



K O N I N K L I J K E N E D E R L A N D S E  
A K A D E M I E V A N W E T E N S C H A P P E N

## Algen in het wild

Van de Waal, D.B.; Van Donk, E.

### **published in**

Algen

2013

### **document version**

Publisher's PDF, also known as Version of record

### **document license**

CC BY

[Link to publication in KNAW Research Portal](#)

### **citation for published version (APA)**

Van de Waal, D. B., & Van Donk, E. (2013). Algen in het wild. In *Algen* (Vol. 3, blz. 5-17). (Cahiers Biowetenschappen en Maatschappij). <http://www.biomaatschappij.nl/cahiers/algen/>

### **General rights**

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the KNAW public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain.
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the KNAW public portal.

### **Take down policy**

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

### **E-mail address:**

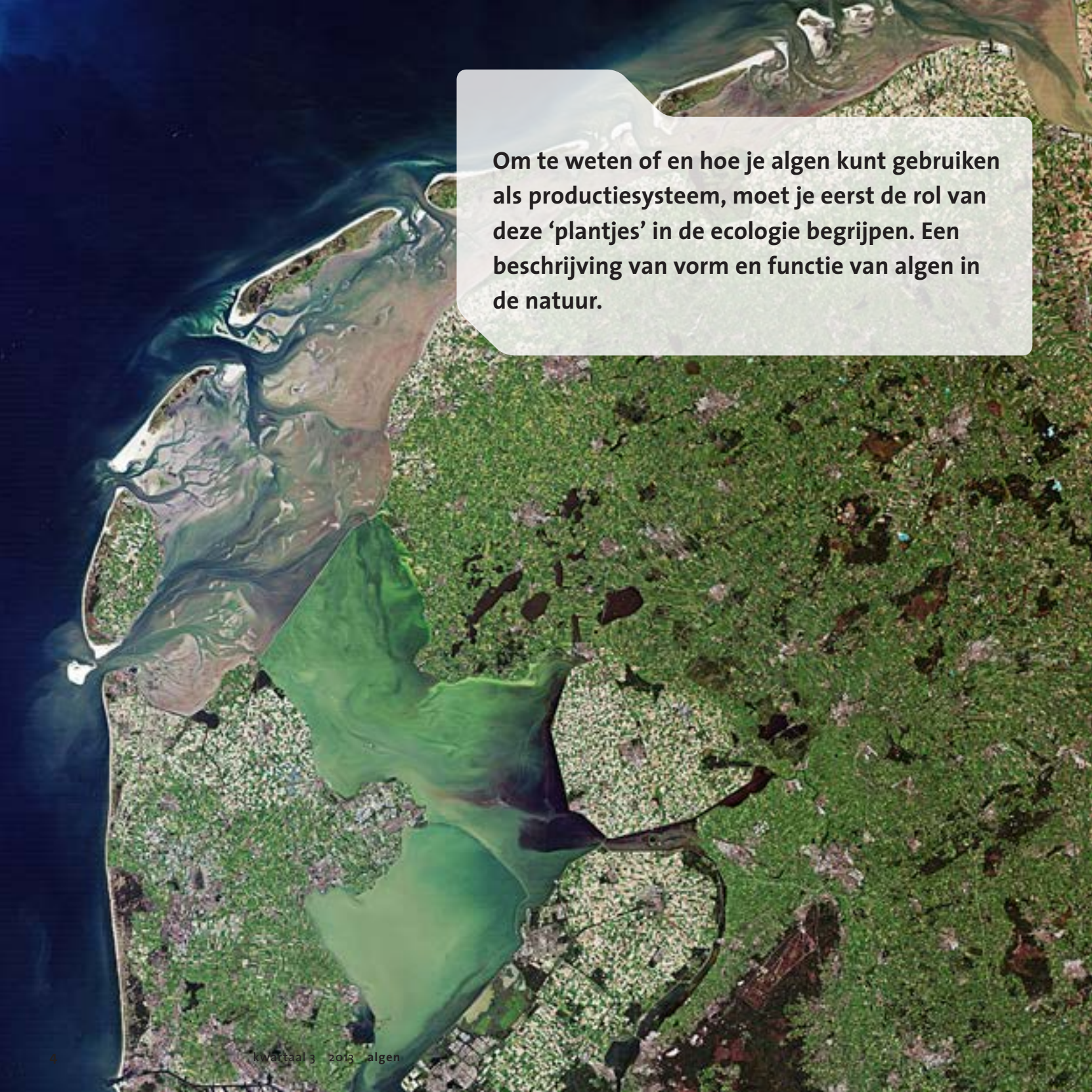
[pure@knaw.nl](mailto:pure@knaw.nl)



*De groene belofte*

# Algen

BIOWETENSCHAPPEN EN MAATSCHAPPIJ  
KWARTAAL 3 2013

An aerial photograph showing a coastal area. The water is dark blue, and the shoreline is covered in green vegetation. A large, irregularly shaped area of bright green, likely an algal bloom, is visible in the water and extending onto the shore. The bloom has a complex, branching pattern. The surrounding land is a mix of green grass and brown patches, possibly dead vegetation or soil. In the bottom left corner, there is a small white box containing text.

