

De meeste blauwalgen maken stoffen aan die giftig zijn en daarmee bezorgen ze ons nogal wat overlast. Maar met blauwalgen kun je ook vetten en vitaminen produceren. Het is zelfs mogelijk om de genen van gisten in te bouwen in blauwalgen, zodat je daarmee gemakkelijk biobrandstoffen kan produceren.

Overlastveroorzakers of planeetredders?

Giftige blauwalgen

Het is een jaarlijks terugkerend fenomeen: in de loop van de zomer wordt het zwemmen in veel plassen en meren verboden vanwege blauwalgbloei. Meren die geplaagd worden door blauwalgbloei, zijn ook niet langer geschikt voor natuurontwikkeling. Het is lastig het water uit deze meren geschikt te

BLAUWE PIGMENTEN

Blauwalgen zijn eigenlijk bacteriën die kunnen fotosynthetiseren en daarbij kooldioxide en water omzetten in suikers en zuurstof. Officieel heten ze dan ook geen blauwalgen, maar cyanobacteriën. Ze zijn vaak (maar niet altijd) blauw, omdat ze behalve chlorofyl ook

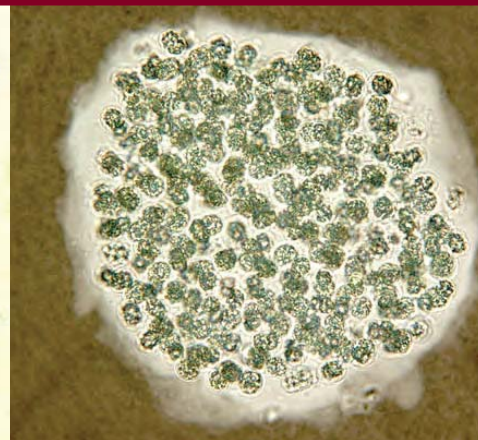
chloroplasten, de celonderdelen waar in planten en groenalgen fotosynthese plaatsvindt, afstammen van blauwalgen.

BIOFILMS

Blauwalgen komen in bijna ieder milieu voor: in oceanen, in zoet water, in bodems en zelfs op kale rotsen. Veel

Links - Verschillende soorten blauwalgen: spiraalvormige *Anabaena*, draadvormige *Aphanizomenon* en kolonievormende *Microcystis*.

Rechts - Een kolonie van *Microcystis*, omgeven door een slijm laag.



maken voor drinkwater of irrigatie in de landbouw. Bovendien, het blauwalgenprobleem zal door de klimaatverandering alleen maar groter worden: de toenemende neerslag zal meer voedingsstoffen van de bodem in het water brengen en door de stijgende temperaturen wordt het groeiseizoen van blauwalgen alleen maar langer. Maar wat zijn blauwalgen nou precies, hoe komt het dat ze zo massaal bloeien, wat kunnen we er tegen doen, en kunnen ze ook nuttig zijn?

nog blauwe pigmenten, phycocyaninen, hebben waarmee ze zonlicht invangen. Blauwalgen hebben een belangrijke rol gespeeld in de ontwikkeling van het leven op aarde. In de evolutie waren blauwalgen de eerste organismen die door fotosynthese zuurstof konden produceren, lang voordat groenalgen of planten bestonden. Blauwalgen zijn er dan ook verantwoordelijk voor dat er ongeveer drie miljard jaar geleden zuurstof in de atmosfeer kwam. Dit heeft geleid tot een explosie van biodiversiteit door de evolutie van ademhalende organismen. Verder wordt aangenomen dat

