaet i Vestaustralien er der også en tydelig sammenhæng mellem opblomstring af blågrønalgen *Nodularia spumigena* (Figur 22) og tilførslen af fosfor. Fosfortilførslen til Kattegat er imidlertid ikke af samme størrelsesorden som i disse vandområder. Endelig spiller saltholdigheden

en rolle. Opblomstringerne i Østersøen er domineret af *Nodularia spumigena* og *Aphanizomenon* sp., som begge gror dårligt ved de høje saltholdigheder, der findes i Kattegat (normalt over 20‰). Miljøforholdene i Kattegat er således ikke egnede for blågrønalger. Dertil kommer at det i Danmark, ligesom i mange andre lande, er målet at nedsætte både kvælstof- og fosforbelastningen.

De giftige alger omfatter forskellige systematiske grupper, celle størrelser, morfologi og giftstoffer. Den store diversitet er ensbetydende med, at der ikke findes ét fælles sæt af karakteristika, som kan forklare disse arters forekomst. De giftige alger indgår i de funktionelle grupper i planktonalgesamfundene, og bortset fra giftproduktionen fungerer de som andre planktonalger. Endnu er kendskabet til de giftige algers økologi ikke tilstrækkeligt til at opstille pålidelige modeller, som kan bruges til prognoser for, hvornår de giftige alger blomstrer op. Øget kendskab til arternes nicher og reguleringen af artssammensætning og biomasse er nødvendigt for at bedre forståelsen af vandmiljøernes økosystemer, og dermed muligheden for at forudse udviklingen - og ikke mindst virkningen af ændrede menneskeskabte påvirkninger.

Figur 22. Tidslig variation i fosfortilførsel og forekomst af *Nodularia spumigena* i Peel-Harvey, Australien (modificeret efter Hallegraeff 1993).



# Giftstofferne

De sidste 20 års forskning har givet megen ny viden om de giftige alger og deres giftstoffer, men adskillige spørgsmål mangler stadig at blive besvaret, og mange aspekter af stoffernes kemi, biosyntese, regulering og virkemåder er endnu ikke afklarede. En af årsagerne til dette er mangel på metoder til at analysere giftstofferne. En forudsætning for at udvikle sådanne metoder er, at den kemiske struktur af stofferne er kendt, og opklaringen af den kemiske struktur hos en „ny“ giftig alge kan tage mange år. Dertil kommer at en del af de giftige arter er svære at dyrke i kultur, samt at nogle arter af ukendte årsager mister deres giftighed under laboratorieforhold.

## Hvorfor producerer algerne giftstoffer?

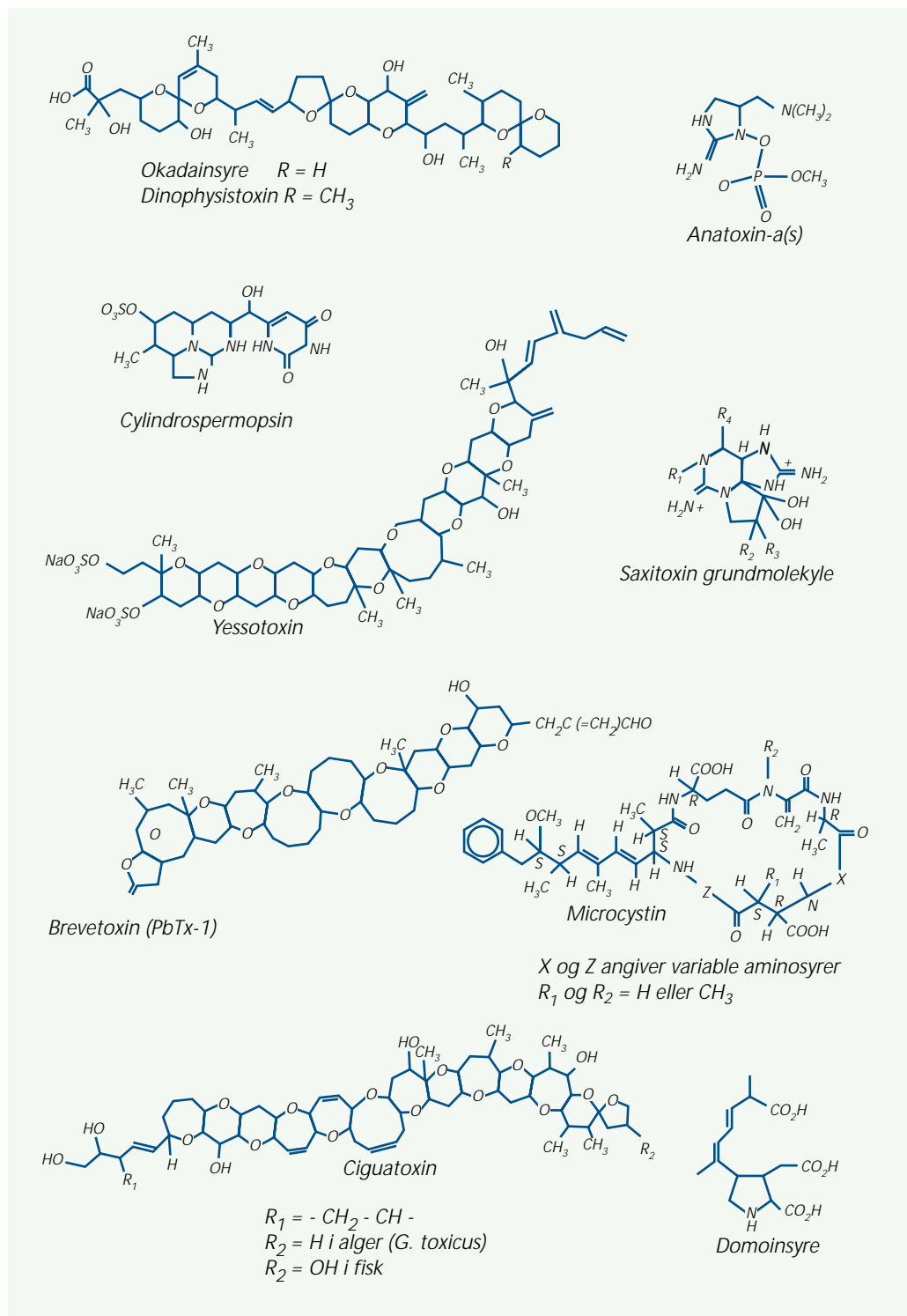
Et spørgsmål, der stadig giver anledning til spekulationer, er: Hvorfor producerer algerne giftstoffer? Der er fremsat mange teorier om dette, men endnu er der ikke klarhed over giftstoffernes funktion eller funktioner.

PSP- og cyanogiftstofferne er rige på kvælstof. En forklaring er derfor, at giftstofferne er kvælstofreserver, som cellerne kan bruge, hvis kvælstofkoncentrationen i vandet bliver meget lav. Imidlertid er det usandsynligt, at cellerne bruger store mængder energi på at producere komplekse reserve-stoffer, når de i stedet kan opmagasinere kvælstoffet i form af simple energimæssigt billigere aminosyrer. En af de nyeste teorier er, at PSP-giftstofferne hos furealgerne er pheromoner, dvs. stoffer der tiltrækker artsfæller. Giftstofferne skulle således sikre at celler mødes, så der kan ske en kønnet formering. Baggrunden for teorien er, at

både den kønede formering (figur 29, side 39) og udskillelsen af giftstoffer til det omgivende miljø initieres af dårlige vækstforhold. Cyanogiftstoffet microcystin spiller måske en rolle i optagelsen af mikronæringsstoffer, idet giftstoffet binder metaller til sig, og dermed fremmes de giftige blågrønalgers evne til at optage f.eks. jern.

DSP- og beslægtede giftstoffer hæmmer bakterier og svampe, og algerne kunne bruge stofferne til at undgå svampeangreb eller nedsætte konkurrencen fra bakterierne om næringsstoffer. I kritiske faser af cellernes livscyclus kan det være specielt nyttigt, at bakterieaktiviteten hæmmes. Generelt gror alger imidlertid bedst, når der er bakterier til stede i vandet, så det synes ikke fordelagtigt at syntetisere stoffer med det formål at fjerne bakterierne.

Den hyppigst fremsatte teori er, at giftstofferne er allelopatiske forbindelser, dvs. en kemisk forsvarsmekanisme mod konkurrerende planktonalger og græssere. Giftstofferne skulle således „skræmme“ græsserne, så græsningen mindskes. Det er en umiddelbart fristende forklaring, da græsserne ofte bliver mindre aktive eller helt forsvinder under masseopblomstringer af giftige alger. Der er imidlertid også mange eksempler på græssere, der ikke påvirkes. Nogle algegiftstoffer akkumuleres endvidere gennem fødenettet, så det i højere grad er organismernes øverst i fødekæderne der påvirkes. Giftene kan således give tilbageslag, fordi algerne slår de dyr ihjel, der æder deres græssere. I sidste ende kan resultatet derfor blive, at antallet af algegræssere stiger. Giftstoffernes effekter på andre alger varierer også meget. Virkningen afhænger af giftstoffet, og et givent



Figur 23. Eksempler på kemisk struktur af algegiftstofferne er bygget over den viste struktur af saxitoxin med forskellig kemisk sammensætning af R1-R4.



giftstof er kun aktivt over for nogle arter. Dertil kommer at det i nogle tilfælde er ikke-giftige arter, der hæmmer de giftige alger og ikke omvendt. Det er derfor ikke sandsynligt, at allelopati er en *generel* forklaring på giftstoffernes eksistens.

En væsentlig årsag til, at der kan fremsættes så mange teorier, og at teorierne passer på nogle arter, men ikke på andre, er formentlig, at der ikke findes én forklaring. Giftstofferne tilhører forskellige kemiske typer med forskellige egenskaber, og de har derfor også forskellige funktioner. Uanset hvilken funktion giftstofferne har, må de give algerne konkurrencemæssige fordele. Mange af giftstofferne er store komplekse molekyler, som syntetiseres ved komplekse metaboliske processer under stort energiforbrug. Hvis giftstofferne var nytteløse, ville den evolutionære selektion have sørget for at de var forsvundet, så der ikke på den måde blev sløset med ressourcerne.

### De kemiske forbindelser

Algegiftstofferne tilhører forskellige kemiske grupper, der spænder fra små simple til store komplekse molekyler (figur 23). De humantoksiske forgiftningstyper PSP, DSP and NSP omfatter hver en række nært beslægtede giftstoffer, der indbyrdes kan omdannes til hinanden. Indenfor PSP-komplekset kendes således omkring 20 forskellige forbindelser, hvoraf den meget giftige forbindelse saxitoxin (figur 23) er den bedst kendte. Saxitoxin har på grund af sin store giftighed haft militær interesse som kemisk våben. De 20 giftstoffer er ikke lige giftige, og algernes giftighed afhænger derfor af, hvilke stoffer de producerer, og hvor meget de indeholder af hver forbindelse.

Alle PSP-giftene er nervegifte, der påvirker centralnervesystemet. De virker ved at forhindre overførsel af impulser mellem ner-

ve- og muskelceller. På celleniveau sker dette ved at giftstofferne hæmmer den såkaldte natriumpumpe.

Mange algegiftstoffer hører til samme kemiske type, de såkaldte polyætere, men deres virkemåder er vidt forskellige. NSP- og CFP-giftene er nervegifte, og virker dermed overordnet set som PSP-giftene. Effekten på centralnervesystemet skyldes imidlertid en overstimulering af natriumpumpen. Kemisk set hører de 2 giftkomplekser til samme gruppe af polyætere, men de dannes af forskellige algearter. NSP-giftene kaldes også brevetoksiner, fordi de først blev beskrevet hos furealgen *Gymnodonium breve*.

DSP-giftstofferne er derimod ikke nervegifte. De virker ved at hæmme specifikke enzymsystemer i cellerne. Effekterne heraf er bl.a. langvarig sammentrækning af de glatte muskler og nedbrydning af epithelceller i tarm, lever m.m. De vigtigste giftstoffer er okadainsyre og dinophysistoxin-1. Som for PSP-giftene er det karakteristisk, at giftigheden veksler mellem de forskellige forbindelser.

Cyanogiftstofferne er en samlebetegnelse for en række giftstoffer, hvis fælles træk er, at de produceres af blågrønaler. De er ikke kemisk relaterede, og kan ikke omdannes til hinanden. De bedst undersøgte cyanogiftkomplekser er microcystiner, nodulariner og cylindrospermopsin samt anatoxiner, hvor de tre første grupper er levergifte og den sidste nervegifte. Virkemåden og effekterne af levergiftene minder om DSP-giftene, og microcystinerne og nodularinerne hæmmer de samme enzymsystemer. Som navnet antyder angriber de specielt leveren. Kemisk set er microcystinerne og nodularinerne peptider, mens cylindrospermopsin er et alkaloid. Nogle af anatoxinerne er ligeledes alkaloider, men gruppen omfatter også andre kemiske typer. Udover lever- og nervegifte producerer blågrøn-

algerne en række andre giftstoffer som cytotoxiner og liposaccharid(LSP)-endotoksiner, men kendskabet til deres kemi og effekter er meget begrænset. De enkelte blågrønalgearter kan producere flere forskellige typer cyanogiftstoffer og i enkelte tilfælde også PSP-giftstoffer.

De fisketoksiske forbindelser er dårligt undersøgt, og kendskabet til deres kemiske struktur og præcise virkemåder er derfor meget begrænset. Mange fisketoksiske arter producerer tilsyneladende galactolipider, der har hæmolytiske effekter, hvilket vil sige, at de sprænger røde blodceller. Effekten har tidligere været brugt som indikation på tilstedeværelse af fisketoksiske alger, men det har vist sig at ikke-giftige arter også kan give hæmolytisk effekt. Hos flere arter er der ligeledes fundet såkaldte superoxid radikaler og polyætere. Til de sidste hører gymnodimin, der kendes fra *Gymnodinium mikimotoi*, og prymnesin, der produceres af arter af *Prymnesium*. Som det fremgår af tabel 6 er prymnesin en af de kraftigst virkende biogifte. NSP-giftene er som tidligere beskrevet også stærkt giftige for fisk.

Uanset giftstoffernes natur er den væsentligste effekt på fiskene sandsynligvis, at deres iltoptagelse gennem gællerne hæmmes. Giftstofferne påvirker især epithelceller på gæller og i mavetarmsystemet. De ødelægger cellernes osmoregulering, hvilket reelt vil sige at de bliver utætte, så de dør og epithelerne løsnes fra de organer, som de omgiver. Ofte er den første reaktion hos fiskene, at de danner store mængder slim på gællerne.

### Giftigheden varierer

Den enkelte art producerer kun et udvalg af giftene inden for et giftkompleks. Der er således ingen PSP-producenter, der syntetiserer alle 20 PSP-gifte. Sammensætningen af giftstoffer er som regel konstant, mens både den totale mængde af giftstoffer og mængden af de enkelte giftstoffer kan variere. Der er derfor store variationer i den enkelte arts giftighed.

Mængden af giftstoffer afhænger af, hvor i celle- og livscyclus algen er. Hos arter med hvilecyster (figur 29, side 39) er det undertiden cysterne, der er mest giftige. Sådanne

Giftstof	Biologisk kilde	Relativ giftighed
Muscarin	Rød Fluesvamp ( <i>Amanita muscaria</i> )	9
Okadainsyre	Furealger (f.eks. <i>Dinophysis</i> )	50
Domoinsyre	Kiselalger (f.eks. <i>Pseudo-nitzschia</i> ) Rødalger (f.eks. <i>Chondria armata</i> )	80
Nodularin	Blågrønalgen <i>Nodularia spumigena</i>	200
Microcystin-LR	Blågrønalger (f.eks. <i>Microcystis aeruginosa</i> )	230
Prymnesin	Haptophyter (f.eks. <i>Prymnesium parvum</i> )	350
Cobra-gift	Cobra slanger	500
Anatoxin-a(s)	Blågrønalger (f.eks. <i>Anabaena flos-aquae</i> )	500
Saxitoxin	Furealger (f.eks. <i>Alexandrium tamarense</i> ) Blågrønalger (f.eks. <i>Anabaena circinalis</i> )	1.100
Ciguatoxin	Furealger (f.eks. <i>Gambierdiscus toxicus</i> )	22.000
Botulinum toksin	Bakterien <i>Clostridium botulinum</i> (=pølseforgiftning)	333.000.000

Tabel 6. Algegiftens giftighed sammenlignet med andre biogifte. Giftigheden er vurderet i forhold til giftstoffet kaliumcyanid, der er sat til giftigheden 1. Det mest giftige giftstof på listen er botulinum toksin, der er 333 millioner gange mere giftigt end kaliumcyanid.

arter påvirker således ikke kun dyr, der lever af plankton, men også dyr, der græsser på sø- og havbunden. På trods af den høje giftighed medfører cysterne ikke masedød hos bunddyrene - måske fordi der er rigelig anden føde, og dyrene er i stand til at undgå cysterne.

Giftigheden afhænger også af vækstforholdene. Generelt påvirkes giftproduktionen af de samme faktorer som væksten, dvs. af lys, temperatur, saltholdighed, næringsstoffer etc. Specielt kan tilgængeligheden af kvælstof og fosfor have stor indflydelse. Især stress som følge af mangel på fosfor stimulerer som nævnt syntesen hos mange arter. Tilstedeværelse af bakterier kan tilsyneladende også fremme giftproduktionen.

Så længe algerne er friske, forbliver giftstofferne normalt inde i cellerne (boks 2). Først under forringede vækstforhold bliver cellerne „utætte“ eller dør, så der lækker gifte ud i vandet. I dette stadium kan giftprofilen også ændres mod mere vandopløselige forbindelser, så diffusionen ud i vandet øges yderligere. I naturen betyder

det, at så længe cellerne har det godt, virker giftene hovedsageligt ved direkte kontakt som græsning.

Ikke alle individer af en giftig art er tilsyneladende i stand til at producere giftstoffer. Derfor er en arts tilstedeværelse i plankton ikke ensbetydende med tilstedeværelsen af algegifte. Opblomstringer i ét geografisk område kan således være giftige, mens de aldrig giver problemer i andre områder. Baggrunden for disse forskelle kan være genetiske variationer, men små og ukendte forskelle i væstkårene kan også spille ind.