**Om te weten of en hoe je algen kunt gebruiken als productiesysteem, moet je eerst de rol van deze 'plantjes' in de ecologie begrijpen. Een beschrijving van vorm en functie van algen in de natuur.**

# Algen in het wild

**E**ÉN ZOMERSE duik in het buitenwater en je zwemt ze geheid tegen het lijf: algen. Het water zit er vol mee. In één theelepel water kunnen tot wel tien miljoen van deze microscopische plantjes rondzweven. Algen worden ook wel fytoplankton genoemd, naar het Griekse *phyton* (plant) en *planktos* (zwevend). Berucht zijn vooral de giftige 'blauwalgen' die onze meren kunnen teisteren in warme zomers, al zijn dat strikt genomen geen algen maar bacteriën. Algen komen niet alleen voor in onze meren maar bijna overal op onze planeet: van het kleinste tuinvijvertje tot midden in de Grote Oceaan. Ondanks hun minuscule formaat spelen algen een belangrijke rol in de chemie en ecologie van meren, zeeën en oceanen.

Net als alle planten zetten algen kooldioxide (CO<sub>2</sub>) en water met behulp van zonlicht door fotosynthese om in koolhydraten en zuurstof. Het licht wordt 'gevangen' met behulp van pigmenten, waarvan het groene chlorofyl de bekendste is. Verder hebben algen ook voedingsstoffen nodig, zoals nitraat en fosfaat. Deze anorganische elementen worden met behulp van koolhydraten omgezet in organische stoffen zoals eiwitten en vetten (figuur 1). Algen zijn dus, net als alle planten, een belangrijke schakel aan de basis van alle

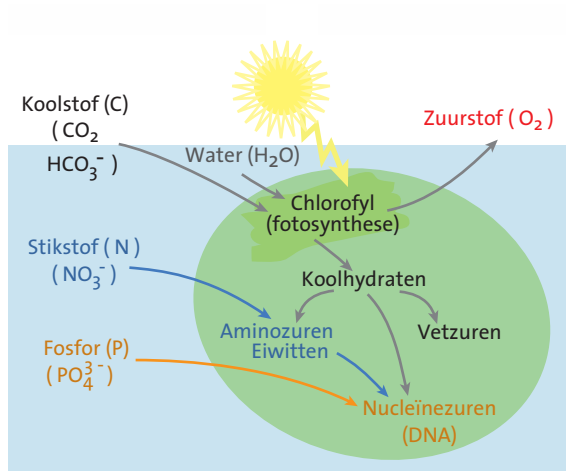
voedselketens, tussen de levende en niet-levende wereld.

## Vorm en inhoud

Het grootste deel van een alg bestaat uit de elementen waterstof (H) en zuurstof (O), afkomstig van het water (H<sub>2</sub>O) in de cel. Daarna zijn koolstof (C) en stikstof (N) het meest voorkomend. Beide worden gebruikt voor het maken van koolhydraten en eiwitten, die essentieel zijn voor de structuur van een cel. Fosfor (P) komt vaak maar in kleine hoeveelheden voor. Toch is ook dat element essentieel voor de werking van de cel. Het is nodig om bijvoorbeeld DNA te kunnen maken. Daarnaast zijn ook bepaalde sporenelementen zoals de metalen ijzer, koper en magnesium belangrijk voor algen om te kunnen groeien.

Volgens de jongste schattingen zijn er bijna 100.000 soorten algen, met een enorme verscheidenheid in vorm, kleur en levensstijl. Algen kunnen bijvoorbeeld rond, staaf-, ster- of raketvormig zijn. De verscheidenheid in kleur komt door verschillende combinaties van groene, blauwe en rode pigmenten die ze gebruiken voor hun fotosynthese. Sommige algen leven alleen als ééncellige, terwijl andere samen een kolonie vormen. Er zijn ook meercellige algen; deze worden ook wel wieren genoemd.

**Figuur 1**  
**Algen zetten CO<sub>2</sub> en voedingsstoffen met behulp van licht om in belangrijke organische stoffen zoals koolhydraten, vetten, eiwitten en DNA.**



De meeste algen nemen in aantal toe door celdeling: de dochtercellen zijn daardoor een kloon van de moedercel. Groei van algen betekent niet zozeer dat cellen groter worden, maar dat het aantal cellen toeneemt.

**Algen diversiteit in een Nederlands meer. In de bovenste rij staan kiezelalgen, in de middelste rij cyanobacteriën en in de onderste rij een dinoflagellaat (links) en drie groenalgen.**



## Namen

De naamgeving van de meeste algen heeft te maken met hun uiterlijk of hun opbouw. Sommige algensoorten hebben bijvoorbeeld een celwand van silicium, ofwel kiezel. Deze soorten worden dan ook kiezelalgen genoemd. Andere algen danken hun naam aan hun kleur. Groenalgen hebben chlorofyl als belangrijkste pigment, waardoor de cellen sterk groen kleuren. Blauwalgen hebben naast chlorofyl ook een blauw pigment waarmee ze licht absorberen. Blauwalgen zijn eigenlijk geen microscopische plantjes maar bacteriën. In tegenstelling tot plantencellen hebben blauwalgen en andere bacteriën geen celkern. Daarom worden ze officieel cyanobacteriën genoemd. Cyaan slaat op hun blauw-groene kleur.

Sommige fytoplanktonsoorten hebben naast chlorofyl ook rode of bruine pigmenten, zoals goudalgen en kiezelalgen. Ook zijn er algen met een 'zweepstaart': een soort haar waarmee ze kun-

nen zwemmen. Dinoflagellaten zijn daar een voorbeeld van. Die naam is afgeleid van het Griekse *dinos* (rondtollen) en *flagellum* (zweep). Dinoflagellaten kunnen in symbiose leven met koralen, ze kunnen de zee doen oplichten (zeevonk) en sommige soorten kunnen ook erg giftig zijn.