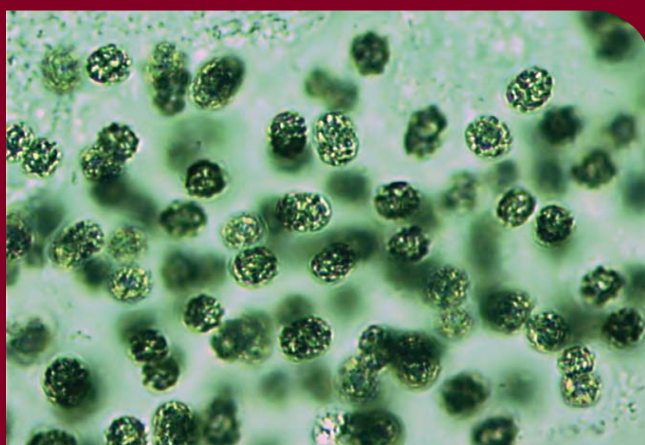
soorten leven als plankton in water, maar er zijn ook soorten die samen met andere micro-organismen in slijmlagen voorkomen, in de zogenaamde 'biofilms'. Sommige soorten blauwalgen leven in het weefsel van andere organismen, dat zijn de zogenaamde 'endosymbionten'. Er zijn planten en sponzen met endosymbiotische blauwalgen; korstmossen zijn schimmels met een blauwalg als endosymbiont. Verder zijn er blauwalgen die stikstofgas uit de atmosfeer kunnen omzetten tot verbindingen die opneembaar zijn voor planten, de zogenaamde 'stikstoffixeerders'.

Stikstoffixerende blauwalgen komen voor in meren en in stikstofarme delen van de oceaan, waar ze een belangrijkste bron van opneembaar stikstof zijn.

Blauwalgen zijn vooral bekend en zelfs berucht om de bloei die ze veroorzaken in zoet water. Een algenbloei is een massaal voorkomen van algen. In Nederland is er een aantal bloeiende soorten blauwalgen die veel voorkomen: *Microcystis*, *Planktothrix*, *Aphanizomenon* en *Anabaena*. *Microcystis*-cellen zijn bolvormig en groeien vooral in kolonies die tot wel twee millimeter groot kunnen worden. Cellen van *Planktothrix*, *Aphanizomenon* en *Anabaena* zijn draadvormig. Alle blauwalgcellen zijn omgeven door een slijm laag. Veel zoetwatersoorten maken gifstoffen aan. Niet alle soorten zijn giftig en verschillende soorten maken ook verschillende gifstoffen aan. De bekendste en beruchtste gifstoffen, die door zowel *Microcystis* als *Planktothrix* worden

antwoordelijk voor de drijfblagen die blauwalgen kunnen vormen wanneer ze opstijgen naar het wateroppervlak onder windstille omstandigheden. Drijfblagen komen vooral 's ochtends voor en verdwijnen vaak gedurende de dag. Dat komt doordat de cellen aan de oppervlakte veel licht krijgen en daardoor veel fotosynthesiseren. Het koolstof dat daarmee gefixeerd wordt, wordt opgeslagen in koolhydraten die de cel zwaarder maken. Een cel die een tijd in het licht heeft doorgebracht, verliest dus geleidelijk zijn drijfvermogen en zakt de diepte in. Hoe dieper in het water, des te minder licht. Hoe minder licht, des te minder fotosynthese, tot het punt waarop de cellen niet langer meer koolstof fixeren, maar het verbranden. Door de koolhydraten te verbranden, wordt de cel langzaam lichter en gaat hij weer drijven.

in het sediment. Er zijn twee verschillende mechanismen gevonden voor het uitzakken van *Microcystis*-kolonies naar de bodem. In meren waar door windmenging vaak sediment wordt opgewerveld, zakken kolonies vooral doordat de sedimentdeeltjes aan de slijm laag blijven plakken en de kolonies daardoor hun drijfvermogen verliezen. In deze meren zakken kolonies al uit naar de bodem vanaf het begin van de bloei. In meren waar windmenging niet tot de bodem reikt, beginnen kolonies pas te sedimenteren in het najaar, als de temperatuur daalt. Cellen stoppen dan met delen, maar niet met koolstof fixeren, met als gevolg dat de cellen meer koolhydraten opslaan, zwaarder worden dan normaal en uitzakken naar het sediment. Gedurende de winter nemen de aantallen *Microcystis*-kolonies in de bodem geleidelijk af. De meeste cellen in de bodem sterven, maar er blijven er genoeg over om in het voorjaar op



Losse *Microcystis*-cellen. De donkere vlekken in de cellen zijn de gasblaasjes die de cellen drijfvermogen geven.