### Giftstofferne er "opstået" flere gange

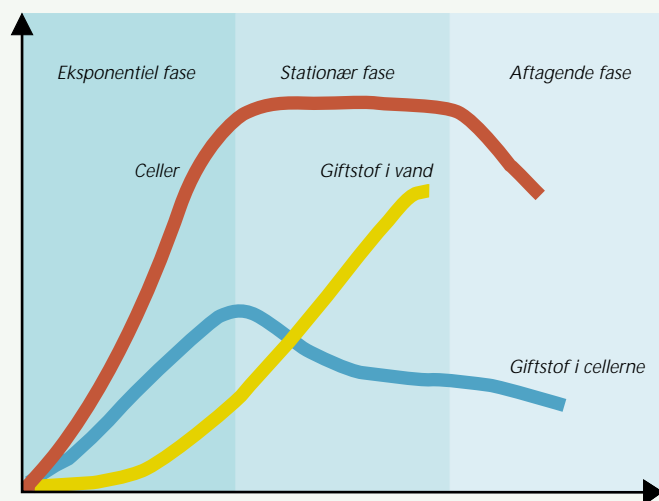
De samme eller næsten ens giftstoffer optræder hos arter, der tilsyneladende ikke er beslægtede. Eksempler på dette ses hos haptophyten *Chrysochromulina polylepsis* og furealgen *Gymnodinium mikimotoi*, hos furealgearter slægterne *Dinophysis* og *Prorocentrum*, hos furealgen *Gymnodinium breve* og raphidophyceen *Chattonella* samt hos arter af rødalger og kiselalger inden for slægten

#### Boks 2.

Algernes giftighed varierer med vækstfasen.

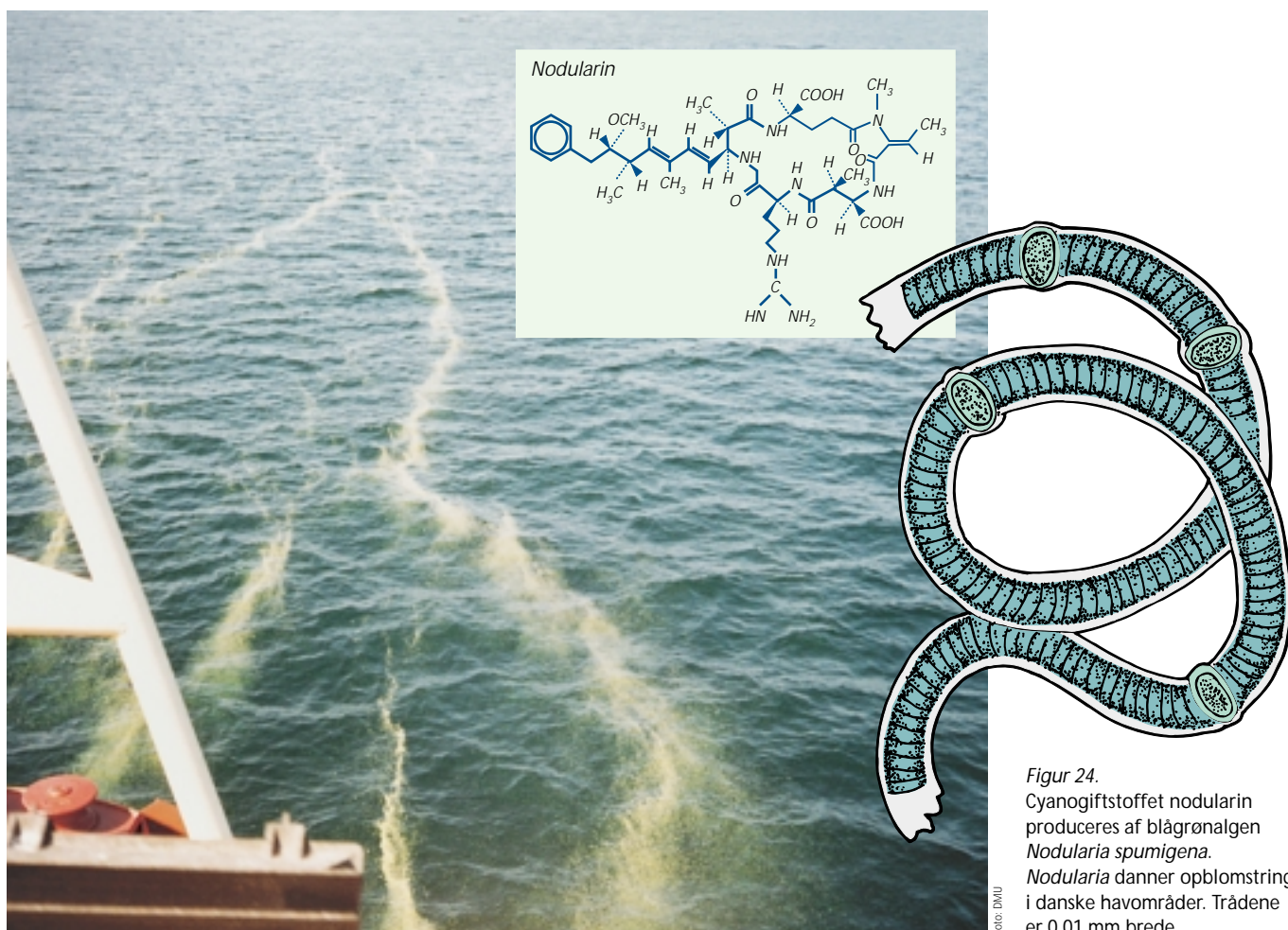
En algepopulations vækst kan inddeles i 3 faser: Den eksponentielle, den stationære og den aftagende. I den eksponentielle fase har algerne tilstrækkeligt lys og næring til vækst og celledeling, og antallet af celler øges. I den stationære begrænses algernes vækst, fordi der ikke er lys nok (de mange celler skygger for hinanden), eller mængden af næringsalte og/eller andre næringsstoffer bliver utilstrækkelig. I starten opretholdes en ligevægt, men til sidst dør cellerne (den aftagende fase).

På figuren er cellernes og det omgivende vands indhold af giftstoffer illustreret. Hos flere arter er mængden af algegift størst i den periode hvor væksten klinger af, dvs. i den sene eksponentielle og tidlige stationære fase. Andre arter har størst indhold i den eksponentielle fase (f.eks. PSP-producenter), og endelig er mængden af giftstof i nogle tilfælde højest i den stationære fase.



*Pseudo-nitzschia*. Det mest kendte eksempel på vidt forskellige organismer, der danner identiske giftstoffer, er PSP-producenterne. PSP-giftstofferne dannes af såvel heterotrofe bakterier, blågrønalger og to grupper furealger, der ikke er nærmere beslægtede (arter af slægterne *Alexandrium* og *Pyrodinium* samt *Gymnodinium catenatum*). Man antog en overgang, at giftstofferne hos furealgerne blev produceret af bakterier som levede inde i cellerne. En eftersøgning af bakterierne inden i algecellerne viste imidlertid, at giftigheden ikke hænger sammen med forekomsten af bakterier.

Der er mindst to mulige forklaringer på dette fænomen. Dels kan generne til dannelse af giftstofferne tænkes at være opstået uafhængigt flere gange under livets udvikling. En anden mulighed er, at generne, som styrer syntesen af giftene, er overført mellem organismerne. Da furealgerne opstod i forhistorisk tid fik de deres kloroplaster fra omdannede blågrønalger. Det er derfor nærliggende at tænke sig, at nogle af disse blågrønalger var giftige, og at deres evne til at producere PSP-gifte blev overført til furealgerne. Om én af disse muligheder eller en helt tredje er forklaring på fænomenet vides ikke.



Figur 24.  
Cyanogiftstoffet nodularin produceres af blågrønalgen *Nodularia spumigena*. *Nodularia* danner opblomstring i danske havområder. Trådene er 0,01 mm brede.

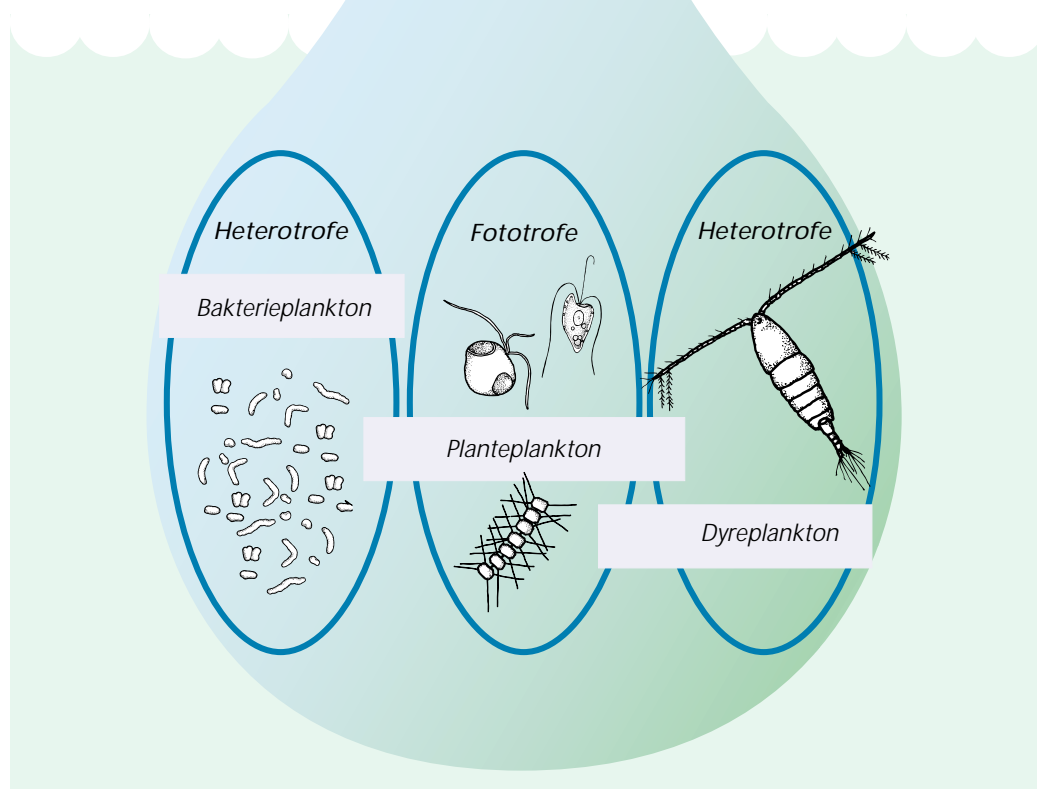
Foto: DNU

# Havets græs

For at forstå de giftige planktonalgers forekomst og effekter må man betragte dem i forhold til den verden - det økosystem - de lever i. Hvad er deres funktion i økosystemet? Hvilken rolle spiller de? De følgende kapitler giver en beskrivelse af planktonalgenes funktion og af årsagerne til planktonalgeopblomstringer.

Undersøges en dråbe fra en sø eller fra havet under mikroskop, åbenbares et myldrende liv af alger, dyr og bakterier.

Langt de fleste af organismene er så små, at de ikke kan ses med det blotte øje. Dette usynlige liv af fritsvævende organismer kaldes plankton efter det græske ord planktos, der betyder omflakkende. Da mikroorganismene udgør over 98% af alle organismer i vand og 70% af jordens overflade er dækket af vand, er plankton en af de vigtigste organismetyper på jorden.



*Figur 25.* Plankton deles ofte op i grupper efter deres levevis. Fototrofe organismer laver fotosyntese og optager opløst uorganisk kulstof i form af kuldioxid (DIC), mens heterotrofe enten lever af opløst organisk kulstof (DOC) eller af organisk kulstof bundet i partikler (POC). Som beskrevet i teksten har nogle organismer dog et ben i flere lejre.

## Planktonorganismene har forskellige funktioner

Planktonorganismene kan opdeles efter slægtskab, men for at forstå økologien i vandmiljøet er det vigtigt at se på organismernes funktioner og indbyrdes relationer. Set fra en funktionel synsvinkel består planktonsamfundet af fototrofe organismer (alger), der ved hjælp af lysenergi danner organisk stof, og heterotrofe organismer, der optager organisk stof (figur 25 og figur 28). De heterotrofe organismer kan igen deles op i organismer, der lever af opløst organisk stof, og organismer, der lever af organisk stof i fast form, dvs. æder andre organismer. Sidstnævnte kaldes også „græssere“. Det opløste organiske stof udskilles af planktonorganismene, mens de vokser, og spildes, når de heterotrofe organismer græsser. Også når organismene dør, opløses der organisk stof i vandet.

De tre funktionelle grupper i plankton betegnes planteplankton, bakterieplankton og dyreplankton. Grænserne mellem grupperne er imidlertid ikke skarpe, og nogle organismer har så at sige et ben i flere lejre. For eksempel har en gruppe ciliater (= dyreplankton) specialiseret sig, så de lever både heterotroft og fototroft. Gennem de seneste ti år har undersøgelser desuden vist, at mange planktonalger er mixotrofe, hvilket vil sige at de opbygger organisk stof ved hjælp af lysenergi, men tillige kan optage opløst og fast organisk stof fra det omgivende miljø. Endelig omfatter algerne én gruppe, blågrønne algerne, som egentlig er bakterier og derfor også kaldes cyanobakterier, men som er fototrofe organismer.

## Planteplankton vokser ved at blive flere

Alle planktonalger formerer sig ved celledeling. Det kaldes ukønnet eller vegetativ formering. Delingshastigheden afhænger af arten, men kan også variere meget for den enkelte art, fordi delingerne bl.a. er styret af temperaturen og af tilgængeligheden af næringsstoffer og lys. Hurtigtvoksende arter kan have flere celledelinger på et døgn, mens der hos langsomtvoksende kan gå flere dage imellem delingerne. De fleste arter deler sig til to celler, der efter et stykke tid igen hver især deler sig i to, osv., osv. (figur 29). Nogle arter kan dog ved delingen danne fire eller otte celler. Det gælder især grønne alger. Cellestørrelsen varierer mellem celledelingerne, fordi cellerne vokser i tiden op til delingen, mens de lige efter delingen er mindre end modercellen. Derudover er modercellen og døtrecellerne ens.

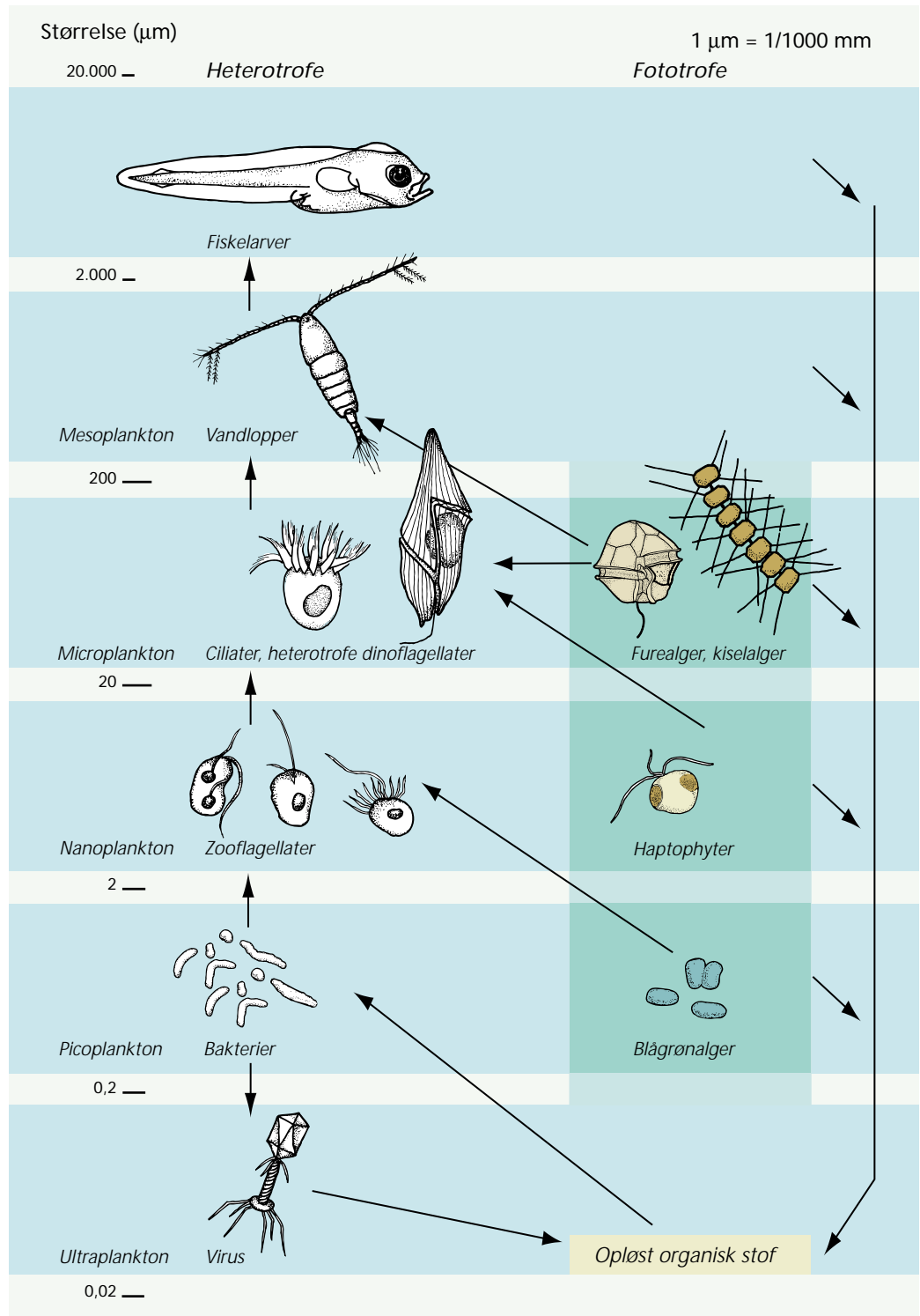


Foto: Westpac-IOC-Harmful Algal Bloom Programme

**Figur 26.** Mængden af planktonorganismer i en mundfuld havvand. Størrelsen af planktonorganismene varierer fra under en tusindedel millimeter til få millimeter. Bakterier og virus er de mindste og mest talrige, og dyreplankton er de største og mindst talrige. Det totale antal organismer er nogenlunde konstant, men fordelingen mellem de forskellige typer organismer varierer med årstiden. Alger, bakterier og virus er en naturlig del af livet i havet, der normalt ikke er en sundhedsfare for os mennesker.