De grote verschillen tussen algensoorten zorgen ervoor dat ze ook onder heel verschillende omstandigheden kunnen groeien. Ze hebben allemaal hun eigen specialiteit. In het vroege voorjaar bijvoorbeeld kan het water vol zitten met kiezelalgen. Deze groeien al goed bij lage temperaturen en kunnen dus als eerste algen na de winter tevoorschijn komen. Ze groeien door totdat ze al het silicium uit het water hebben opgenomen. Dan komen meestal de groenalgen tevoorschijn. Deze groeien snel en kunnen hoge dichtheden bereiken. Hun groei stopt als ze alle voedingsstoffen hebben opgenomen en in elkaars schaduw zitten. Onder dat soort omstandigheden zijn cyanobacteriën vaak de uiteindelijke winnaars. Zij kunnen met weinig licht toch nog goed groeien, vooral bij warm weer. Uiteindelijk zorgen de wisselende omstandigheden voor een afwisseling van soorten en kleuren algen in het water.

### Algen zitten overal

De beschikbaarheid van voedingsstoffen, zoals nitraat en fosfaat, bepaalt waar algen kunnen groeien. In gebieden met veel menselijke activiteit, zoals landbouw en industrie, komen vaak veel van die voedingsstoffen in het oppervlaktewater terecht. Een dergelijke vermessing van het water zorgt er vervolgens voor dat algen hier goed gedijen. Dit is ook de reden dat het water in veel Nederlandse meren letterlijk groen ziet van de algen. Het is zelfs vanuit de ruimte te zien! Behalve in voedselrijke sloten en meren komen algen ook voor in voedselarme wateren zoals bijvoorbeeld vennen, al zijn de dichtheden dan veel lager.



In de oceanen zitten veel voedingsstoffen in de diepere waterlagen, waar algen er niet bij kunnen. Alleen in de bovenste honderd meter van het water dringt genoeg licht door voor fotosynthese. Op plaatsen waar het diepere, voedselrijke water naar het oppervlakte komt, komen algen ook in grote hoeveelheden voor. Dit kan veroorzaakt worden door bijvoorbeeld een storm of door zogenoemde opwelling. Opwelling vindt vooral plaats in kustgebieden waar door een afluende wind de bovenste waterlaag van de kust weg wordt geblazen. Hierdoor wordt het koude en voedselrijke diepere water omhoog gezogen. De groei van fytoplank-

**Algen in de Baltische zee zijn vanuit de ruimte te zien als een turquoise zweem in het water.**

ton in kustgebieden wordt ook gestimuleerd door voedingsstoffen die worden aangevoerd met rivierwater, zoals bij de monding van onze grote rivieren in de Noordzee.

In tropische delen van oceanen, ver weg van kustgebieden, beperken voedingsstoffen meestal de groei van algen. Daarom is het water er vaak erg helder. Door de hoge temperaturen ontstaat er een gelaagdheid in het water. Warm water is lichter en blijft dus drijven op zwaarder koud water. Dit fenomeen is in een warme zomer ook te voelen in Nederland in een meer als je je tenen in het diepe, koude water steekt. Een dergelijke gelaagdheid zorgt ervoor dat er maar een beperkte hoeveelheid voedingsstoffen vanuit het koude diepe water in het warme water aan het zonnige oppervlak terecht komt. Toch kunnen sommige cyanobacteriën wel groeien in de bovenste warme en voedselarme laag. Het zijn soorten die geen nitraat nodig hebben als stikstofbron. Net als bepaalde bacteriën die tussen de wortels van planten op het land leven ('wortelknolletjesbacteriën') kunnen ze stikstofgas uit de lucht vastleggen. Het is een bijzondere eigenschap die ervoor zorgt dat er ook midden op de oceanen algen leven.

### Van pionier ...

Cyanobacteriën speelden een essentiële rol in de ontwikkeling van het leven op onze planeet. De eerste cyanobacteriën zijn zo'n 2,7 miljard jaar geleden al begonnen met het produceren van zuurstof, als 'afvalproduct' van fotosynthese. Hierdoor hebben cyanobacteriën een belangrijke eerste bijdrage geleverd aan de aanwezigheid van zuurstof in de atmosfeer: de atmosfeer is door fotosynthese geschikt geworden voor dieren, waaronder de mens.

Tegenwoordig dragen cyanobacteriën samen met algen tot ongeveer de helft bij aan de mondiale fotosynthese. De rest wordt gedaan door landplanten, met name die in de regenwouden.

Fotosynthese in planten en algen vindt plaats in bladgroenkorrels of chloroplasten. Die chloroplasten waren van oorsprong eigenlijk ook cyanobacteriecellen. Deze bacteriën staan dus ook aan de basis van de evolutie van alle algen en planten.

### ... tot plaag

Cyanobacteriën zijn nu vooral bekend van warme zomers, wanneer ze in grote hoeveelheden kunnen voorkomen in het oppervlaktewater. Een extreme groei van cyanobacteriën wordt in de volksmond bloei genoemd maar het is dus eigenlijk een uitbundige groei. Veel cyanobacteriesoorten kunnen zeer giftige stoffen maken, zoals saxitoxine. Dat is één van de meest giftige natuurlijke stoffen: ongeveer 600 keer giftiger dan cyanide. Eén kleine cyanobacteriecel bevat ook maar een kleine hoeveelheid gif, maar tijdens een cyanobacteriebloei zitten er wel heel veel cellen in het water. Samen kunnen die een concreet risico vormen voor de



Een watermonster met cyanobacteriën (l) en hetzelfde monster na een nacht in het donker (r).



gezondheid van mens en dier. Zwemmers kunnen irritaties krijgen aan huid en ogen en ook last van braken en diarree. Al vanaf één slok 'blauwalgenwater' kunnen problemen ontstaan maar de klachten nemen toe met de blootstellingsduur en de concentratie van de blauwalgen. De waterschappen in Nederland controleren dan ook regelmatig op de aanwezigheid van blauwalgen en waarschuwen als de concentratie cellen van mogelijk giftige cellen een afgesproken grenswaarde heeft bereikt.

Sommige cyanobacteriesoorten hebben gasblaasjes waardoor ze kunnen drijven. Hierdoor vormen ze een blauw-groene laag bovenop het water. Deze verachtige laag wordt ook wel een 'drijf laag' genoemd. Het drijfvermogen regelen deze cyanobacteriën zelf. Aan het wateroppervlak, waar veel licht is, kunnen de bacteriën via fotosynthese  $\text{CO}_2$  opnemen en koolhydraten maken. Deze koolhydraten worden niet direct gebruikt maar opgeslagen in de cel. De opgeslagen koolhydra-

ten verhogen de soortelijke massa van de cellen, waardoor ze naar diepere waterlagen zinken waar veel voedingsstoffen zitten. Daar nemen de cellen de nodige voedingsstoffen op waarbij ze de opgeslagen koolhydraten gebruiken als energiebron. Nadat de koolhydraten zijn verbruikt verliezen de cellen hun ballast en gaan ze weer drijven. Boven in de waterkolom kunnen de cellen vervolgens weer koolhydraten maken via fotosynthese en het proces begint opnieuw. Drijfvlagen van blauwalgen komen vooral 's ochtends voor, als tijdens de nacht de opgeslagen koolhydraten zijn verbruikt.

Behalve cyanobacteriën zijn er ook fytoplanktonsoorten die giftige stoffen kunnen maken. Deze komen vooral voor in kustgebieden, maar ook in brakwatermeren. Een voorbeeld zijn dinoflagellaten. Ook hierbij geldt dat één cel maar een onschuldig beetje gif bevat, maar een bloei van deze algen kan wel een gevaar vormen. Veel dinoflagellaten hebben naast chlorofyl ook een bruin-rood pig-



ment en bij grote hoeveelheden kan het water dan ook rood worden. Een dergelijke dinoflagellatenbloei wordt ook wel toepasselijk een 'red tide' genoemd.

Sommige van deze giftige algensoorten worden gegeten door schelpdieren, die de gifstoffen ophopen en daardoor zelf giftig worden. Deze schelpdieren, zoals mossels en oesters, zijn dan niet meer geschikt om te eten omdat ze zogenoemde schelpdierversgiftiging kunnen veroorzaken. Dinoflagellaten kunnen naast autotroof (ze gebruiken anorganische stoffen en produceren organische stoffen, zoals alle planten) ook heterotroof (ze 'eten' organische stoffen zoals alle dieren) zijn. Sommige dinoflagellaten kennen beide mogelijkheden in één en lijken dus op een plant, maar ook op een

dier. Hierdoor kunnen deze dinoflagellaten vaak ook goed groeien in water waar maar weinig voedingsstoffen in zitten.

### Algen in de diepzee

CO<sub>2</sub> uit de atmosfeer reageert met water, waardoor koolzuur ontstaat. Dit koolzuur is erg instabiel en valt uit elkaar in waterstofcarbonaat (HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>) en een proton (H<sup>+</sup>), waarna HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> ook uit elkaar kan vallen. Daarbij komt nog een proton vrij (figuur 2). Een toename van protonen zorgt ervoor dat de zuurgraad van het water toeneemt (de pH wordt lager). Met meer CO<sub>2</sub> in de atmosfeer komen er dus ook meer protonen in het water terecht, dat daardoor zuurder wordt. Dit fenomeen staat bekend als 'oceanverzuring'.

## Het nut van gif

Het gif van cyanobacteriën is voor mens en dier vooral hinderlijk. Maar heeft het ook nog een positieve functie voor de bacterie zelf? Ondanks vele jaren onderzoek is daar nog geen eenduidig antwoord op te geven. De meeste gifstoffen zijn zogenoemde secundaire metabolieten, dat wil zeggen: stoffen die niet direct nodig zijn voor de groei van de cel. Hun productie hangt af van de beschikbaarheid van de juiste voedingsstoffen, van licht en van groei van de alg zelf. Uit recent onderzoek is gebleken dat de gifstof

microcystine uit cyanobacteriën een rol kan spelen in de competitie om CO<sub>2</sub>. Giftige varianten van een cyanobacteriesoort bleken een voordeel te hebben in de strijd om CO<sub>2</sub> ten opzichte van soortgenoten met minder gif. Ook is aangetoond dat de gifstoffen de cel kunnen beschermen tegen schade door reactieve zuurstofverbindingen. In die gevallen lijkt het er dus op dat deze gifstof een fysiologische functie heeft bij koolstofopname en fotosynthese. Het lijkt niet erg logisch dat het gif door de cya-

nobacteriën is 'bedacht' als verdediging tegen dierlijk plankton dat de bacterie zou willen eten. Ondanks dat de gifstoffen wel giftig zijn voor de mens en voor hogere dieren zijn ze niet altijd giftig voor de 'grazers van de bacterie', het zogenoemde zoöplankton. Bovendien bestaat het gen dat codeert voor het maken van de gifstoffen evolutionair gesproken al veel langer dan de potentiële grazers van de cyanobacterie. Als het gif dus dient als bescherming tegen zoöplankton, dan is dat dus hooguit een handige

bijkomstigheid. Ook het feit dat het gif vaak voor een aanzienlijk deel in de cel blijft en niet wordt uitgescheiden pleit voor een andere rol dan verdediging. Toch blijkt de aanmaak van gifstoffen wel gestimuleerd te kunnen worden door de aanwezigheid van zoöplankton. Dat pleit dus wél weer voor een rol in de bescherming. Naast deze mogelijke functies zou het gif ook nog een rol kunnen spelen als feromoon, communicatiemiddel of als antibioticum.