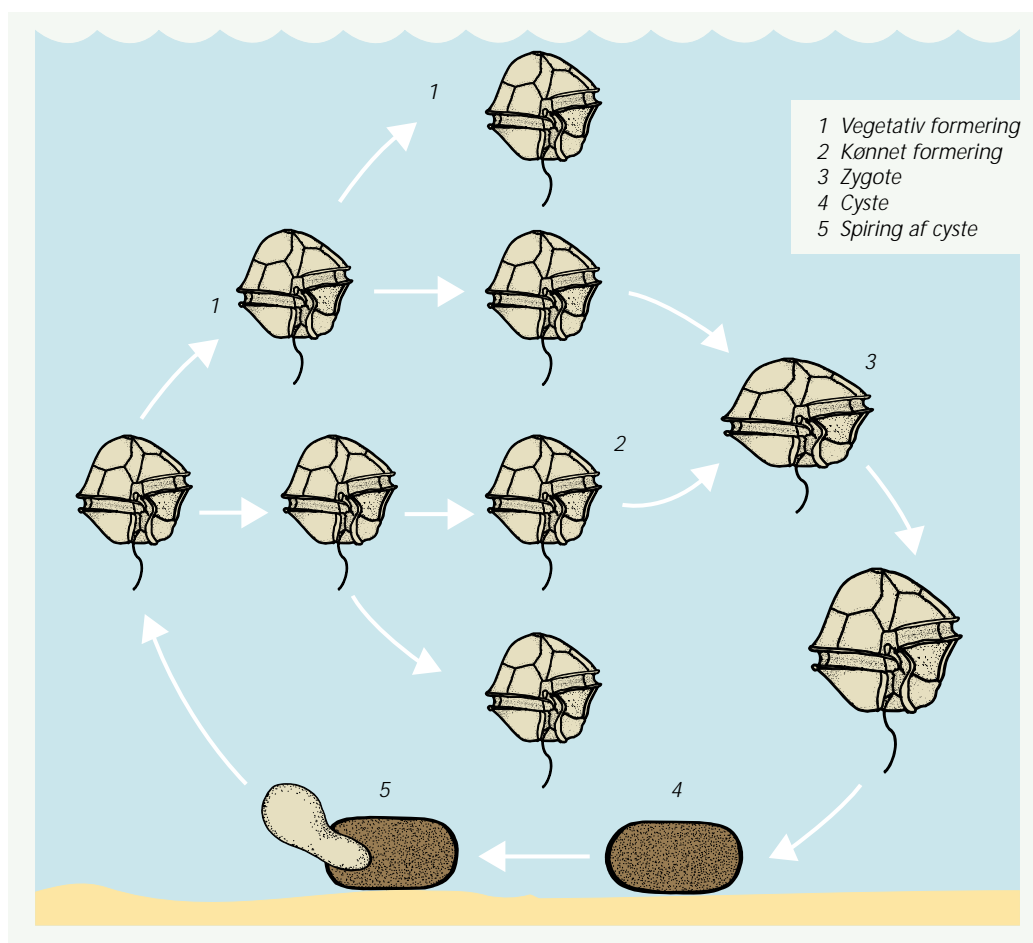
**Figur 27.** Planteplankton har mange former og farver.



Figur 28. Plankton danner fødenet. Tidligere troede man, at store dyr spiser mindre dyr, som spiser mindre dyr, og så videre i en kæde til de mindste dyr, der spiser planter og bakterier. Nu ved vi, at plankton danner fødenet snarere end fødekæder, at nogle alger både lever som dyr og som planter, og at nogle planktonorganismer kan spise individer, der er lige så store eller endda større end dem selv.

Hos en række alger findes desuden kønnet forering. Det gælder bl.a. mange giftige arter. Ved en kønnet forering smelter to celler sammen til én. De celler, der smelter sammen kaldes gameter, mens den nydannede celle hedder en zygote. Gameterne kan have samme udseende som de almindelige celler, eller de kan adskille sig i størrelse og udseende. I zygoten blandes DNA fra de 2 gameter, så de nye celler, der dannes ved dens deling, får en ny kombination af artens genetiske egenskaber. Det svarer til når æg- og sædceller smelter sammen til et befrugtet æg, der således får nogle egenskaber fra moderen og nog-

le fra faderen. De nye celler formerer sig ved almindelig celledeling, dvs. ukønnet forering. Hvis der bliver mangel på næringsstoffer, lys, eller vækstbetingelserne af andre grunde bliver ugunstige, kan mange planktonalger danne hvileceller, der synker til bunds (figur 29). Hvilecellerne er tykvæggede og kan overleve på sø- eller havbunden i lange perioder indtil forholdene igen bliver gode. De har fået forskellige navne afhængigt af udseende og algegruppe. Hos blågrønalger betegnes de akineter, hos kiselalger auxosporer og hos furealger og flere andre flagellatgrupper cyster.



Figur 29.  
Livscyklus hos furealgeslægten  
*Alexandrium*.



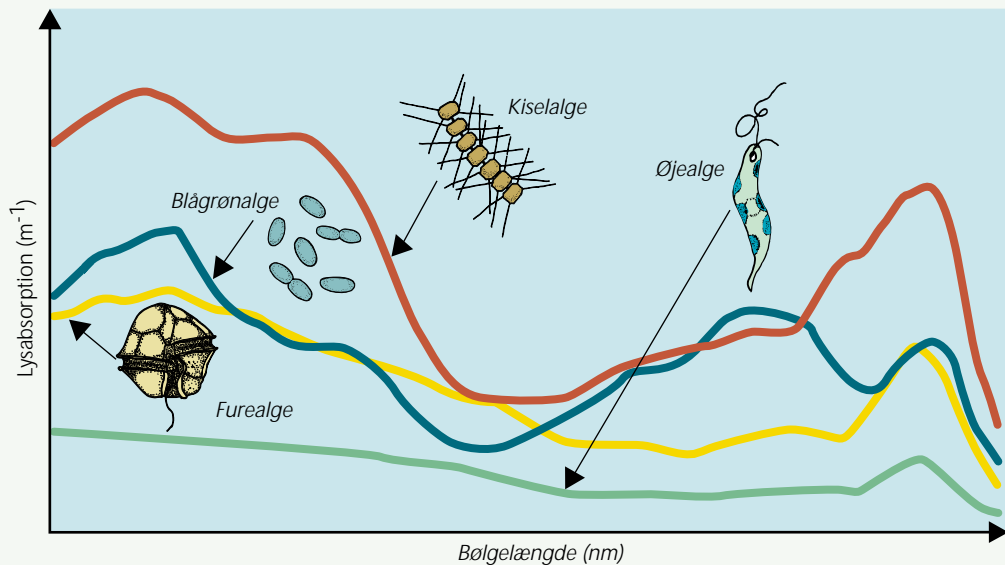
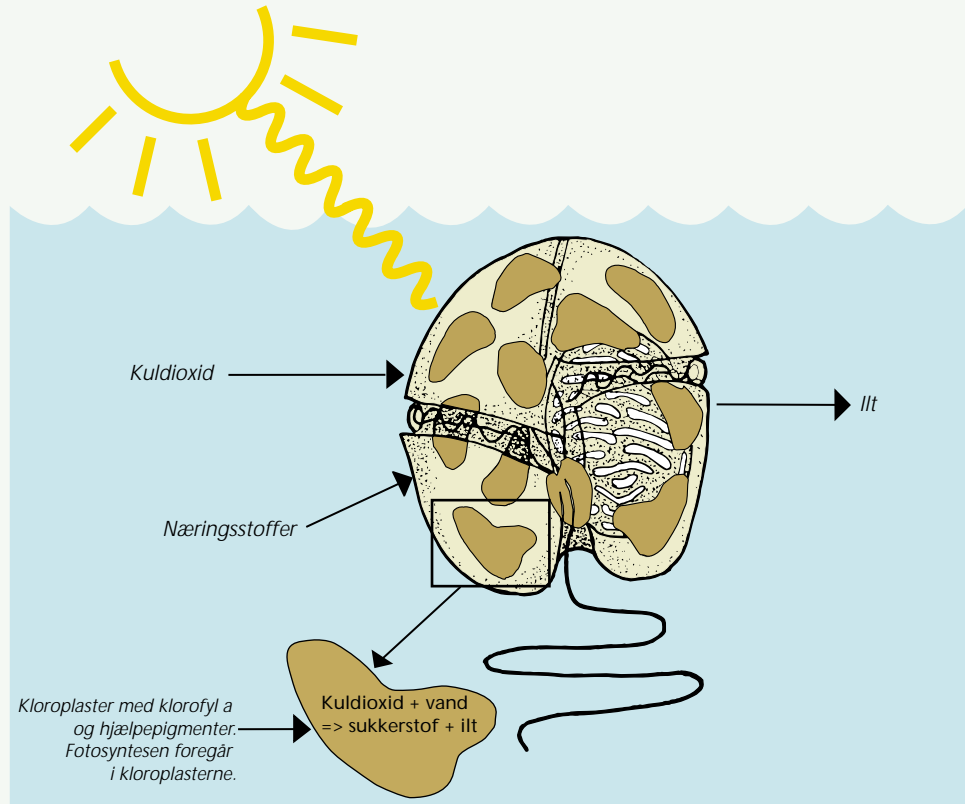
### Boks 3.

Fotosyntesen er en unik proces, hvor uorganiske forbindelser omdannes til de organiske forbindelser, der er byggestenene i alt levende.

Ved fotosyntesen omdannes kuldioxid og vand til sukkerstof ved hjælp af energi fra sollyset. Sukkerstoffet bruges til at danne cellernes andre vigtige forbindelser som aminosyrer, proteiner og fedtstoffer. Resultatet af fotosyntesen er, at cellerne vokser og deler sig. Fordi dette er første led i produktionen af organisk stof kaldes det primærproduktion. Når de organismer, der spiser planterne vokser, kaldes det sekundærproduktion.

Den vigtigste byggesten i det organiske stof er kulstof (C) og primærproduktionen angives derfor som den mængde kulstof, der er produceret (= optaget i fytoplankton) i et givent vandvolumen i et givent tidsrum; oftest som mg C pr liter pr time eller som mg C pr m<sup>2</sup> pr år (dvs. i vandsøjlen under én kvadratmeter overflade).

Lysenergien fanges (absorberes) af klorofyl a og hjælpepigmenter. Hjælpigmenterne absorberer lysenergi af andre bølgelængder end klorofyl a, og overfører energien til klorofyl a og dermed til fotosyntesen. Hermed øger pigmenterne algerne mulighed for at udnytte lysets energi. Da algrupperne indeholder forskellige pigmenter (se tekst) udnytter de forskellige dele af lysspektret. Hos alle alger undtagen blågrønalgerne findes klorofyl a og pigmenterne inden i kloroplaster.



## Planteplankton producerer havets brændstof

Planteplankton kaldes undertiden havets græs, fordi det udgør grundlaget for livet i havet (figur 28). Ved brug af solens energi optager planteplankton uorganiske næringsstoffer fra vandet og omdanner dem til de organiske forbindelser, som er fødegrundlaget for alle andre organismer i vandmiljøet. Kort sagt omdanner planteplankton den fysiske solenergi til kemisk energi, der kan udnyttes af dyrene. Den grundlæggende proces i syntesen af organiske forbindelser kaldes fotosyntesen (boks 3). Ved fotosyntesen dannes sukkerstof, som igen ombygges og sættes sammen på nye måder og med andre stoffer som kvælstof, fosfor, jern, selen osv. De dannede stoffer kaldes for metabolitter, og deles op i primære og sekundære metabolitter. Primære metabolitter dannes hele tiden og er forudsætningen for organismernes overlevelse, mens de sekundære metabolitter normalt kun dannes i særlige situationer, for eksempel ved stress på grund af mangel på næringsstoffer. Algegiftstofferne anses i øjeblikket for at være sekundære metabolitter, selvom de ikke kun dannes under stress.

Planteplanktons produktion af organisk stof kaldes primærproduktion. En del af primærproduktionen bruges til det basale stofskifte, som holder cellerne/organismerne levende, mens resten går til vækst, dvs. til at cellerne kan vokse og dele sig. Jo større primærproduktionen er, jo mere nyt organisk stof bliver der dannet. Mængden af planktonalger i vandet angives på forskellig måde. Ved planktonalgeopblomstringer er det almindeligt at opgøre antallet af celler pr liter vand, men da planktonalgerne har vidt forskellig størrelse, siger dette intet om mængden af organisk stof. Vil man vide hvor meget føde, der er i planteplankton, eller hvor meget organisk stof, der kan synke ned på bunden, er det nødvendigt at ken-

de biomassen. Udsynkningen er interessant af to grunde. Dels udgør det sedimenterede stof føde for de dyr, der lever på bunden. Dels sker der et forbrug af ilt, når det organiske stof på bunden nedbrydes, og derved kan iltmængden blive så lav, at der er risiko for iltsvind.

## Algerne skal bruge næringsstoffer

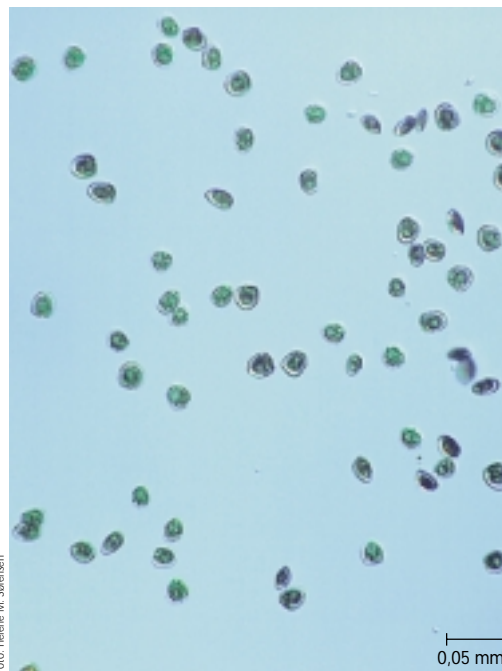
Udover sollys og kulstof er en række andre stoffer uundværlige for planktonalgerne. Særligt kvælstof (N), fosfor (P) og svovl (S) er vigtige næringsstoffer, som indgår i mange af de organiske forbindelser. Kisel (Si) er uundværligt for kiselalger og nogle små nanoflagellater, fordi det indgår i cellernes ydre skelet eller skæl. Algernes behov for - og indhold af - basale næringsstoffer, varierer fra art til art og afhænger af algens tilstand. Som et gennemsnit indeholder de 106 kulstofatomer og 16 kvælstofatomer for hvert fosforatom. Dette forhold (106:16:1) kaldes Redfield-forholdet, og afvigelse tyder på, at algerne mangler næring. Da algerne kræver store mængder af C, N, P, S og for nogle arter Si, kaldes disse for makronæringsstoffer. Derudover skal algerne bruge magnesium, jern, kalium og calcium og andre metaller, der indgår i cellernes enzymer. Disse er kun nødvendige i små koncentrationer og kaldes derfor mikronæringsstoffer.

Næringsstofferne er ikke altid tilstede i tilstrækkelige mængder, og planteplanktons vækst er i sådanne tilfælde næringsbegrænset. Sagt med andre ord vil tilførsel af det eller de manglende næringsstoffer give øget vækst hos planktonalgerne. Manglen opstår fordi tilførslen ikke kan følge med algernes forbrug. Kvælstof og fosfor findes specielt i sommerperioden ofte i så små mængder, at planteplanktons vækst begrænses. Under opblomstringer kan planktonalger i ferskvand også mangle kulstof, mens det er sjældent i havvand.

I overgangen mellem forår og sommer findes kisel ofte i meget lave koncentrationer, så væksten af arter med et stort kiselbehov begrænses. Det har afgørende indflydelse på artssammensætningen i denne periode. Mikronæringsstofferne betydning diskuteres derimod stadig. I kystområder vil mængden normalt være tilstrækkelig, men i flere oceaner har det vist sig, at især jern findes i begrænsende koncentrationer.



Figur 30.  
Furealgeslægten *Ceratium* er meget almindelig i sensommerens havplankton.



Figur 31.  
Opblomstring af *Prorocentrum minimum*. Planteplanktonet består stort set kun af denne ene art.

## Balancen i planktonalgesamfundene

De enkelte arter har hver deres individuelle krav til og tolerancer over for lys, næringsstoffer, temperatur, saltholdighed osv. Samspillet mellem disse krav og tolerancer og det omgivende miljø er med til at bestemme artens succes på et givet tidspunkt. Normalt vil planktonalgesamfundet indeholde mange arter, der i forskellig grad får opfyldt deres behov, og som konkurrerer med hinanden om ressourcerne. Bliver miljøkårene optimale for én art, vil denne vokse maksimalt, og den har mulighed for at udkonkurrere de andre arter i planktonalgesamfundet. Artens succes bestemmes dog også af andre faktorer, specielt kan græsningen være afgørende.

Betragtes planktonalgesamfundet som helhed er det primært tilførslen af kvælstof- og fosornæringsstoffer, der bestemmer, hvor stor den samlede biomasse kan blive: jo mere næringsrigt, jo mere planteplankton. Kvælstof- og fosornæringsstofferne tilføres fra atmosfæren og fra de omgivende land- og vandområder. Både kvælstof og fosfor påvirker væksten; dog er det i havet oftest kvælstof, der regulerer biomassen, mens fosfor har den største betydning i ferskvand. Mange andre faktorer som lysforhold, græsning, vandstrømme og sedimentation har dog også indflydelse på den aktuelle biomasse af planteplankton. Hvis der ikke er tilstrækkeligt med lys kan planktonalgerne ikke vokse. Både græsning, vandstrømme og udsynkning fjerner alger fra systemet. Den stående biomasse er således bestemt af ligevægten mellem vækst og tab. Kun når væksten er større end tabene stiger algebiomassen. Specielt i sommerperioden, hvor koncentrationen af kvælstof og fosfor er lav, kan nytillførsel af næringsstoffer forskyde ligevægten og give pludselige opblomstringer af planteplankton.