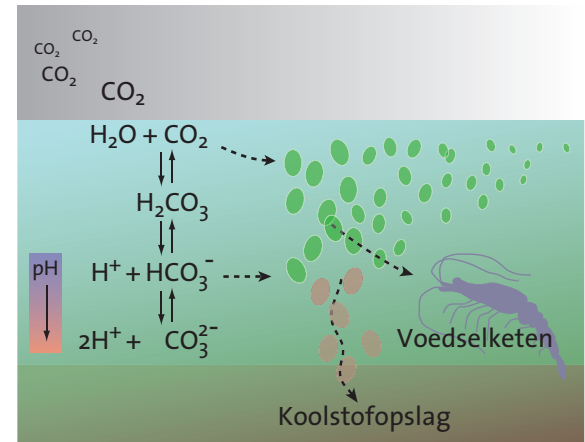
Oceanverzuring heeft allerlei gevolgen voor het leven in het water. Er zijn organismen die een uitwendig skelet van kalk maken, zoals sommige koralen, kreeftachtigen, weekdieren, foraminiferen, maar ook bepaalde algensoorten. In verzuurd water kost het deze organismen meer energie om hun kalkskelet te maken en te behouden. In sommige gevallen lost de kalk zelfs op in het zuurdere water. Hierdoor lijkt oceanverzuring vooral voor deze groep organismen een bedreiging te vormen.

Een deel van het  $\text{CO}_2$  dat in het water terechtkomt wordt via fotosynthese vastgelegd door algen (de groene bolletjes in figuur 2). Deze algen worden op hun beurt gegeten door dieren zoals bijvoorbeeld krill en roeipootkreeften. Maar niet alle algen worden opgegeten. Een deel van de algen zinkt naar de diepzee waar ze eindigen op de bodem van de oceaan. Hier kan het vastgelegde  $\text{CO}_2$  voor een lange tijd worden opgeslagen. Een dergelijk 'transport' van  $\text{CO}_2$  door algen vanuit de bovenste waterlaag naar de bodem van de oceaan wordt ook wel de 'koolstofpomp' genoemd. De koolstofpomp zorgt ervoor dat een deel van het  $\text{CO}_2$  dat in de atmosfeer terechtkomt, bijvoorbeeld door verbranding van fossiele brandstoffen, weer verdwijnt. Zodoende spelen algen een belangrijke rol in de mondiale koolstofkringloop.

### Eindeloze strijd

De grote diversiteit van cyanobacterie- en algensoorten vind je niet in één en dezelfde druppel water. Toch leven veel van deze soorten samen en concurreren ze met elkaar om bijvoorbeeld  $\text{CO}_2$ , licht en voedingsstoffen. Halverwege de vorige eeuw heeft de Amerikaanse ecooloog George Evelyn Hutchinson de vraag gesteld waarom er relatief veel algensoorten kunnen samenleven met maar een klein aanbod van mogelijk beperkende groeifactoren, zoals  $\text{CO}_2$ , licht en voedingsstoffen. Eerder was namelijk aangetoond dat voor iedere groeifactor er vaak uiteindelijk maar één

**Figuur 2**  
Een vereenvoudigd overzicht van het lot van koolstof in het water.



algensoort de 'sterkste' is en de competitie wint. Toch leven er veel meer soorten samen dan dat er beperkende groeifactoren zijn. Dit wordt ook wel de 'planktonparadox' genoemd.

Er zijn verschillende oplossingen voor de planktonparadox. Er kunnen gradiënten zijn van groeifactoren, zoals afnemend licht en een toenemende hoeveelheid voedingsstoffen als je dieper in het water gaat. Ook kunnen groeifactoren zoals temperatuur en licht sterk veranderen met de seizoenen. Iedere algensoort heeft voordeel bij bepaalde

omstandigheden: de optimale groeiomstandigheden. Maar ieder voordeel heeft ook een nadeel. Een dergelijke 'trade-off' draagt bij aan de diversiteit van algen in het water. Als een algensoort goed concurreert om bijvoorbeeld licht, kan dit ten koste gaan van zijn concurrerend vermogen voor voedingsstoffen.