# Årsager til planktonalgeopblomstringer

Planktonalgeopblomstringer er forekomster af høje biomasser af planteplankton. Der er imidlertid ikke faste grænser for, hvornår biomassen er så høj, at der er tale om en opblomstring, og specielt når det drejer sig om giftige alger bruges udtrykket også om lave biomasser, når disse kan give kritiske koncentrationer af algegifte. Populært sættes „algeopblomstringer“ ofte lig med forekomster af skadelige alger, og „skadelige opblomstringer“ er i dag en almindelig anvendt betegnelse såvel populært som videnskabeligt. Til tider omtales opblomstringer som HAB efter den engelske betegnelse „Harmful Algal Blooms“. Skadelige opblomstringer defineres bredt som algeforekomster, der giver anledning til særlig opmærksomhed, fordi de er til gene for mennesker, for eksempel ved at misfarve vandet, danne skum eller forgifte dyr og mennesker. En skadelig opblomstring er oftest domineret af én enkelt eller få arter.

Planktonalgeopblomstringer er en tilbagevendende begivenhed, som hver sommer præger vore søer, fjorde, kyster og åbne farvande. Opblomstringerne består til tider af giftige alger, og det er i høj grad disse, der har fået opmærksomhed i medierne. Hyppigt er det imidlertid ugiftige arter, der medfører høje biomasser. Både giftige og ugiftige opblomstringer har stor betydning for vandmiljøet. De påvirker de biologiske systemer og omsætningen af organisk stof og kan medføre iltsvind (figur 38, side 50) med deraf følgende bunddyrsdød.

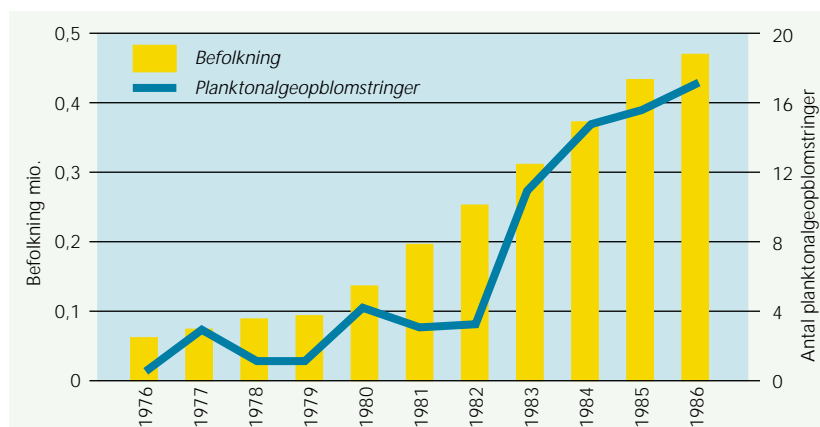
Mængden af planteplankton i vandmiljøerne afhænger af næringsrigdommen, som igen er bestemt af tilførslerne fra atmosfære og land. I kystnære områder vil der natur-

ligt være en større primærproduktion og planktonalgebiomasse end i oceanerne, og øges tilførslerne for eksempel på grund af øget brug af gødning, øget trafik, osv., er det også her de største effekter ses i form af øget planktonalgevækst og algeopblomstringer. Generelt er planktonalgeopblomstringer betinget af tilstedeværelsen af næringsstoffer, men de udløses af de vejrmæssige forhold. For at forstå hvorledes mennesket påvirker forekomsterne af planktonalgeopblomstringer, er det vigtigt at kende mekanismerne bag opblomstringerne.

## Resultatet af balance mellem vækst og tab

Giftige og ugiftige planktonalgeopblomstringer er styret af en række faktorer, der dels regulerer algernes vækst, dels bestemmer hvor mange alger der forsvinder eller tabes. Planktonalgebiomassen i vandet er således bestemt af balancen mellem vækst og tab. Algernes vækst fremmes især af gode lys- og næringsstofforhold. Tab af celler skyldes især græsning, celledød på grund

Figur 32. Befolkningstilvæksten og planktonalgeopblomstringer i Tolo Harbour, Hong Kong. Denne lange tidsserie af data er usædvanlig; generelt er en systematisk indsamling af data - overvågning - først startet inden for de seneste 10 år og i heldigste fald 30 år, dvs. efter at de menneskeskabte påvirkninger er blevet markante.



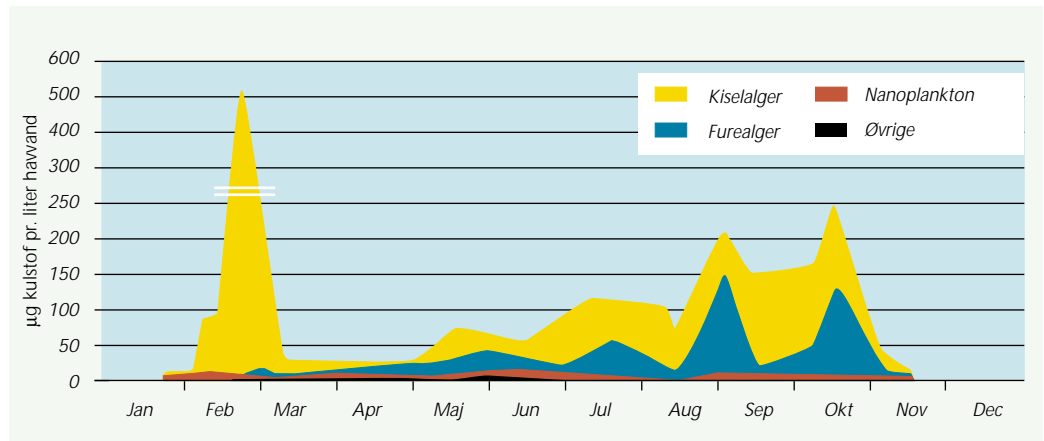
## Årsager til planktonalgeopblomstringer

af bakterie- og virusangreb, udsynkning til sø- og havbunden og endelig spredning med vandstrømme. Algerne græsses især af små krebsdyr og ciliater. I løbet af året sker der forskydninger mellem vækst- og tabsprocesserne og planteplanktons biomasse gennemløber en naturlig årstidssuccession, hvor perioder med høje biomasser, dvs. planktonalgeopblomstringer, er en naturlig del af mønstret.

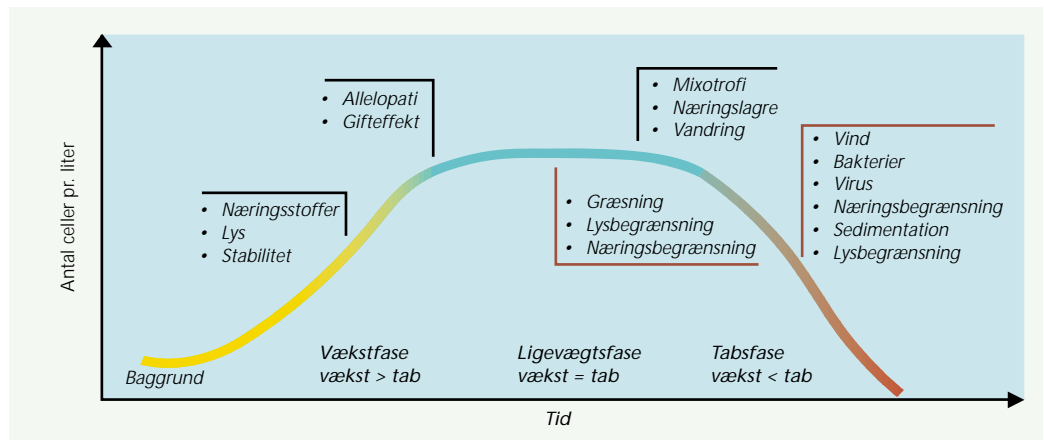
I tempererede havområder er biomassen af planteplankton specielt høj om foråret og efteråret (figur 33). Forårsopblomstringen er et særegent fænomen der så godt som altid dannes af kiselalger, fordi denne

gruppe er særligt egnet til at vokse ved forårets lave temperaturer og ringe lysforhold. Forårsopblomstringens størrelse afhænger af hvor stor afstrømningen og dermed næringstilførslen fra land har været gennem vintermånederne. Forårets opblomstring kan følges af opblomstringer af flagellater, typisk raphidophyceer eller haptophyter. Disse opblomstringer lever af overskuddet fra forårsopblomstringen. Overskuddet opstår, fordi kiselalgernes vækst stoppes af mangel på kisel inden de har brugt alt kvælstof og fosfor. Årsagen er som tidligere beskrevet, at kiseltilførslen ikke er øget i takt med den menneskeskabte stigning i tilførslen af fosfor og kvælstof.

Figur 33. Typisk årstidsvariation hos planteplankton i Kattegat. Forårsopblomstringen er domineret af kiselalger. Om efteråret giver både kiselalger og furealger ofte opblomstringer.



Figur 34. Faserne i en algeopblomstring med angivelse af vigtige bestemmende faktorer



Om sommeren er biomassen i de åbne farvande normalt relativt lav og opblomstringer forekommer kun sporadisk. I fjorde og bugter derimod er sommerbiomassen høj og planktonopblomstringer er almindelige. Opblomstringerne består ofte af kiselalger eller furealger, men masseforekomster af øjealger ses også jævnligt.

### Næring og lys er en forudsætning

En planktonalgeopblomstring består af 3 faser: Vækstfasen, ligevægtsfasen og tabsfasen (figur 34). Den afgørende fase er vækstfasen, hvor algerne så at sige skal vokse fra tabene. Det forudsætter, at der skabes ekstraordinært gode vækstforhold, først og fremmest i form af næring og lys.

En af de faktorer, der har stor indflydelse på tilgængeligheden af lys og næring, er vejret. Blæsevejr giver stor omrøring i vandet, og algerne flyttes konstant mellem det lysrige miljø ved overfladen og det lysfattige dybere nede i vandet. Konsekvensen er, at de får for lidt lys og derfor ikke vokser tilstrækkeligt til at opbygge en stor biomasse. Derfor forekommer planktonalgeopblomstringer typisk i forholdsvis vindstille perioder, hvor vandet er så roligt, at algerne bliver i nærheden af overfladen og får rigeligt lys.

Generelt er kortvarig tilførsel eller pulse af nye næringsstoffer en væsentlig årsag til pludselige algeopblomstringer. I sommermånederne kan kraftigt regnvejr give sådanne pulse. Primærproduktionen er på dette tidspunkt næringsbegrænset, og den nye næring sætter gang i væksten hos planteplankton. I danske farvande er der mange eksempler på opblomstringer af planteplankton i fjord- og kystområder umiddelbart efter en større afstrømning af vand og næringssalte fra land. *Chattonella*-opblomstringen i 1998 skyldtes således en høj nedbør i foråret, som gav høje nærings-

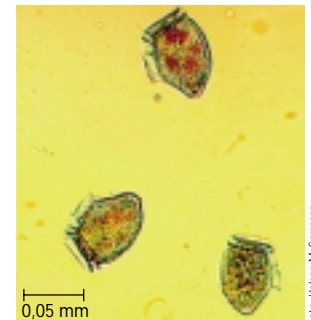
stofkoncentrationer i Tyske Bugt. Sydvestenvinden førte det næringsrige vand fra Tyske Bugt op langs den jyske vestkyst og videre langs de danske, svenske og norske Skagerrak-kyster. I det rolige vejr blev algerne ved overfladen, og grundlaget var skabt for algevækst. Under transporten formerede algerne sig, og de højeste algekoncentrationer forekom derfor ud for den nordlige del af Jyllands vestkyst og langs Danmarks Skagerrak-kyst.

### Fronter har stor betydning i havet

I havet skabes de gode næringsstof- og lysforhold ofte i de såkaldte fronter. En front er et grænseområde, hvor der sker et markant skift i de fysiske forhold. Ved en meteorologisk front vil det typisk være et skift i temperaturen og vindretningen. Ved en front i havet er det temperaturen, saltholdigheden eller begge dele, der ændrer sig. For de fronter, der er vigtige for planteplankton, er det endvidere karakteristisk, at der sker en markant ændring i koncentrationen af kvælstof og fosfor. Rumligt set er fronter både grænseområder i det vertikale plan og i det horisontale plan (figur 36).

Vertikale fronter opstår, når overfladevandet opvarmes, eller når ferskvand eller brakvand strømmer hen over saltere vand. I overgangen mellem de 2 vandmasser sker der en markant ændring i henholdsvis temperaturen og saltholdigheden (figur 36). Fronten eller vandlaget, hvor dette sker, kaldes både for springlaget, skillefladen og i videnskabelig sammenhæng pycnoklinen. I ferskvand og i oceanerne er temperaturspringlag almindelige om sommeren. Saltholdighedsspringlag er derimod meget almindelige i de åbne danske farvande (figur 36). Om sommeren vil mængden af næringssalte typisk være lav i det brakke overfladevand, hvor primærproduktionen finder sted, og høj i det sal-

Figur 35.  
DSP-producerende furealger  
(*Dinophysis*).



## Årsager til planktonalgeopblomstringer

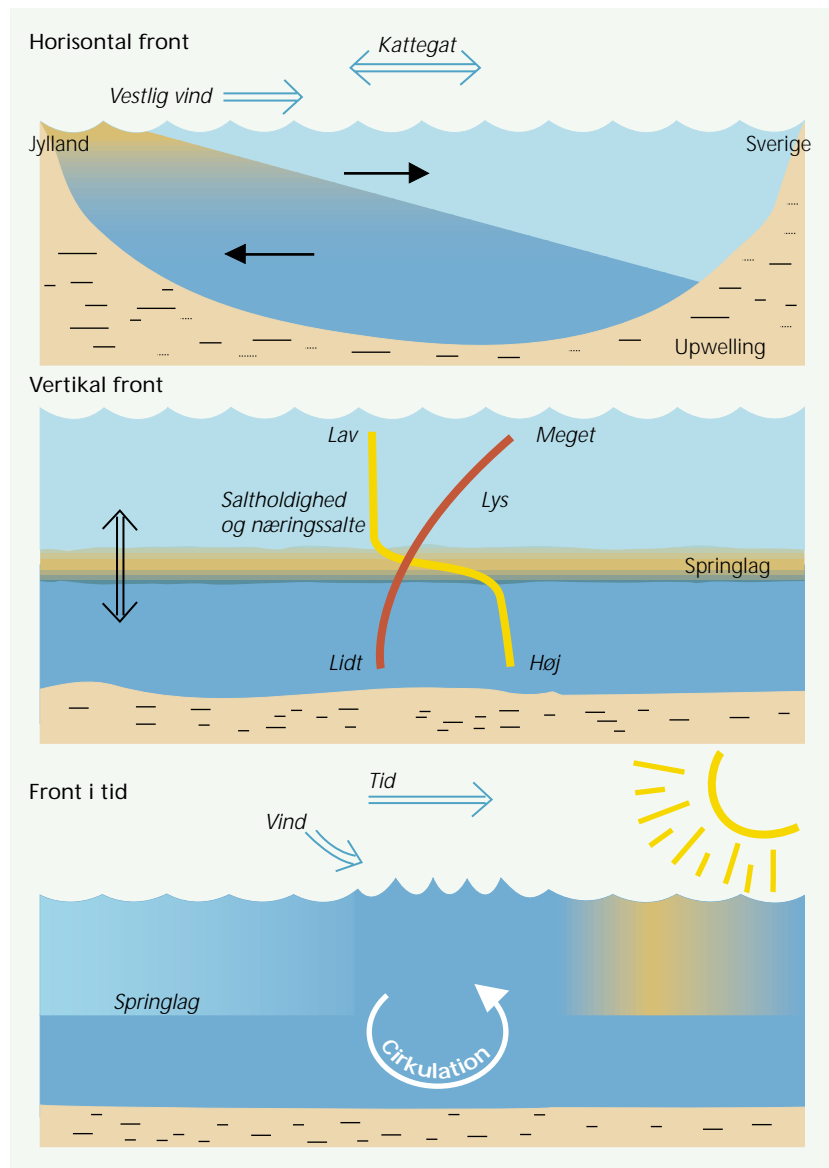
Figur 36.  
Vigtige fronter og hydrografiske processer, der har betydning for dannelsen af algeopblomstringer i danske farvande. Gulbrun farvning i vandet er planktonalgeopblomstring.

te bundvand, hvor der ikke er lys nok til produktion. Så længe fronten ikke ligger for langt nede i vandsøjlen vil algerne i springlaget have særligt gode vækstforhold, fordi de får lys ovenfra og nærings-salte fra bundvandet. En opgørelse over primærproduktionen i Kattegat har således vist, at en stor andel foregår i springlaget. Opblomstringen af *Chrysochromu-*

*lina polylepis* i 1988 var knyttet til springlaget i en stor del af dens udbredelsesområde. Nogle planktonarter er særligt tilpasset til at leve i springlaget. Det gælder bl.a. den giftige *Gymnodinium mikimotoi* (boks 5).

Et klassisk eksempel på en horisontal front i danske farvande er grænseområdet mellem Skagerrak og Kattegat, hvor overfladevand fra Nordsøen møder overfladevand fra Kattegat. De største planktonopblomstringer ses imidlertid i forbindelse med en anden type front. Ved kraftig vestlig vind presses overfladevandet i Kattegat over mod Sverige. Til gengæld strømmer bundvandet op til overfladen i det vestlige Kattegat langs Jyllands østkyst - der sker en såkaldt upwelling af bundvand. Processen er især vigtig i området nord for Djursland. Bundvandet indeholder normalt høje koncentrationer af nærings-salte. Vandstrømmen mod kysten transporterer også alger med sig fra springlaget i det centrale Kattegat, således at algerne sammen med nærings-salte bringes op i de lysnære vandlag. Hvis koncentrationen af alger i springlaget samtidig er høj, vil der hurtigt ske en ophobning af alger ved kysten. Dette er en almindelig mekanisme ved opblomstringer af *G. mikimotoi*, og under *Chrysochromulina*-opblomstringen blev de højeste koncentrationer i hele algens udbredelsesområde netop observeret efter upwelling nord for Djursland.

Man kan også tale om fronter i tid. Et skift fra blæsende til stille vejr er en af de situationer, der skaber en front i tid. Når det blæser kraftigt blandes vandet dybt ned og primærproduktionen falder på grund af lysbegrænsning. Blandingen øger imidlertid samtidig næringsstoffkoncentrationen, og følges blæsevejret og næringspulsen af en stille og solrig periode, kan algerne blomstre op.



### Havstrømmene samler og udbreder

Ligesom havstrømmene kan koncentrere algerne i afgrænsede områder, er de vigtige for udbredelsen af planktonalgeopblomstringer (boks 4). Et hyppigt eksempel i danske farvande er udbredelsen af blågrønalger. Blågrønalger danner opblomstring i Østersøen hvert år. Især i solrige, varme, stille somre, hvor højtryk præger vejret i længere perioder, er koncentrationen høj. Er vinden østlig-sydøstlig strømmer Østersø-vandet med blågrønalgerne ind i danske farvande og giver opblomstringer langs de sydlige kyster og i den sydlige del af Øresund, Storebælt og Lillebælt. I ekstreme tilfælde, hvor den nordgående strøm er længerevarende, kan algerne spredes op gennem bæltene og ud i Kattegat. Det er dog meget sjældent, at algekoncentrationerne i Kattegat når at blive høje, idet Østersø-vandet blandes med det saltere bundvand, så algerne fortyndes. Dertil kommer at Østersø-arterne ikke gror godt ved de højere saltholdigheder i det blandede vand. Et særtilfælde sås i 1997, hvor det meget stille og varme vejr gjorde, at Østersø-vandet stort set ikke blev blandet med det salte bundvand. Blågrønalgerne kunne derfor opretholde relativt høje koncentrationer i Kattegat.

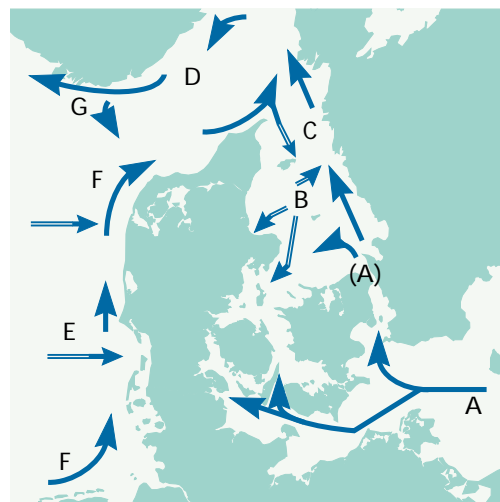
### Græsserne kan ikke følge med

Når vækstforholdene forbedres, vokser algerne hurtigere end græsserne kan nå at spise dem. Dyreplankton er normalt føde begrænset om sommeren, og dyrene kan derfor til en vis grad spise den ekstra føde, der produceres under en opblomstring. Hvis algerne er i god vækst, skal biomassen af dyreplankton imidlertid også øges, for at de kan følge med. Da de fleste dyreplankton vokser langsommere end algerne, er der en forsinkelsesfase (en lagfase), før græsserne opnår en tilstrækkelig stor

biomasse. I mellemtiden kan planktonalgebiomassen stige betydeligt. Nogle af de opblomstrende arter er desuden dårlige fødeemner, som dyreplankton helt eller delvist undgår, så længe der er anden føde i vandet. Begge forhold forstærker effekten af de forbedrede vækstkår for algerne.

### Giftstoffernes betydning

De giftige alger kan have en fordel, hvis deres giftstoffer påvirker dyreplankton. Som tidligere omtalt synes dette dog ikke at være en almen effekt, og algegiftstoffernes betydning under opbygningen af en algeopblomstring er stadig uklar. Sandsynligvis er effekten i den tidlige opblomstringsfase begrænset. Derimod kan giftstofferne spille en afgørende rolle senere, når celletætheden er blevet stor. På dette tidspunkt kan koncentrationen af giftstoffer ikke kun i algerne, men også i vandet være så høje, at effekterne bliver mærkbare. Ikke kun fordi græsningen nedsættes, men også fordi bakterier og andre alger hæmmes, og væsentlige konkurrenter til næringssaltene derved sættes ud af funktion. Algegiftene kan på denne måde forlænge varigheden af en opblomstring.



#### Boks 4.

Havstrømmene har stor betydning for den horizontale spredning af planteplankton i danske farvande. Både langs Jyllands øst- og vestkyst kan upwelling af bundvand og springlagsvand give høje algekoncentrationer i de kystnære områder (B og E). Det skete ved opblomstringerne af *Chrysochromulina* i 1988 og *Gymnodinium* i 1997 på den jyske østkyst. Det er usikkert, hvorledes *Chrysochromulina* opblomstringen startede i 1988. En mulighed er, at springlagspopulationer i Kattegat ved upwelling i den østlige del af Kattegat endte i den baltiske strøm (C) og derfra blev ført langs den svenske vestkyst op i Skagerrak. *Phaeocystis*-opblomstringer langs den jyske vestkyst kan ligeledes være resultatet af upwelling (E), men de kan også transporteres fra den hollandske Nordsøkyst til Jyllands vestkyst og videre nordpå med den Jyske Kyststrøm (F). Den jyske kyststrøm havde stor betydning i 1998, hvor en giftig *Chattonella* dannede opblomstring i Vesterhavet og Skagerrak. Under særlige vindforhold kan algerne transporteres videre langs Skagerrak til Norge (D) og herfra kan de spredes tilbage igen mod de danske kyster (G). Ved sydlig og østlig vind vil vand fra Østersøen strømme op i Bælthavet og Øresund (A). I sensommeren kan koncentrationen af blågrønalger være høj i dette vand, og dermed give anledning til opblomstringer især langs de syddanske kyster. I ekstreme tilfælde, som 1997, kan vandet spredes uden at blive nævneværdigt opblandet og danne et lavsalint overfladelag i Kattegat ((A)).



De arter, der danner springlagsopblomstringer, kan have særlig nytte af giftstofferne. Da algerne befinder sig i et tyndt vandlag med let adgang til næringsstoffer, kan de hurtigt opbygge en høj cellekoncentration og udkonkurrere andre alger, bakterier og dyreplankton. De er således parat til hurtigt at udnytte forbedrede vækstkår, hvis upwelling transporterer dem og næringsalte op i bedre lysforhold. Springlagsopblomstringer udgør normalt ikke en stor biomasse, fordi deres vertikale udstrækning er begrænset (boks 5), men forekomsten af *Chrysochromulina* i 1988 og af *G. mikimotoi* i 1997 viste, at giftige springlagsopblomstringer på denne måde kan få markante effekter både på dyrelivet og på iltforholdene.

Figur 37.

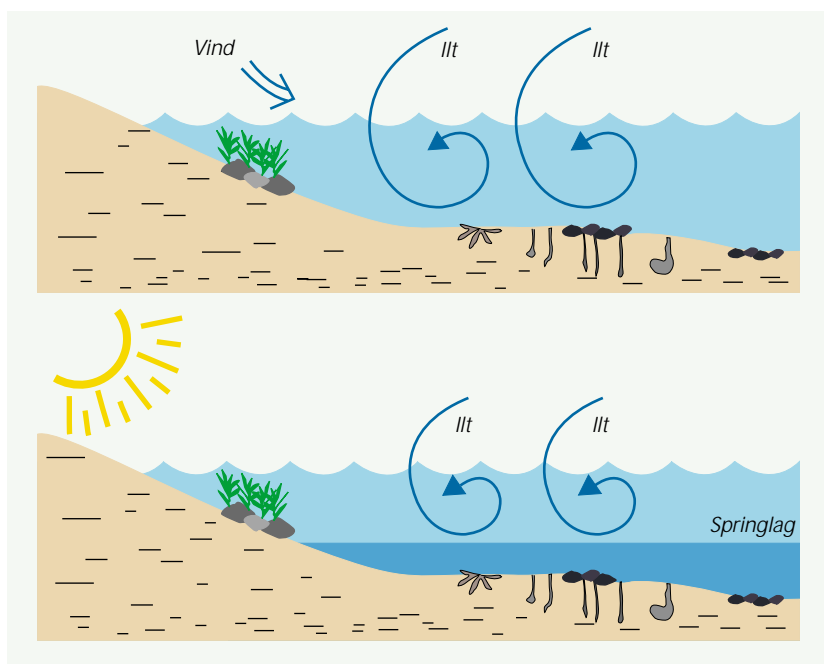
Næsten hver sommer optræder iltvind i danske fjorde. Iltvindet opstår, når der ikke tilføres nyt ilt til bunden, hvor der om sommeren bruges meget ilt til at nedbryde organisk materiale. Det organiske materiale stammer hovedsageligt fra plankton, der synker ned på bunden. Ilttilførslen nedsættes især, når det er varmt og stille vejr, fordi der dannes et springlag som forhindrer, at ilt føres ned til bunden.

### Balance mellem vækst og tab

I planktonalgeopblomstringens ligevægtsfase er der balance mellem vækst og tab. Det betyder ikke, at alle celler befinder sig i den stationære fase, men at den samlede

vækst af algepopulationen er i ligevægt med tabene, og vækstbegrænsende faktorer som næringsstofmangel, lysbegrænsning og græsning begynder at få indflydelse (figur 34, side 44). Det er ofte først i den sene vækstfase eller ligevægtsfasen, at opblomstringen tiltrækker opmærksomhed, da det er på dette tidspunkt, at de skadelige opblomstringer giver de største problemer. Når opblomstringen er toppet, går der ofte et par uger, før den begynder at aftage. Opblomstringer kan dog også vare længere. I 1992 dannede kiselalgeslægten *Pseudo-nitzschia* opblomstring gennem 2-3 måneder i Kattegat og det samme er tidligere set ved Prince Edward Island, Canada.

Udover giftproduktion kan andre mekanismer forlænge opblomstringer af både giftige og ugiftige arter. Under en opblomstring opbruges kvælstof og fosfor i overfladevandet. Mixotrofe alger kan i den situation skaffe ekstra næring ved at være fagotrofe, dvs. ved at spise bakterier, andre alger og mikrozooplankton. Fosforbegrænsning fremmer i nogle tilfælde den fagotrofe fødeoptagelse, og forklaringen er sandsynligvis, at bakterierne har et stort indhold af fosfor, som algerne kan udnytte. Der er dog også andre faktorer som lysbegrænsning og mangel på andre næringsstoffer, der stimulerer fagotrofi. En anden måde at skaffe næring på er at vandre ned til de dybereliggende vandlag om natten. Ved at bevæge sig op og ned i vand søjlen, kan algerne dække deres kulstofbehov ved at udføre fotosyntese, når de er oppe i lyset om dagen, og deres næringsbehov ved at optage kvælstof og fosfor, mens de er i det næringsrige bundvand om natten. Denne strategi kendes f. eks. hos nogle af de større furealger, og hos de blågrøn alger, der kan regulere deres vægtfylde.



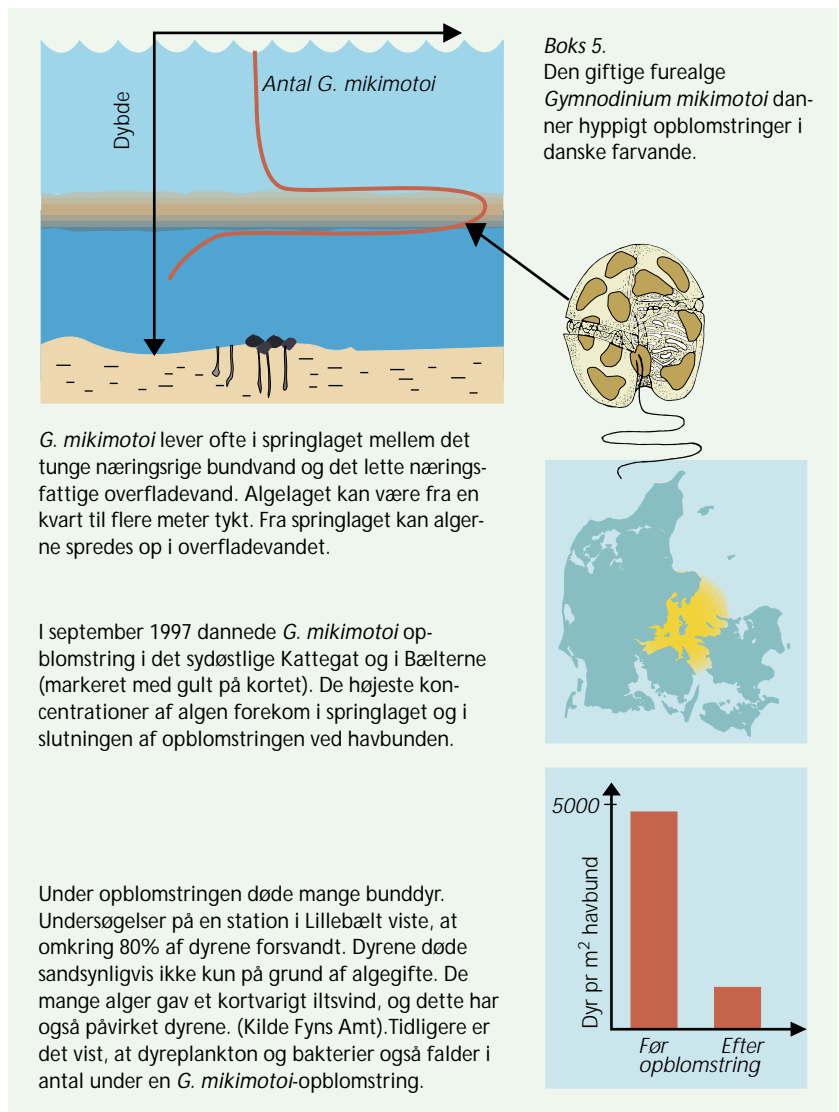
## Opblomstringer stopper tit brat

Planktonalgeopblomstringer stopper ofte ret pludseligt. Årsagen til sammenbruddet er formentlig en kombination af flere faktorer, som giver nedgang i væksten og stigende tab. I danske farvande forsvinder algerne ofte som følge af skift til dårligere vejr med færre soltimer og stærkere vind, der skaber stor omrøring i vandet, så algerne får mindre lys. Lysmangel kan også opstå, fordi cellekoncentrationen bliver så stor, at cellerne skygger for hinanden. Mangel på næringsstoffer er naturligvis også en væsentlig årsag til nedgangen i væksten. Ved omsætningen i vandet genbruges næringsstofferne, men der sker et stadigt tab ud af systemet som følge af udsynkning, så næringsmængden falder, hvis der ikke tilføres nye næringsstoffer.

Lys- og næringsbegrænsningen og den derfor følgende dårlige fysiologiske tilstand gør algerne ekstra modtagelige for bakterie- og virusangreb, og netop virusangreb kan være årsagen til afslutningen af mange algeopblomstringer. Ved opblomstringer af store alger som furealger og kiselalger er udsynkning af celler ofte den væsentligste tabsfaktor. Kiselalgerne er specielle, fordi de klæber til hinanden og derved danner større partikler, såkaldte aggregater, som falder til bunds. Klæbeevnen og aggregatdannelsen kan forklare, at kiselalgeopblomstringer til tider slutter meget brat. Klæbeevnen varierer fra art til art, men er størst, når algerne er i dårlig fysiologisk tilstand. Hvis algepopulationen samtidig er tæt, er sandsynligheden for, at cellerne støder ind i hinanden og klæber sammen stor. Man mener ligefrem, at opblomstringer af kiselalger har en kritisk celletæthed; hvis koncentrationen overstiger denne bliver antallet af sammenstød og dermed aggregatdannelsen så stor, at størstedelen af algepopulationen synker ned til bunden. Den kritiske tæthed afhænger af

omrøringen i vandet, idet større omrøring vil øge sandsynligheden for, at cellerne kommer i kontakt med hinanden.

Også andre alger danner aggregater, og i slutningen af en opblomstring kan vandet være fyldt med store hvidlige klumper eller korte tovlignende vækster, som kaldes marine sne. Det marine sne består af døde celler, cellerester, cyster og planktonfækalier. De koloniseres langsomt af bakterier,



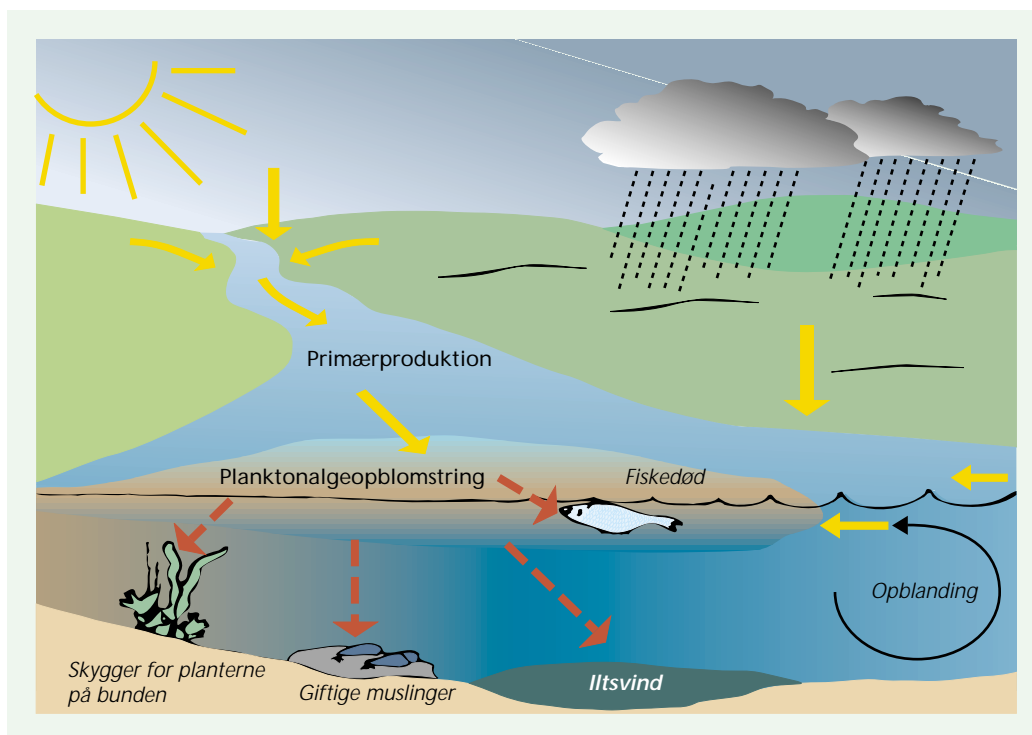
og der sker en gradvis nedbrydning af det organiske materiale på vej ned mod bunden. Næringsstofferne frigives derved til vandet, hvor de hurtigt kan komme i omsætning igen. Kiselalgeaggregaterne er derimod kun lidt omsat, når de når bunden, og er derfor i højere grad til gavn for bundens bakterie- og dyresamfund.