Daarnaast kunnen ook ziektes bij algen, zoals schimmel- en virusinfecties de diversiteit aan algen in het water verhogen. Immers, wanneer een bepaalde soort de

## De planktonparadox: Er leven veel algensoorten in hetzelfde beetje water

## Ijzervreters

Niet overal in de oceaan zijn de belangrijke voedingsstoffen als nitraat of fosfaat beperkend voor de groei van algen. In het water van de Zuidelijke Oceaan rond Antarctica bijvoorbeeld, zitten genoeg van die voedingsstoffen. Hier wordt de groei van algen vooral beperkt door ijzer, dat algen in kleine hoeveelheden nodig hebben voor processen als fotosyn-

these. Door de toevoeging van ijzer zou de groei van algen hier dus gestimuleerd kunnen worden. Door deze zogenoemde ijzerbemesting zou je zelfs de 'koolstofpomp' kunnen stimuleren; met meer algen wordt ook meer CO<sub>2</sub> naar de diepzee getransporteerd. Ijzerbemesting lijkt vooral te kunnen werken wanneer de algensoorten die gestimuleerd worden

beschermd zijn tegen begrazing, zodat ze de diepzee kunnen bereiken en niet voortijdig worden opgegeten. Dit zijn bijvoorbeeld bepaalde kiezelalgen die te groot zijn voor de grazers. Ondanks dat ijzerbemesting de CO<sub>2</sub>-concentratie in de atmosfeer zou kunnen terugdringen, is deze vorm van 'geo-engineering' omstreden. De precieze gevolgen voor

de koolstofpomp en de effecten op de ecologie van de Zuidelijke Oceaan zijn nog grotendeels onbekend. Vanwege oceaancirculatie kunnen effecten mogelijk tot op grote schaal doorwerken. Kortom, het is onduidelijk of ijzerbemesting ook daadwerkelijk werkt en wat de risico's ervan zijn. Het onderzoek naar deze toepassing van algen is nog in volle gang.

strijd lijkt te winnen en hoge concentraties bereikt, is de kans op infectie ook groter. Sommige algen maken daarnaast stoffen die giftig zijn voor andere algensoorten of voor grazers. Andere algen wapenen zich tegen grazers door kolonies te vormen of door stekels te maken.

Toch is het is niet alleen haat en nijd: sommige soorten kunnen ook vredig samenleven. Zo is bijvoorbeeld gebleken dat (blauw-)groene en rode cyanobacteriën zonlicht kunnen delen. Door hun kleurverschil kunnen deze cyanobacteriën ieder een eigen deel van het lichtspectrum gebruiken. De groene soorten, die dus groen licht reflecteren, absorberen meer van het rode licht, terwijl de rode soorten meer van het groene licht gebruiken. De combinatie van al deze factoren, en nog vele andere, zorgt ervoor dat er nooit een evenwicht ontstaat van maar een kleine hoeveelheid winnaars. Steeds is er een andere algensoort de beste waardoor de algendiversiteit in het water hoog blijft.

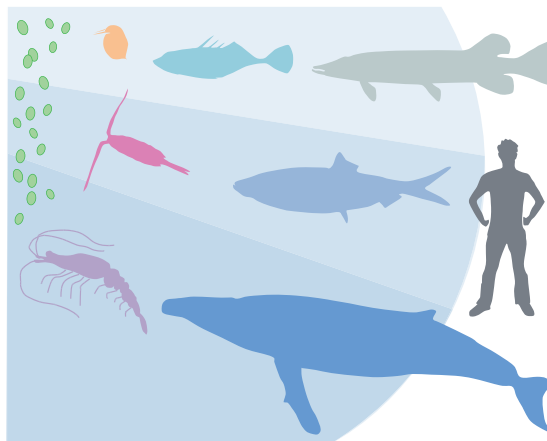
### In hun element

De gemiddelde verhouding tussen koolstof-, stikstof- en fosforatomen van algen in natuurlijke wateren lijkt vrij constant te zijn. De verhouding komt vaak in de buurt van 106:16:1 (C:N:P). Deze verhouding is zo'n tachtig jaar geleden ontdekt door de Amerikaanse oceanograaf Alfred Clarence Redfield en wordt dan ook de Redfield-ratio genoemd. Algen kunnen hun C:N:P-verhouding echter aanpassen aan de omgeving. De N:P verhouding van 16:1 komt bijvoorbeeld overeen met de nitraat:fosfaat verhouding in de diepzee. Uiteindelijk hangt de C:N:P verhouding in algen af van welke organische stoffen, zoals eiwitten en vetten, in de cel kunnen worden gemaakt. De verhouding van elementen in algen ligt dus niet vast. Wanneer er bijvoorbeeld weinig nitraat in het water zit, kan een alg minder eiwitten maken; daarvoor heeft hij immers het stikstof uit nitraat nodig. De C:N verhouding van de alg zal dan omhoog gaan. Veranderingen in de verhouding tussen elementen kunnen uiteindelijk ook invloed hebben op dieren en daardoor op de hele voedselketen.

## De relaties van de alg

Omdat algen CO<sub>2</sub> en voedingsstoffen omzetten in organische stoffen, staan ze aan de basis van het onderwater voedselweb. Dieren kunnen geen CO<sub>2</sub> omzetten en zijn dan ook allemaal, de mens inclusief, afhankelijk van planten voor belangrijke stoffen zoals koolhydraten, eiwitten en vetten (figuur 3). Algen worden gegeten door zoöplankton wat letterlijk zwevende (*planktos*) diertjes (*zoön*) betekent. In de oceanen zijn dit bijvoorbeeld krill en roeipootkreeften, terwijl in zoetwater water-vlooien belangrijke algeneters zijn. Zoöplankton wordt weer gegeten door vissen. Krill in de zuidelijke oceaan vormt de belangrijkste voedselbron voor zeezoogdieren zoals walvissen. Vissen worden op hun beurt weer gegeten door roofvissen, vogels en (zee)zoogdieren, waaronder zehonden, dolfinen, maar ook beren en natuurlijk de mens.