### Opblomstringer har økologiske effekter

Jo mere organisk stof, der produceres i vandsøjlen, des mere organisk materiale ender på bunden. Her nedbrydes det organiske stof under forbrug af ilt, og hvis der ikke tilføres nyt ilt, falder iltkoncentrationen, og der opstår iltsvind. Planktonalgeopblomstringer øger derfor risikoen for iltsvind (figur 37 og 38). Iltsvindet sker ikke nødvendigvis umiddelbart efter algeopblomstringen. Ofte ses iltsvind først sidst på sommeren, når sommerens ned-

brydning af organisk stof har tæret på iltreserverne og sensommerens høje temperaturer giver en ekstra stor omsætning og dermed et stort iltforbrug. Nytilførslen af ilt hæmmes i de lavvandede kystområder i stille varme perioder (figur 37). I åbne områder øges risikoen for iltsvind af vejrforhold, der mindsker vandstrømningen gennem vore farvande.

De giftige opblomstringer kan have omfattende effekter på fisk og bunddyr. Ofte opdages en planktonalgeopblomstring ved at døde fisk, muslinger og andre dyr skylles op på strandene, eller ved at fisk i havbrug dør. Specielt for havbrugerne kan opblomstringer af fisketoksiske arter have store økonomiske konsekvenser. Kendskabet til langtidseffekterne på økosystemerne af de skadelige opblomstringer er derimod meget begrænset. Ligesom efter iltsvind genetableres økosystemerne tilsyneladende relativt hurtigt.



Figur 38. Årsager til og virkninger af planktonalgeopblomstringer. Gule pile illustrerer tilførsel af næringsstoffer. Røde pile illustrerer markante effekter af planktonalgeopblomstringer.

# Overvågning

Forekomsten af planktonalger følges i den rutinemæssige overvågning af miljøtilstanden i søer og hav, og tilstedeværelsen af giftige alger er underlagt nøje kontrol i de områder, hvor der fiskes muslinger.

## Rutineovervågning

Som en del af det nationale overvågningsprogram NOVA2003 undersøger amterne og Danmarks Miljøundersøgelser (DMU) løbende planteplanktons artssammensætning og biomasse på en række stationer i søer og havområder. Også i amternes regionale overvågning indgår undersøgelser af planteplankton. Formålet med undersøgelserne er primært at belyse effekterne af de foranstaltninger, der gennemføres for at forbedre miljøtilstanden. Målet for undersøgelserne er at vurdere langtidsviklingen i planktonalgensamfundene: Ændres antallet af planktonalger og af algeopblomstringer? Ændres artsammensætningen? Ændres andelen af giftige alger? Hvad betyder ændringerne for økosystemerne? Resultaterne giver imidlertid også oplysninger, der kan hjælpe myndighederne til at vurdere den potentielle fare for planktonalgeopblomstringer og forekomst af giftige alger. Under opblomstringer, der giver særlige problemer, suppleres rutineovervågningen med ekstra undersøgelser, så udviklingen og effekterne kan følges. Ved opblomstringer i de åbne farvande sker dette i samarbejde med vore nabolande.

## Varslingssystemet

For at sikre at oplysninger om algeopblomstringer og giftige alger når frem til de relevante myndigheder, har staten og amterne et informations-netværk. I dette indgår såvel administrative myndigheder som forskningsinstitutioner, herunder amterne, Miljøstyrelsen og Veterinær- og Fødevaredirektoratet samt DMU, Danmarks Fiskeriundersøgelser (DFU) og Botanisk Institut ved Københavns Universitet. Meldinger om planktonalgeopblomstringer og usædvanlige forekomster af giftige alger samles hos DMU, der sørger for videreformidling i Danmark samt for informationen til og fra vore nabolande. Veterinær- og Fødevaredirektoratet står for vurderingen af risikoen for humantoksiske effekter. I tilfælde af større opblomstringer har myndighederne en alarmgruppe, der tager stilling til, hvad der kan og bør gøres, og hvem, der tager sig af opgaverne.

Ved større opblomstringer kan information findes på DMUs hjemmeside på adressen:

[www.dmu.dk](http://www.dmu.dk)

Information om lokale opblomstringer varetages af de lokale myndigheder (kommuner og amter). Oplysningerne indsamles og videreformidles på forskellig måde, men hyppigt har amterne en miljøvagt eller miljømedarbejdere, der har de relevante informationer.

Figur 39.  
Muslingefiskeri i dansk kystområde. På billede 3 fra oven udtages vandprøve til undersøgelse for giftige planktonalger.



Tilsyn med badestrandene hører under kommunerne, som er ansvarlige for den løbende kontrol af badevandskvaliteten. Kontrollen omfatter normalt kun undersøgelser for sygdomsfremkaldende bakterier, men specielt under algeopblomstringer kan observationer af alger også blive inddraget.

## Muslingekontrol

Virksomheder, der forarbejder muslinger til videresalg skal autoriseres til dette. Muslingeerhvervet må kun indsamle muslinger i områder, der er åbnet for muslingefiskeri. Åbning af fangstområder sker på basis af ugentlige analyser af forekomsten af potentielt giftige alger og kødprøver fra blåmuslinger. Et område åbnes for fiskeri efter muslinger i en uge, hvorefter det automatisk lukkes, såfremt der ikke forinden er udtaget nye prøver, der resulterer i en fornyet åbning af området. Kødprøverne fra blåmuslinger analyseres ved en såkaldt musetest, og i tilfælde, hvor der er særlig mistanke om algegifte, gennemføres også kemiske analyser. Musetesten er den internationalt anerkendte testmetode ved undersøgelser af fødevarer for algegifte. Den giver et samlet billede af muslingernes giftighed overfor pattedyr, herunder mennesker. Et ekstrakt af muslingekød injiceres i mus og reaktionen følges i 24 timer. Ud fra musenes reaktion er det muligt at vurdere, hvilke forgiftningstyper muslingerne kan give (DSP, PSP, ASP).

Der arbejdes i øjeblikket på at finde andre metoder end musetesten, men endnu har man ikke fundet en teknik, der på samme måde viser muslingekødets totale giftighed over for mennesker. Med kemiske analyser kan man kun påvise kendte giftstoffer. Da der hele tiden opdages nye giftstoffer, kan kemiske analyser i hvert fald ikke i øjeblikket erstatte musetestene.

Muslingeovervågningen udføres af muslingeerhvervet og koordineres og godkendes af Veterinær- og Fødevaredirektoratet. De seneste meldinger om giftige alger og status for fiskeriområderne kan høres på den automatiske telefonsvarer på:

3396 3682

# Gode råd

Når man bader, samler muslinger eller fanger fisk kan man afhjælpe fare for algegifte

Miljømyndighederne vurderer i forbindelse med den almindelige overvågning om der er potentiel fare for algegifte, og opsætter i nogle tilfælde advarselsskilte. Det er imidlertid ikke muligt at undersøge hver eneste lokalitet, hvor der bades, fiskes eller samles muslinger. Det er derfor nødvendigt, at man selv vurderer situationen. Da det er umuligt at afgøre, om der er giftige alger eller algegifte i vandet uden en nærmere undersøgelse, er det bedste man kan gøre at følge nogle generelle råd (se til højre).

Vær opmærksom på symptomer på gift-effekter. Hvis man bliver dårlig efter kontakt med algerigt vand eller efter at have spist muslinger og fisk, bør man henvende sig til sin læge. Hvis det er muligt, medbringes henholdsvis en prøve af det algerige vand eller rester af måltidet.

Mange symptomer på algeforgiftning ligner symptomer ved bakterieforgiftning. Typiske symptomer er rød kløende hud, irritation i øjnene, ubehag ved vejrtrækning, almindeligt ildebefindende, kvalme, opkastninger diarré og følelsesløshed, se tabel 1 og tabel 3. De stærke muslinge- og nervegifte giver prikken i munden, svimmelhed, og i svære tilfælde lammelser og åndedrætssvigt. Specielt skal man være opmærksom på symptomer hos børn, som nemt kan indtage større mængder vand.

Planktonalgeopblomstringer kan forveksles med andre fænomener

I beskyttede kystområder findes ofte større ansamlinger af løstliggende trådalger. Bedst kendt er fedtmøg, som er brunt, og søsalat og rørhinde, der er grønne. Trådalger ses som fine tråde på hånden, efter man har ladet den glide igennem vandet, mens plankton-algerne virker som farve/maling, der er opløst i vandet. De løstliggende trådalger kan være ubehagelige at bade i, men de er ikke giftige.

I maj-juni kan store mængder birke- og senere fyrrepollen lægge sig på vandet i søer og kystområder. Pollen danner gullig-beige lag på vandoverfladen, der kan forveksles med planktonalgeopblomstringer. Pollen er ikke giftigt.

Usædvanlige misfarvninger, der dækker større områder i søer, fjorde og på havet, eller fund af usædvanligt mange døde dyr langs stranden, kan meldes til amtets miljømedarbejdere eller i nogle amter miljøvagten. Opblomstringer på åbent hav meldes til Danmarks Miljøundersøgelser.

## Når man bader

- Se efter om der er opsat skilte, der advarer mod badning
- Lad aldrig børn bade i vand, hvor skiltningen viser, at der er risiko for algegifte
- Undlad at bade og lad ikke dyr drikke af vandet, hvis vandet ligner maling, og man ikke kan se sine fødder, når man går ud i vand til knæene



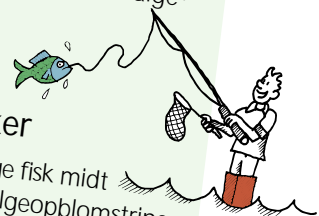
## Når man samler muslinger

- Ring og hør seneste resultat af muslinge kontrollen, hvis muslinger samles i et område, der overvåges
- Vær opmærksom på risikoen for muslingetoksiner i områder, der ikke overvåges
- Gem altid en prøve til gifttest i køleskabet i 24 timer efter indtagelse af muslinger
- Vær opmærksom på symptomer på forgiftning med algegifte



## Når man fisker

- Undlad at fange fisk midt i en planktonalgeopblomstring
- Saml ikke fisk, der ligger døde i vandet



# Alger er primitive planter

Algerne er blandt de ældste grupper af organismer på jorden. Ligesom mosser og højere planter indeholder algerne klorofyl og andre pigmenter, som gør dem i stand til at udnytte sollysets energi til at udføre fotosyntese. De mangler imidlertid mange af de egenskaber, der karakteriserer de højerestående planter. Langt de fleste alger er encellede organismer, og de flercellede danner kun undtagelsesvis egentlige cellevæv. De højere planters celler er derimod specialiserede og danner komplekse væv til transport af vand og stofskifteprodukter.

viklingen (evolutionen) fra de mest primitive organismer til nutidens planter og dyr har således taget milliarder af år. Forfædrene til mange af de nuværende dyre- og plante-grupper formodes at være udviklet for ca. 2 milliarder år siden.

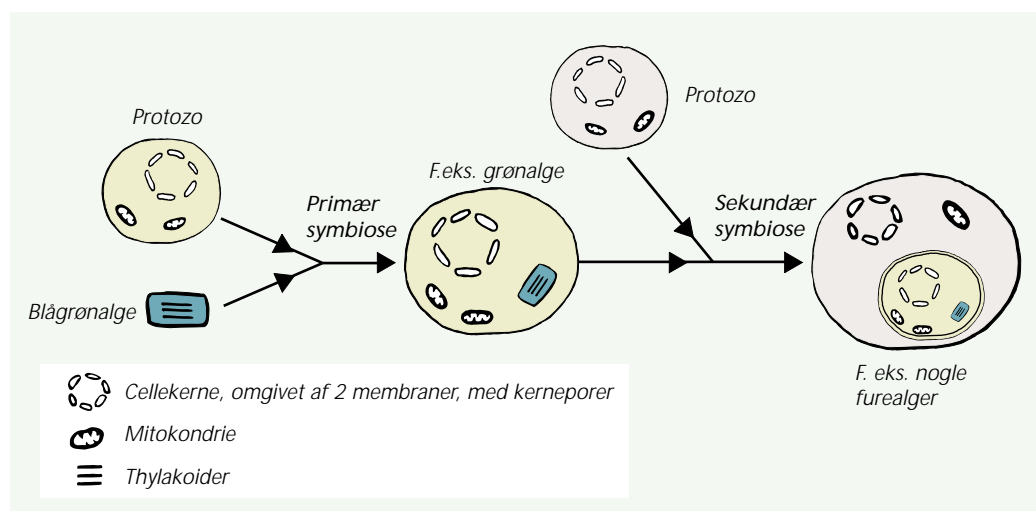
## Primitivt, men komplekst

Indtil for få år siden troede man, at algerne udgjorde en naturlig systematisk gruppe af organismer. Der er imidlertid inden for de sidste 10-15 år vendt op og ned på opfattelsen af, hvorledes de primitive dyr og planter er udviklet. Man er enige om, at de mest primitive organismer er de såkaldte prokaryoter, som er bakteriellignende organismer, af hvilke kun blågrønalgerne (også benævnt cyanobakterier) har evnen til klorofyl a-baseret fotosyntese. Det væsentligste karaktertræk ved prokaryoterne er, at de mangler en egentlig cellekerne, hvorfor deres DNA ligger frit i cellerne. For de prokaryote alger gælder desuden, at deres fotosyntese foregår frit i cellen, da de tillige mangler klo-

## Algerne gav ilt på jorden

Der er fundet alge-lignende fossiler i ca. 4 milliarder år gamle sedimenter, dvs. sedimenter som er aflejret omkring 600 millioner år efter jordens dannelse. På dette tidspunkt var atmosfæren iltfri, og udviklingen af blågrønalger, der udfører fotosyntese, anses for at være årsagen til, at atmosfæren blev ilttrig og dermed muliggjorde tilblivelsen af mere komplekst byggede planter og dyr. Ud-

**Figur 40.** Kloroplasternes evolution. Kloroplasten opstod som en symbiose mellem en blågrøn-alge og en protozo, en såkaldt primær symbiose. I stedet for at nedbryde blågrønalgen i en fødevakuole, bevarede protozoen den mere eller mindre uændret i vakuolen. Størstedelen af blågrønalgens DNA overførtes dog efterhånden til protozoens cellekerne. Grøn-alger og rødalgers kloroplaster er opstået på denne måde. Ved en sekundær symbiose blev en grøn-alge eller en rødalge optaget af en anden protozo, som bevarede den i en vakuole. Denne såkaldt sekundære symbiose gav ophav til kloroplasterne hos øjealger, rekyalger, kiselalger, osv. En tertiær symbiose omfattende en heterotrof furealge og en diatome gav ophav til kloroplasten hos en furealge som f. eks. *Peridinium balticum*.



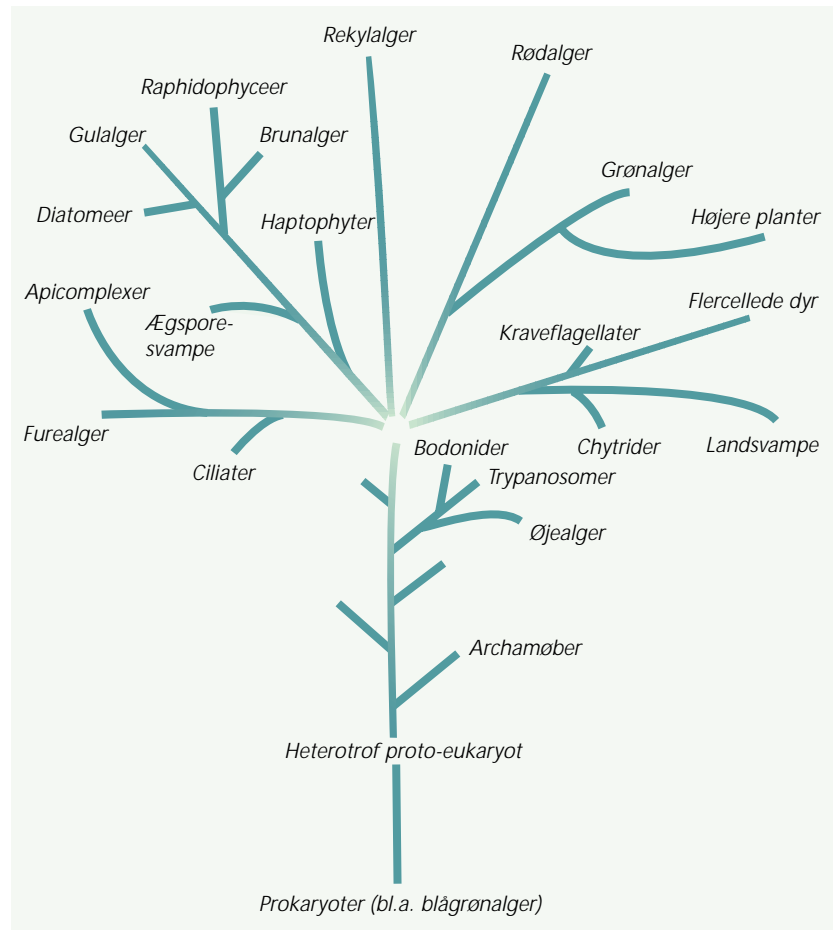
roplaster. Hos eukaryoter indeholder cellerne en egentlig cellekerne omgivet af en dobbeltmembran, og hos de eukaryote alger er fotosynteseapparatet også omgivet af membraner.

De første eukaryoter formodes at have været encellede dyr (amøber og flagellater), der ernærede sig fagotroft, dvs ved at fange andre organismer. Byttet blev optaget i fødevakuoler i cellen og nedbrudt. Samme mekanisme førte til dannelse af de første eukaryote alger, idet blågrønner blev optaget i fødevakuoler af de encellede dyr. I stedet for at blive nedbrudt blev blågrønnernes membraner og deres fotosynteseapparat imidlertid bevaret. Den eneste karakter, som adskiller dyr og planter, nemlig planternes evne til fotosyntese, er således erhvervet via endosymbiose mellem encellede dyr og blågrønner (figur 40). De bevarede dele af blågrønnerne blev til kloroplaste, som er det celleorgan, hvori fotosyntesen foregår. De første alger udviklede sig, nye grupper opstod og nogle af algerne blev optaget af andre amøber og flagellater, som igen bevarede dele af algerne i stedet for at nedbryde dem. Dermed opstod en ny type alger, hvis kloroplaste er dannet ved såkaldt sekundære symbioser (figur 40). Processen gentog sig, og hos nutidige alger er kloroplaste opstået ved en eller flere symbioser. De primitive dyr og planter klassificeres nu sammen med primitive svampe under fællesbetegnelsen protister. Alger er dermed ikke længere et taksonomisk begreb, men betegnelsen for en plantegruppe omfattende primitive organismer, som foretager fotosyntese ved hjælp af klorofyl a.

## Algernes stamtræ

Figur 41 viser udviklingen af eukaryoter, som den nu formodes at være foregået. De fleste nulevende grupper antages at være opstået på omtrent samme tidspunkt, de såkaldte krongrupper („crown groups“). De enkelte algegrupper forekommer spredt rundt i træet, og mange af algerne hører til grupper, eller klasser, der både omfatter fototrofe og heterotrofe organismer. For eksempel omfatter dinoflagellaterne både fototrofe (og mixotrofe) furealger og heterotrofe flagellater. Dinoflagellaterne er som det ses af træet beslægtede med ciliaterne, der er små encellede dyr, som er meget almindelige i dyreplankton.

Figur 41. Algernes stamtræ. Ved træets rod findes de prokaryote blågrønner sammen med de øvrige bakterier. Træets krone omfatter hovedparten af de eukaryote algeklasser. Ved undersøgelse af algernes indbyrdes slægtskabsforhold anvendes i dag undersøgelser af svingtrådsapparatets ofte komplicerede opbygning, strukturen af cellekernen, cellevæggen eller andre komponenter i cellen, foruden DNA-undersøgelser. Stamtræet her er baseret på såvel finstruktur som DNA-undersøgelser.





# Sammenfatning

Giftige planktonalger er udbredte både i ferskvand og havområder over hele jorden. I ferskvand er problemer med giftige planktonalger især knyttet til drikkevandsreservoirer, fordi der er risiko for, at algegiftstofferne ender i drikkevandet. Alvoren i dette er forstærket de seneste år, efter at man har konstateret, at nogle giftstoffer har kroniske effekter og kan være kræftfremmende. De giftige forekomster har også stor betydning for badevandskvaliteten, og fra udlandet er der mange eksempler på badende, der er blevet syge eller har fået eksem efter at have svømmet i en giftig planktonalgeopblomstring. I Danmark er problemets omfang ikke undersøgt, men giftproducerende arter og deres giftstoffer er fundet i et stort antal danske søer. Årsagen til problemerne i ferskvand er næsten udelukkende blågrønalger (også kaldet cyanobakterier). I søer er de mest almindelige giftproducerende blågrønalgeslægter *Microcystis*, *Anabaena* og *Planktothrix*. Giftige blågrønalgeopblomstringer i danske havområder skyldes *Nodularia spumigena*.

I havet skyldes de største humantoksiske problemer med relation til giftige planktonalger, at folk spiser muslinger og fisk, der har opkoncentreret algegifte. Giftige muslinger er et generelt problem, mens giftige fisk er udbredte i troperne. Gifteffekten afhænger af hvilke arter og dermed giftstoffer, dyrene har ædt. Selv lave koncentrationer af planktonalger kan give store gifteffekter, fordi giftene opkoncentreres. Giftstofferne giver anledning til en lang række forskellige typer forgiftninger, som spænder fra milde effekter som maveonde til svære tilfælde med lammelser, der kan medføre døden. Diarréfremkaldende og

paralysefremkaldende muslingeforgiftning er de mest kendte og udbredte (forkortes DSP og PSP efter de engelske betegnelser). I Danmark er de arter, der danner DSP- og PSP-gifte almindelige i plankton hver sommer, og der er ofte påvist DSP-giftstoffer i muslinger. Løbende kontrol af muslinger sikrer dog, at de giftige muslingerne ikke når ud til forbrugerne, og tilfælde af muslingeforgiftning er meget sjældne herhjemme. Både muslingeforgiftning og fiskeforgiftning skyldes i langt de fleste tilfælde furealger. I danske farvande er især slægterne *Dinophysis* og *Alexandrium* almindelige.

I Danmark har især opblomstringer af arter, der kendes for deres gifteffekter på fisk og bunddyr, givet anledning til stor presseomtale. Det skyldes, at opblomstringerne kommer uventet, og at disse arter optræder i meget høje koncentrationer og har markante effekter på økosystemerne i form af fiskedød og død af bunddyr. Opblomstringer af fisketoksiske arter er sjældne i ferskvand, men forekommer i flere af vores brakvandssøer. Enkelte arter er furealger, men hovedparten tilhører andre grupper af små flagellater. I brakvandssøer skyldes giftalgeproblemer næsten altid *Prymnesium parvum*. I havet er sensommeropblomstringer af *Gymnodinium mikimotoi* regelmæssigt tilbagevendende. De opblomstringer, der har givet størst omtale på grund af deres effekter og store geografiske udbredelse, er *Chrysochromulina*-opblomstringen i 1988 og *Chattonella*-opblomstringen i 1998.

De fisketoksiske arter producerer så vidt vides ikke giftstoffer, der giver human-

toksiske problemer. Giftstofferne hos denne gruppe er dog meget dårligt undersøgt. De humantoksiske arter og deres giftstoffer påvirker derimod ikke kun mennesker, men også dyr. Det er især dyr øverst i fødenettet, der er udsatte, fordi de ligesom mennesker æder føde, der har opkoncentreret algegiftene. Også mindre dyr og andre planktonalger reagerer på algegiftene, og en udbredt teori har været, at giftene er kampstoffer som de giftige planktonalger udskiller for at komme deres konkurrenter til livs. I dag er de fleste forskere dog enige om, at der ikke findes en enkelt forklaring på, at en meget lille andel af planktonalgerne har udviklet denne særlige evne til at producere giftige forbindelser.

Mængden af giftstof varierer hos den enkelte art og arterne imellem. Giftproduktionen afhænger af algernes livscyclus og påvirkes af det omgivende miljø. Nogle arter er ikke altid giftige. Det medfører, at det er svært at overvåge de giftige alger. Artens tilstedeværelse indikerer, at der kan være giftstoffer tilstede, men kun en direkte undersøgelse kan vise om det er tilfældet. Tilsvarende kan man med få meters mellemrum finde giftige og ugiftige populationer.

Kemisk spænder giftstofferne fra små simple til store komplekse molekyler. PSP-giftene er komplekse molekyler. De kaldes også saxitoxiner efter den kendte og meget giftige forbindelse saxitoxin. Mange algegiftstoffer er polyætere, men deres strukturer og virkemåder er vidt forskellige. NSP- og ciguatera-giftene er ligesom PSP-giftene nervegifte og påvirker centralnervesystemet. DSP-giftene hæmmer derimod specifikke enzymsystemer i cellerne. De mest udbredte cyanogiftstoffer er microcystiner, der er simple peptider. Microcystinerne angriber især leverceller og kaldes derfor levergifte. Mange fisketoksiske arter

producerer galactolipider med hæmolytiske effekter, men sandsynligvis skyldes gift-effekterne også - eller måske i højere grad - en række andre kemiske forbindelser.

Gamle beretninger og overleveringer viser, at forekomst af giftige planktonalger ikke er et nyt fænomen. Giftproducerende arter har sandsynligvis altid været en del af planteplankton. Den øgede tilførsel af næringsstoffer til vandmiljøerne har imidlertid øget mængden af planteplankton, og dermed også øget risikoen for forekomst af giftige planktonalger og planktonalgeopblomstringer. Dette er medvirkende til, at vi stadig opdager „nye“ giftige arter. Arter, der tidligere kun fandtes i uanselige mængder, danner pludselig masseforekomst og deres giftvirkninger bliver synlige. For mange planktonalger erkendes deres giftighed først, når de findes i stort antal. Dertil kommer, at opmærksomheden, på hvad der sker med vores miljø, er vokset indenfor de seneste 20 år. Chancen for, at en opblomstring registreres, er derfor også øget. Det er svært statistisk at påvise, at antallet af giftige planktonopblomstringer er øget. Kun i få områder er der sket en systematisk indsamling af data, der går tilstrækkeligt langt tilbage i tiden til at danne grundlag for en analyse. Uden lange tidsserier af data er det vanskeligt at adskille den faktuelle udvikling og effekten af den øgede opmærksomhed.

Planktonalgeopblomstringer ses hver sommer i søer og hav. Normalt har planktonalgeopblomstringer en begrænset geografisk udbredelse. Havstrømme kan imidlertid sprede både næringsstoffer og planktonalgerne over store områder. Uanset om opblomstringerne er giftige eller ej, styres de af de samme mekanismer. Planktonalger skal ligesom andre planter have rigeligt med lys og næring for at vokse og formere sig. Planktonalgeopblomstringer

opstår derfor ofte i perioder, hvor der for nyligt er tilført nye næringsstoffer, og hvor vejret er roligt og solrigt. Nye næringsstoffer tilføres ved flere forskellige processer. I forbindelse med kraftigt regnvejr er afstrømningen af ferskvand stor og næringsstoffer føres fra landbrugsjord og naturarealer ned i vandløb og ud i søer og fjorde. Regnen tilfører også næringsstoffer direkte, fordi den indeholder høje koncentrationer af kvælstof. Blæsevejr giver nye næringsstoffer, når vinden er kraftig nok til at blande næringsrigt bundvand op i overfladen. Roligt og solrigt vejr giver planktonalgerne mulighed for at blive tæt ved overfladen, hvor de gode lys- og næringsforhold fremmer deres vækst. Da økosystemet skal have tid til at indstille sig på den højere primærproduktion, er græsserne ikke i stand til at udnytte den pludselige stigning i mængden af føde med det samme. Planktonalgerne kan derfor vokse uden at blive ædt, og grundlaget for en opblomstring er skabt. Hvis den opblomstrende art er giftig, påvirker giftstofferne mange af de andre planktonorganismer ved at gøre dem inaktive og hæmme deres vækst. I værste fald slår de både små og større dyr ihjel. Giftstofferne fremmer derfor opblomstringer af giftige arter, når koncentrationen af planktonalgen og dermed dens giftstof er nået over en kritisk grænse. Den kritiske grænse afhænger af arten og styrken af dens giftstoffer.

Planktonalgeopblomstringer kan have stor negativ effekt på økosystemerne, fordi størstedelen af planktonalgerne synker ned på bunden. Her nedbrydes de under forbrug af ilt. Hvis der ikke tilføres nyt ilt til erstatning af det brugte, falder iltkoncentrationen i bundvandet drastisk og i værste fald forsvinder ilten helt. Der opstår iltsvind. I fjordområder nedsættes tilførslen af ilt til bunden især, når vandet

står stille og solen opvarmer de øverste vandlag. Iltsvind medfører død af bunddyr og ved kraftigt iltsvind fisk. Hvis planktonalge-opblomstringen er giftig, udsættes bunddyrene ikke kun for dårlige iltforhold, men også for giftstoffer, der kan slå dyrene ihjel.

Forekomsten af planktonalger og koncentrationen af planteplankton undersøges ligesom iltforholdene regelmæssigt gennem vækstsæsonen i forbindelse med den almindelige overvågning af miljøtilstanden i søer og hav. Overvågningen varetages af miljømyndighederne i amterne og af Danmarks Miljøundersøgelser. Ved større planktonalgeopblomstringer igangsættes særlige undersøgelser for at kortlægge omfanget, virkningerne og årsagerne. Oplysninger om usædvanlige forekomster og opblomstringer i havet samles hos Danmarks Miljøundersøgelser. I alarm-situationer koordineres indsatsen af en alarmgruppe med repræsentanter fra Miljø- og Energiministeriet, Fødevarerministeriet og amterne. I områder, hvor der fiskes muslinger til videresalg, skal forekomsten af giftige planktonalger og giftstoffer altid undersøges. Et parti muslinger må ikke sælges uden godkendelse fra Fødevaredirektoratet.

# Ordlister

**Aerotoper:** Luftfyldte hulrum i blågrønalgeceller. Blev tidligere kaldt luftvakuoler.

**Akineter:** *Hvileceller* hos blågrønalger.

**Alkaloider:** Kemisk betegnelse for en gruppe basiske *organiske* forbindelser. Eksempler på alkaloider er nikotin og koffein. Nogle algegifte er alkaloider.

**Allelopati:** Produktion af kemiske forbindelser, der hæmmer andre organismers vækst eller slår dem ihjel.

**Ballastvand:** Vand i tanke i bunden af skibe, som skal sikre at skibene ikke kæntrer.

**Ciliater:** Dyregruppe, der er meget almindelig i plankton. Nogle ciliater kan udnytte kloroplasterne hos de alger, som de spiser. De kan derfor udføre *fotosyntese* og fungerer derved ligesom alger.

**Cyste:** Tykvægget *hvilecelle* hos furealger og andre *flagellater*.

**DNA:** Molekyler som indeholder de genetiske koder. DNA er en forkortelse for deoxyribonucleinsyre.

**Epithel:** Lag af sammenhængende celler, der dækker frie overflader på blodkar, tarme, gæller etc.

**Eukaryoter:** Organismer, hvis celler har en kerne omgivet af en kernehinde.

**Eutrof:** Næringsrig, bruges især om søer og havområder.

**Eutrofiering:** Berigelse med næringsstoffer, dvs. at gøre et område næringsrigt. Det kan ske ved en naturlig proces, men udtrykket bruges hyppigst om menneskeskabte tilførsler af kvælstof og fosfor.

**Fagotrofi:** Når encellede organismer spiser andre organismer ved at optage dem i *fødevakuler* inde i cellen.

**Farvande:** Store havområder som Kattegat, Storebælt, Østersøen. Til tider bruges udtrykket dog om alle havområder, inklusiv fjorde, bugter o.l. Til tider bruges beteg-

nelsen „åbne farvande“ for at tydeliggøre, at der ikke er tale om fjorde og bugter.

**Fisketoksisk:** Giftig for fisk. De organismer og giftstoffer, der betegnes fisketoksiske, kan også være giftige for andre dyr og i nogle tilfælde planter.

**Flagellater:** Gruppe af encellede *fototrofe* eller *heterotrofe* organismer, der har *flageller*, der gør dem i stand til at bevæge sig i vandet.

**Flagel:** Lang tynd trådlignende udvækst hos flagellater, sædceller, m.fl. Udfører undulerende bevægelser som gør, at cellerne bevæger sig. Hos fastsiddende former skaber bevægelserne en vandstrøm med fødepartikler henimod cellen. Fytoflagellater har ofte 2 flageller.

**Fotosyntese:** Proces, som ved hjælp af lysenergi omdanner kuldioxid og vand til sukkerstof og derved omdanner fysisk energi til kemisk energi.

**Fototrofi:** Når organismer udfører *fotosyntese*, og dermed bruger lysenergi til at danne organisk stof.

**Fytoflagellater:** En *flagellat*, der har *klorofyl* og kan udføre *fotosyntese*.

**Fødekæde:** Kæde af organismer, hvorigenem kemisk energi og føde føres gennem økosystemet fra primærproducenterne til de største byttedyr: Eksempel fra marint økosystem: alger -> ciliater -> krebsdyr -> fisk -> sæler.

**Fødenet:** Beskrivelse af hvem der spiser hvem i et økosystem. I sin simpleste form en *fødekæde*, men hyppigst et net, hvor flere grupper af organismer kan spise samme type føde.