Door de toename van voedingsstoffen in het water kan het onderwatervoedselweb drastisch veranderen. Met name halverwege de vorige eeuw zijn door vermisting veel wateren in Nederland veranderd van helder water in een troebele algensoep. Met meer voedingsstoffen kunnen algen immers goed groeien. Doordat algen licht wegvangen blijft er minder licht over voor de waterplanten die op de bodem leven. Op een gegeven moment kunnen deze niet meer groeien. Dit heeft ook gevolgen voor bepaalde roofvissen, zoals de snoek, die op zicht jagen en planten nodig hebben om tussen te schuilen en voort te planten. Doordat zoöplanktonetende vissen zoals voorns dan minder door snoek worden bejaagd, neemt de hoeveelheid zoöplankton sterk af. Ook dat heeft een positief effect op algen, want die worden minder opgegeten. Door deze 'positieve terugkoppeling' zorgen algen er dus voor dat de omstandigheden om te groeien voor hen zelf verbeteren. Bovendien zorgen dergelijke terugkoppelingen ervoor dat de concentraties voedingsstoffen ver terug gebracht moeten worden om het water weer



**Figuur 3**  
Algen staan aan de basis van verschillende voedselketens bijvoorbeeld in zoetwater (boven: alg, watervlo, stekelbaars, snoek), zoutwater (midden: alg, roeipootkreeft, haring, mens) en de Zuidelijke Oceaan (alg, krill, bultrug).

helder te krijgen en waterplanten weer te kunnen laten groeien. Ondanks maatregelen als 'actief biologisch waterbeheer' zitten er op veel plaatsen nog grote hoeveelheden voedingsstoffen in het oppervlaktewater (zie ook BWM Cahier Water, 2007-1). Hierdoor hebben veel van onze meren de kenmerkende groene kleur van die kleine intrigerende organismen: algen.

# Van algen tot wieren

**A**LGEN BESTAAN in veel soorten en maten: van de prokaryote blauwalgen – die dus eigenlijk bacteriën zijn – tot de verschillende eukaryote microalgen. Er bestaan ook meercellige algen, beter bekend als wieren. Wieren zijn geen echte, ‘hogere’ waterplanten. Hogere planten bloeien bijvoorbeeld, wieren doen dat niet. Net als de ‘lagere planten’ op land (zoals varens) planten wieren zich voort met behulp van sporen.

Waar nu veel onderzoek wordt gestoken in het opzetten van productiesystemen op basis van microalgen, staan de wieren waarschijnlijk aan de basis van de landbouw, ongeveer tienduizend jaar terug. Onze voorouders maakten volop gebruik van wieren als directe bron van voedsel, dan wel als indirecte bron, door wier te gebruiken als meststof in de landbouw. Nog niet eens zo lang geleden maakten boeren in bijvoorbeeld Zeeland gebruik van wier dat uit zee werd geschept, in de regen van het zout werd ontdaan en vervolgens werd ondergewerkt op de akkers.

De moderne mens lijkt de ervaring van onze voorouders met wier grotendeels te zijn vergeten. Weliswaar wordt wereldwijd nog steeds 7,5 miljard dollar per jaar omgezet in commerciële wierteelt, maar dat gebeurt eigenlijk alleen in Zuidoost Azië. Daarbuiten behoren alleen Tanzania en Chili tot de toptien van zeewierproducerende landen. Toch ligt er ook voor ons een groot potentieel in de wierteelt, stelt dr. Willem Brandenburg, wieronderzoeker van Plant Research International, een onderdeel van Wageningen UR. ‘Op het land vervangen we natuur door landbouw. Geschikte

grond is immers schaars. Op zee hoeft dat niet. Het “enige” dat we daar moeten doen is de enorme stroom van voedingsstoffen die via de rivieren in de zee verdwijnt zien op te vangen.’

Om het potentieel van ‘landbouw op zee’ te benutten zijn er volgens Brandenburg twee duurzame strategieën te bedenken: vang de voedingsstoffen bij de mondingen van de rivieren op voor ze in de diepzee verdwijnen, of zoek plekken op open zee waar je ze zonder al te veel moeite kunt terughalen. ‘Er bestaan zogenoemde opwellingszones, waar de voedingsstoffen uit de diepere zones door natuurlijke stroming omhoog komen. Bijvoorbeeld voor de kust van Chili is zo’n zone. Maar die moet juist níet worden gebruikt voor zeeboerderijen. Dan ga je opnieuw competitie aan met de natuur die in dergelijke zones vaak uitzonderlijk rijk is.’

Om toch wat van onze ‘overbemesting’ uit de zeeën en de oceanen terug te halen zou je volgens Brandenburg kunnen aansluiten bij bestaande activiteiten op zee. ‘Dan kun je denken aan de windmolenparken op zee, of aan de winning van delfstoffen uit de bodem van de oceanen. Wat zou er nou mooier zijn dan, bij wijze van spreken, een extra leiding naar de oceanobodem te leggen waarmee je fosfaat en nitraat omhoog kunt halen om vervolgens aan het oppervlak wier te telen?’

De tweede strategie lijkt meer op wat onze voorouders duizenden jaren terug al deden: maak gebruik van de voedingsstoffen die door de rivieren worden aangevoerd. ‘In die tijd was er natuurlijk nog geen sprake van overbemesting via het rivierwater, maar ook toen al waren delta’s



relatief rijke gronden. Tegenwoordig stroomt er nog steeds stikstof en fosfaat de zee in. Als je bij die riviermonding zeeboerderijen sticht, kun je die nutriëntenstroom aftappen, en snijdt het mes dus aan twee kanten.'