**Fødevakule:** Hulrum inde i cellen, hvor fast føde nedbrydes. Hulrummet er omgivet af en membran. Se *fagotrofi*.

- Galactolipider:** Type fedtstoffer, hvoraf nogle er giftige. Mange fisketoksiske arter producerer denne type forbindelser. Deres *hæmolytiske effekt* har været brugt til at identificere dem. Kendskabet til deres effekter på dyr og planter er meget begrænset.
- Gameter:** Celler, som indgår i den kønede forering, hvor to gameter smelter sammen og danner en *zygote*.
- Græsning:** Når nogle organismer spiser andre organismer. I plankton kaldes de organismer, der spiser, for græssere.
- Haptonema:** Et stilkagtigt *organel* hos haptophyter. Det bruges bl.a. til at opsamle føde. Haptonemaet sidder mellem de 2 *flageller*.
- Havbrug:** Fødevareindustri som producerer fisk, muslinger, østers og andre skaldyr i bure eller lignende, der placeres i fjorde og kystnære områder. Kaldes også akvakultur.
- Heterocyter:** Særlig type celler hos blågrønalger. Heterocyterne kan optage frit kvælstofgas ( $N_2$ ). Blev tidligere kaldt heterocyster.
- Heterotrofi:** Når organismer optager organisk stof enten i opløst form eller ved at spise andre organismer. Heterotrofe organismer får energi fra det organiske stof.
- Humantoksisk:** Giftig for mennesker. De organismer og giftstoffer, der betegnes humantoksiske, er også giftige for andre dyr og i nogle tilfælde også planter.
- Hvilecelle eller hvilecyste:** Specialiseret celle som indgår i nogle planktonalgers livscyclus. Dannes når vækstforholdene er dårlige. Kan overleve i lang tid indtil vækstforholdene igen bliver gunstige.
- Hæmolytisk effekt:** Evne til at sprænge røde blodceller. Tidligere troede man at tilstedeværelsen af hæmolytiske forbindelser var ensbetydende med tilstedeværelsen af algegifte. Dette har vist sig ikke at være sandt. Se *galactolipider*.
- Iltsvind:** Situationer, hvor iltkoncentrationen er meget lav. Hvor lav koncentrationen af  $O_2$  skal være, før situationen er kritisk afhænger af vandområdets vandtemperaturer og saltholdigheder. I Danmark defineres koncentrationer under 4 mg  $O_2$  pr liter som iltsvind og koncentrationer under 2 mg  $O_2$  pr liter som kraftigt iltsvind. Lave iltkoncentrationer opstår normalt kun i de bundnære vandlag. Det er derfor primært dyr og planter, der lever ved og i bunden, der er udsatte. Når koncentrationen falder under 4 mg  $O_2$  pr liter søger de mest følsomme fisk væk, og bunddyrene bliver mindre aktive. Ved koncentrationer under 2 mg  $O_2$  pr liter flygter de fleste fisk. Hvis det kraftige iltsvind fortsætter i længere tid begynder bunddyrene at dø. Det er dog meget forskelligt, hvor følsomme dyrene er.
- Klorofyl:** Kemisk forbindelse, som er nødvendig for *fotosyntesen* og derfor findes i alle *fototrofe* organismer. Det er klorofyllet, der omdanner lysets energi til kemisk energi. Klorofyl er et grønt pigment.
- Kloroplast:** Organel hos *fototrofe eukaryote* organismer. Det indeholder fotosynteseapparatet med klorofyl og andre pigmenter.
- Krebsdyr:** En gruppe dyr der er meget almindelige i plankton. Omfatter blandt andet vandlopper, der er vigtige i havvand, og daphnier, der især findes i ferskvand.
- Kvælstofgas:** Kvælstof på gasform. Findes i store mængder både i vand og i luften. Den kemiske betegnelse er  $N_2$ . Kun enkelte bakterier i jord og blågrønalgerne er i stand til at udnytte denne kvælstofkilde. Man siger, at de kan fikserer kvælstofgas. Se *heterocyter*.
- Metabolitter:** De organiske forbindelser, der dannes inden i cellerne.
- Mikroskop:** Instrument, hvormed man kan forstørre mange gange. Et lysmikroskop forstørret typisk 50 til 500 gange. Et epifluorescensmikroskop giver samme forstørrelser, men der bruges et specielt lys og cellestrukturer fluorescerer med særlige farver. Derved kan vigtige karakterer

- gøres tydeligere. Scanning- og elektronmikroskoper giver forstørrelser på mange tusinde gange. I det første ses organismerne tredimensionelt på grund af mikroskopets store dybdeskarphed.
- Mixotrofi:** Når organismer både ernærer sig *fototroft* og *heterotroft*.
- Morfologi:** Organismernes form og udseende.
- Nanoflagellater:** *Flagellater* mellem 0,002 og 0,02 mm.
- Niche:** De temperaturer, saltholdigheder osv. som en organisme kan vokse under.
- Organel:** En specialiseret del af cellen, f.eks. kernen, mitokondrier, kloroplaster.
- Organisk:** Stammer fra levende organismer.
- Osmose:** Hvis koncentrationen af f.eks. sukkerstof er forskellig uden for og inden i cellen, er der forskelligt osmotisk tryk på de 2 sider af cellemembranen. Det medfører, at vand diffunderer fra siden med lav koncentration til den med høj koncentration. Dette er en fysisk bestemt proces, der arbejder mod at opnå samme koncentration på begge sider af cellemembranen. Processen kaldes osmose. At det er vandet, der bevæger sig, skyldes at vand kan trænge gennem membranen, mens andre stoffer som sukkerstof og proteiner vanskeligt eller slet ikke trænger igennem. Forskelle i osmotisk tryk kan give problemer i cellerne. De har derfor ofte udviklet mekanismer, der modarbejder udligningen af koncentrationer, såkaldt *osmoregulering*.
- Osmoregulering:** Se *osmose*.
- Palæontologi:** Læren om fortidens organismer.
- Peptid:** Kemisk betegnelse for et stof der består af aminosyrer. Aminosyrer er simple organiske forbindelser, som er meget almindelige i levende organismer. Aminosyrer og dermed peptider er rige på kvælstof.
- Pigmenter:** Farvestoffer. I organismer, der udfører *fotosyntese*, er det pigmenter, der fanger lysets energi. Pigmenterne giver planktonalgerne deres farve. Det vigtigste pigment er *klorofyl*. De øvrige pigmenter kaldes hjælpepigmenter eller accessoriske pigmenter.
- Polyætere:** Kemisk betegnelse for en gruppe af organiske stoffer, hvis væsentligste byggesten er salte af eddikesyre.
- Population:** Samling af organismer af samme art.
- Primærproduktion:** De *fototrofe* organismers produktion af organisk stof.
- Probe:** Engelsk udtryk, som er ved at vinde indpas i dansk sprog. Anvendes dels om apparat dels om kemisk stof, som bruges til at undersøge en bestemt egenskab i cellerne.
- Prokaryoter:** Organismer, hvis celler ikke har en kerne omgivet af en kernehinde og som mangler organeller.
- Saltholdighed:** Mængden af salte i vandet. Ofte angivet som gram salt pr kilo vand = saltpromille (‰). I havvand er natriumklorid det salt, der findes i størst mængde og derfor også det salt som stort set bestemmer saltholdigheden. Natriumklorid er også den vigtigste bestanddel af køkkensalt.
- Skaldyr:** Samlebetegnelse for muslinger, snegle, østers, hummer og krebs. Det er ikke udtryk for, at disse dyr er beslægtede.
- Succession:** Rækkefølge. Bruges i biologisk sammenhæng især om tidlige forandringer i artssammensætningen.
- Svingtråde:** Det samme som *flageller*.
- Zygote:** Den celle der dannes når 2 *gameter* smelter sammen. Indgår i den kønnede formering. Svarer til en befrugtet ægcelle hos mennesker.

# Litteratur

Andersen P (1996) Design and Implementation of some Harmful Algal Monitoring Systems. IOC Technical Series No. 44, UNESCO, 102 s.

Hallegraef GM (1993) A review of harmful algal blooms and their apparent global increase. *Phycologia* 32:79-99

Kaas H, Jensen JP, Henriksen P, Damsøe L (1998) Blågrøn-algetoksiner i bade- og drikkevand. Miljøstyrelsen, Miljøprojekt nr. 435, 172 s.

Sundström B, Edler L, Granéli E (1990) The global distribution of harmful effects of phytoplankton. I Granéli E, Sundström B, Edler L, Anderson DM (eds) Toxic marine phytoplankton. Elsevier NY, p. 537-541

## **Andre relaterede DMU-temarapporter**

Hagström Å, Nielsen TG, Petersen JK & Forbes T. (1996). Havets usynlige liv. TEMA-rapport fra DMU 1996/10, 36 s.

Nielsen TG & Hansen PJ (1998). Dyreplankton i danske farvande. TEMA-rapport fra DMU 1999/28, 64 s.

Paaby H, Møhlenberg F (1996) Kvælstofbelastning af havmiljøet. TEMA-rapport fra DMU 1996/9, 39 s.

## **Anden relevant læsning (Dansk)**

Christoffersen K, Olrik K (1996) Giftige alger i Esrum Sø og Å. Vand & Jord 1: 21-23.

Damsø L, Worm J, Henriksen P, Moestrup Ø (1994) Giftige blågrønalger i Danmark. Vand & Jord 5: 195-198.

Kaas H (1998) Algeopblomstringer, skadelige alger og giftige alger. Miljøbutikken, Miljø- og Energi Ministeriet, Faktuel nr. 12.

Kaas H, Larsen J, Thomsen HA (1988) Algeopblomstringen i foråret 1988. Urt 1988-4: 119-124.

Kaas H, Møhlenberg F, Josefson A, Rasmussen B, Krause-Jensen D, Jensen HS, Svendsen LM, Windolf J, Middelboe AL, Sand-Jensen K, Pedersen MF (1996) Marine områder. Danske fjorde - status over miljøtilstand, årsagssammenhænge og udvikling. Vandmiljøplanens overvågningsprogram 1995. Faglig rapport fra DMU nr. 179, 205 s.

Larsen J, Hansen PJ, Ravn H (1993) Giftige alger i danske farvande. Havforskning fra Miljøstyrelsen, nr 28, 130 s.

Olrik K (1993) Planteplankton - økologi. Miljøstyrelsen, Miljøprojekt, nr. 243, 166 s.

Olrik K (1997) Danmarks planteplankton. Gads Forlag, 108 s.

Sørensen O, Christoffersen, K (1996) Algetoksin i søer. Vand & Jord 1: 17-20.

Ærtebjerg G, Carstensen J, Conley D, Dahl K, Hansen J, Josefson A, Kaas H, Markager S, Nielsen TG, Rasmussen B, Krause-Jensen D, Hertel O, Skov H, Svendsen LM (1998) Marine områder. Åbne farvande - status over miljøtilstand, årsagssammenhænge og udvikling. Vandmiljøplanens overvågningsprogram 1997. Faglig rapport fra DMU nr. 254, 248 s.

## **Anden relevant læsning (Udenlandsk)**

Andersen P (1996) Design and implementation of some harmful algal monitoring systems. Intergovernmental Oceanographic Commission technical series 44, 102 s.

Anderson DM, Cembella AD, Hallegraef GM (1998) Physiological ecology of harmful algal blooms. NATO ASI series, Series G: Ecological Science 41, 662 s.

Chorus I, Bartram J. (1999). Toxic cyanobacteria in water. WHO. E & FN Spon London, 407 s.

Falconer IR (1993) Algal toxins in seafood and drinking water. Academic Press NY, 224 s.

Hallegraef GM, Anderson DM, Cembella AD, Enevoldsen, HO (1995) Manual on harmful marine microalgae. Intergovernmental Oceanographic Commission, Manuals and guides 33, 551 s.

Richardson K (1997) Harmful or exceptional phytoplankton blooms in the marine ecosystem. *Advances in Marine Biology* 31:301-385.

## **Internet:**

### **Alger i danske farvande:**

[www.dmu.dk](http://www.dmu.dk)

### **Oplomstringer langs Norges kyster:**

[www.efan.no/alger/alg.htm](http://www.efan.no/alger/alg.htm)

### **Oplomstringer i farvandene omkring Sverige:**

[www.smhi.se/sgn0102/nodc/reports/alg/](http://www.smhi.se/sgn0102/nodc/reports/alg/)

### **Oplomstringer i Østersøen:**

[www2.fimr.fi/algaline/algaline.htm](http://www2.fimr.fi/algaline/algaline.htm)

### **IOC**

[www.ioc.unesco.org/hab](http://www.ioc.unesco.org/hab)

## **Forfatternes email-adresser:**

Hanne Kaas: [HKa@vki.dk](mailto:HKa@vki.dk)

Øjvind Moestrup: [Moestrup@bot.ku.dk](mailto:Moestrup@bot.ku.dk)

Jacob Larsen: [HAB@bot.ku.dk](mailto:HAB@bot.ku.dk)

Peter Henriksen: [Pet@dmu.dk](mailto:Pet@dmu.dk)

Danmarks Miljøundersøgelser – er en forskningsinstitution i Miljø- og Energi-  
ministeriet. DMU's opgaver omfatter forskning, overvågning og faglig rådgivning  
inden for natur og miljø.

Henvendelse kan rettes til:

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

## **Danmarks Miljøundersøgelser**

Postboks 358  
Frederiksborgvej 399  
4000 Roskilde  
Tlf. 4630 1200  
Fax 4630 1114

*Direktion*

*Personale- og Økonomisekretariat*  
*Forsknings- og Udviklingssektion*  
*Afd. for Systemanalyse*  
*Afd. for Atmosfærisk Miljø*  
*Afd. for Miljøkemi*  
*Afd. for Havmiljø og Mikrobiologi*

## **Danmarks Miljøundersøgelser**

Postboks 314  
Vejløsøvej 25  
8600 Silkeborg  
Tlf. 8920 1400  
Fax 8920 1414

*Afd. for Terrestrisk Økologi*  
*Afd. for Sø- og Fjordøkologi*  
*Afd. for Vandløbsøkologi*

## **Danmarks Miljøundersøgelser**

Grenåvej 12, Kalø  
8410 Rønne  
Tlf. 8920 1700  
Fax 8920 1514

*Afd. for Landskabsøkologi*  
*Afd. for Kystzoneøkologi*

## **Danmarks Miljøundersøgelser**

Tagensvej 135, 4. sal  
2200 København N  
Tlf. 3582 1415  
Fax 3582 1420

*Afd. for Arktisk Miljø*

### **DMU rapporter:**

*Tema-rapporter, faglige rapporter, arbejdsrapporter, tekniske anvisninger, årsberetninger samt et kvartalsvis nyhedsbrev, DMU Nyt. Et katalog over DMU's aktuelle forsknings- og udviklingsprojekter er tilgængeligt via World Wide Web. I årsberetningen findes en oversigt over årets publikationer. Årsberetning og DMU Nyt fås gratis ved henvendelse på telefon 4630 1200.*



# Tidligere temarapporter fra DMU



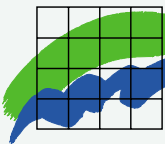
- 1/1994 **Kvælstof tilførsel til Limfjorden,**  
*Brian Kronvang m.fl., 16 sider, kr. 50,-.*
- 2/1994 **Luftforurening i danske byer,**  
*Kåre Kemp og Finn Palmgren, 42 sider, kr. 50,-.*
- 3/1995 **Ozon som luftforurening,**  
*Jes Fenger, 48 sider, kr. 80,-.*
- 4/1996 **Tungmetaller i danske jorder,**  
*John Jensen m.fl., 48 sider, kr. 80,-.*
- 5/1996 **Forureningsbekæmpelse med mikroorganismer**  
*Ulrich Karlson m.fl., 32 sider, kr. 30,-.*
- 6/1996 **Status og jagttider for danske vildtarter**  
*Jesper Madsen m.fl., 112 sider, kr. 110,-.*
- 7/1996 **Naturens tålegrænser for luftforurening**  
*Morten Strandbjerg og Lisbeth Mortensen, 40 sider, Kr. 60,-.*
- 8/1996 **Anskydning af vildt**  
*Henning Noer m.fl., 52 sider, Kr. 80,-.*
- 9/1996 **Kvælstofbelastning af havmiljøet**  
*Henrik Paaby og Flemming Møhlenberg, 40 sider, Kr. 60,-.*
- 10/1996 **Havets usynlige liv**  
*Åke Hagström m.fl., 33 sider, Kr. 50,-.*
- 11/1997 **En atmosfære med voksende problemer..., luftforureningens historie**  
*Jes Fenger, 64 sider, Kr. 90,-.*
- 12/1997 **Reservatnetværk for vandfugle**  
*Preben Clausen m.fl., 52 sider, kr. 80,-.*
- 13/1997 **Næringsstoffer – arealanvendelse og naturgenopretning**  
*Brian Kronvang m.fl., 40 sider, kr. 60,-.*
- 14/1997 **Mikrobiologiske bekæmpelsesmidler i planteproduktion – muligheder og risici**  
*Niels Bolise Hendriksen m.fl., 28 sider, kr. 40,-.*
- 15/1997 **Kemikalier i hverdagen**  
*Suresh C. Rastogi m.fl., 40 sider, kr. 60,-.*
- 16/1997 **Luftkvalitet i danske byer**  
*Finn Palmgren m.fl., 64 sider, kr. 90,-.*
- 17/1998 **Olieeftersforskning og miljø i Vestgrønland**  
*David Boertmann m.fl., 56 sider, kr. 80,-.*
- 18/1998 **Bilisme og miljø – en svær balance**  
*Mette Jensen m.fl., 48 sider, kr. 60,-.*
- 19/1998 **Kemiske stoffer i landbruget**  
*John Jensen m.fl., 32 sider, kr. 40,-.*
- 20/1998 **Naturen og landbruget**  
*Rasmus Ejrnæs m.fl., 76 sider, kr. 100,-.*
- 21/1998 **Skov og skovvandløb**  
*Nikolai Friberg, 32 sider, kr. 40,-.*
- 22/1998 **Hvordan står det til med naturen?**  
*Michael Stoltze, 76 sider, kr. 100,-.*
- 23/1998 **Gensplejsede planter**  
*Christian Damgaard m.fl., 40 sider, kr. 60,-.*
- 24/1999 **Danske søer og deres restaurering**  
*Martin Søndergaard m.fl., 36 sider, kr. 50,-.*
- 25/1999 **Tropisk diversitet - skov og mennesker i Ecuador**  
*Flemming Skov, m.fl., 56 sider, kr. 80,-.*
- 26/1999 **Bekæmpelsesmidler - anvendelse og spredning i miljøet**  
*Betty Bügel Mogensen m.fl. 48 sider, kr. 60,-.*

De enkelte hæfter i serien beskriver resultaterne af DMU's forskning inden for et afgrænset område. Rapporterne er skrevet på letforståeligt dansk og henvender sig til alle, der er interesseret i miljø og natur. Serien er udformet, så den kan bruges i undervisningen i folkeskolens ældste klasser og i gymnasiet.

Det slår næsten aldrig fejl. Når sommeren endelig viser sig fra sin pæne side med høj sol og varme, og en stor del af befolkningen søger til strand og vand for at bade og surfe, så fyldes aviserne og radio- og TV-nyhederne med dramatiske historier om dræberalger, døde fisk og iltsvind. Der udsendes advarsler om fare for eksem og maveonder, hvis man sluger vand med store mængder af planktonalger. Vi advares mod at spise muslinger fra områder, hvor der er giftige planktonalger i vandet. Men hvad er giftige planktonalger? Hvor kommer de fra? Hvad er det for giftstoffer de danner? Hvad er deres effekter? Er de farlige for mennesker? Er de farlige for dyr? Hvorfor danner de og andre planktonalger store opblomstringer?

Denne TEMA-rapport giver læseren en baggrund for at forstå, hvad der ligger bag de næsten årligt tilbagevendende store overskrifter i sommerens aviser om giftige planktonalger og planktonalgeopblomstringer. Og dermed bag nogle af de centrale miljøproblemer i vandmiljøet. Som introduktion beskrives planktonorganismerne og deres rolle i økosystemerne. Endelig sættes algerne afslutningsvis ind i et evolutionært perspektiv. Rapporten bygger på den nyeste viden om giftige planktonalger og planktonalgeopblomstringer.

*Omslagsbilledet viser en opblomstring af Noctiluca.  
(Foto: Helene M. Sørensen)*



Miljø- og Energiministeriet  
Danmarks Miljøundersøgelser