### Zeeboerderij

Dat duurzame wiertelt in de praktijk goed mogelijk is hebben Brandenburg en collega's de afgelopen jaren laten zien op een testlocatie in de Oosterschelde: de 'Wierderij'. 'Wat in Zuidoost Azië gebeurt is eigenlijk moderne landbouw op zee. Daar worden de wiertvelden ook gewoon

bemest, dus dan haal je nog niets van de enorme ecologische voetafdruk af die wij met onze manier van consumptie veroorzaken. Met de Wierderij hebben we laten zien dat je ook wier kunt telen op basis van de meststoffen die toch al in zee lopen. In de zomer van 2013 is dan ook de eerste commerciële zeeboerderij op dit principe gestart in de Oosterschelde: Zeewaar bv.'

Maar wat doe je vervolgens met al die geteelde zeesla, vingerwier of suikerwier? Net als ééncellige algen zit wier vaak boordevol voedingsstoffen. Voor een deel kun je het direct consumeren, zoals in sushi. Voor een belangrijker deel zal wier in de toekomst een belangrijke basis kunnen vormen voor eiwitten in voeding voor dieren en mensen. In die zin is het bijvoorbeeld een alternatief voor soja, dat nu nog op grote schaal in voormalige tropische regenwouden wordt geteeld.

# Algen bestrijden?!

**N**IET IEDERE alg leent zich voor commerciële teelt. Sterker nog: sommige blauwalgen is men in het wild liever kwijt dan rijk. Op verschillende plaatsen worden experimenten gedaan om blauwalgen in zwemwater te bestrijden. Zo heeft ondernemer Gerard Manshanden van het bedrijf *Fishflow Innovations* een zogenoemde airlift geïnstalleerd in de Ursemmerplas, bij Medemblik. Het principe is eenvoudig: aan een grote drijver hangt een lange buis die bijna tot de bodem van de plas reikt. Via een elektrische pomp met een capaciteit van slechts drie kilowatt wordt lucht onderin de buis geblazen. De belletjes nemen vervolgens 85 kuub water per minuut van de bodem van de plas mee omhoog.

‘Wat we hiermee doen is niets meer en niets minder dan het water in de plas mengen. En dat werkt. De Ursemmerplas was jarenlang een van de eerste plassen in de regio West-Friesland die bij warm weer moest sluiten voor recreanten vanwege blauwalgenbloei. In 2012 heeft het systeem voor het eerst een heel seizoen gedraaid. In plaats van de eerste plas die moest sluiten vanwege blauwalgen, was de Ursemmerplas dat jaar juist de laatste plas die uiteindelijk toch nog één dag werd gesloten voor zwemmers. In een stilstaande hoek, vlakbij het zwemstrand was na een warme periode toch nog een drijfslag met blauwalgen ontstaan. Dit jaar wil ik proberen met een extra pomp circulatie aan de oppervlakte te creëren. Dan zou het helemaal over moeten zijn.’

## Beproefd

Circulatie van stilstaand water in de strijd tegen blauwalg is een beproefd principe. Naast de uiterst goedkope pomp van Manshanden heeft bijvoorbeeld ook het Amerikaanse Medora Ltd. een pomp ontwikkeld: de Solarbee. En aan de Universiteit van Amsterdam deden professor Jef Huisman en dr. Petra Visser al in de jaren negentig onderzoek met het beluchten en circuleren van het water in de Nieuwe Meer. ‘Het verschil tussen de jaren met en zonder beluchten en circuleren van het water was zo spectaculair, dat kon niet aan toevallige variaties in het weer liggen’, zegt UvA-onderzoekster Visser. ‘En het is ook wel ecologisch verklaarbaar. Waar gewone, microalgen in stilstaand water uitzakken, maken blauwalgen gebruik van hun vermogen om met luchtblaasjes drijfvlagen te vormen. Op die manier winnen ze de competitie om licht. Als je door het water te circuleren de blauwalgen naar dieper lagen dwingt, dan verliezen ze de competitie met de onschadelijke microalgen.’

## Symptombestrijding

Manshanden is de eerste om te erkennen dat deze aanpak van de blauwalgen eigenlijk symptombestrijding is. ‘Het werkelijke probleem zit hem natuurlijk in de enorme hoeveelheid voedingsstoffen in het water. Blauwalgen doen het goed in water met veel stikstof en vooral fosfaat. In deze plas komen de voedingsstoffen uit de lucht, via stikstof in de regen, en ook uit de vogelpoep van bijvoorbeeld de aalscholvers en de eenden. Het water in deze plas wordt vooral bijgevuld door



op de helling gaan kun je makkelijk grote hoeveelheden mosseltjes halen. Op verschillende plekken langs de oever van de Ursemmerplas liggen al grote stenen. Daar zou je die mosseltjes op kunnen uitzetten. Een mossel kan enorme hoeveelheden water zuiveren van stikstof en fosfaat en ze kunnen zelfs direct blauwalgen opnemen. Dat zou natuurlijk de meest duurzame oplossing zijn.'

zogenoemde kwel uit de bodem. In de bodem van dit soort zandputten zit ook relatief veel ijzer. Dat is op zichzelf gunstig om fosfaat te binden. Maar onder zuurstofarme condities, bijvoorbeeld door rotting van organisch materiaal op de bodem van de plas, laten de ijzerdeeltjes het fosfaat weer los en komt het beschikbaar voor blauwalgen.'

De beste methode om blauwalgen te bestrijden is dus het wegnemen van de overmaat aan voedingsstoffen. 'Maar dat is makkelijker gezegd dan gedaan', weet Manshanden. 'Later dit jaar wil ik gaan experimenteren met het uitzetten van driehoeksmosseltjes. Bijvoorbeeld van schepen die