“Het blauwalgenprobleem zal door de klimaatverandering alleen maar groter worden.”

geproduceerd, zijn ‘microcystinen’. Microcystinen zijn zogenaamde ‘hepatotoxines’, wat inhoudt dat ze schadelijk zijn voor de lever. Er zijn meer dan zeventig verschillende microcystines geïdentificeerd. Microcystines zijn niet alleen schadelijk voor mensen, maar ook voor vee, watervogels en huisdieren.

DRIJFVERMOGEN

De cellen van veel blauwalgsoorten bevatten gasblaasjes: kleine blaasjes in de cel gevuld met gas, die werken als een boei en die de cellen drijfvermogen geven. De gasblaasjes zijn ver-

LEVENS CYCLUS

Verschiede soorten blauwalgen hebben verschillende levenscycli. Sommige soorten, bijvoorbeeld *Anabaena* en *Aphanizomenon* vormen aan het eind van de zomer speciale rustcellen, ‘akineten’, die naar de bodem zakken om te overwinteren. Sommige soorten, zoals *Planktothrix*, overwinteren in lage concentraties in het water. Kolonies van *Microcystis* zakken, ondanks hun drijfvermogen, gedurende de zomer en het najaar massaal naar de bodem. *Microcystis* vormt geen speciale rustcellen, maar overwintert gewoon als kolonie

te stijgen uit de bodem. Dat opstijgen wordt gestimuleerd door veranderingen in temperatuur, lichtintensiteit en zuurstofconcentratie. Maar de meeste kolonies stijgen op uit de bodem door het opwerpen van het sediment vanwege de harde wind en de stormen in het voorjaar. Tegelijkertijd worden er in sommige meren gedurende de hele winter ook lage concentraties *Microcystis* in het water gevonden. Het is niet helemaal duidelijk of die kolonies achterblijven in het water of dat ze gedurende de winter van het sediment opstijgen.

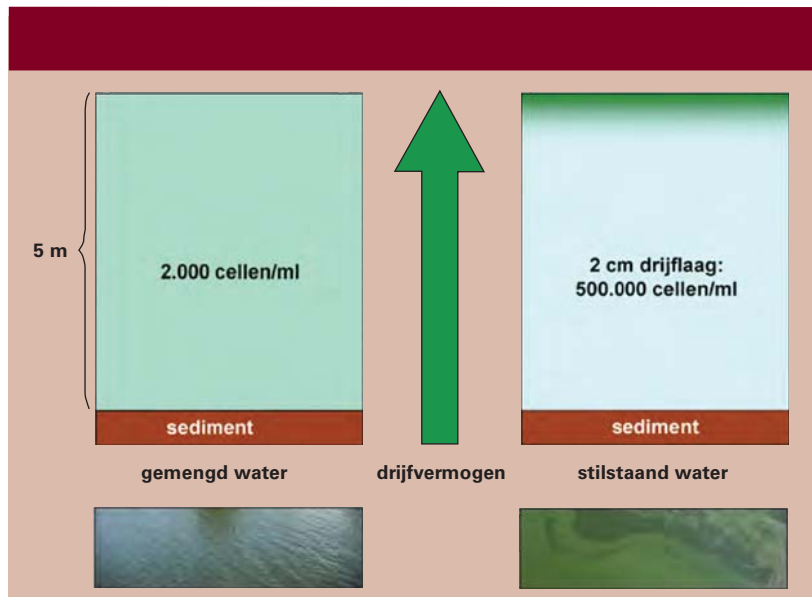
ONTSTAAN VAN BLAUWALGBLOEI

Hoe komt het dat blauwalg zo massaal bloeit? Daar is een aantal redenen voor. Net als andere algen profiteren blauwalgen van de grote hoeveelheid voedingsstoffen in de meeste Nederlandse wateren. Daarbij groeien blauwalgen relatief harder dan andere algen als het warm is. Doordat ze opstijgen naar het wateroppervlak, kunnen ze beter profiteren van zonlicht dan andere soorten algen die geen drijfvermogen hebben. Verder wordt aangenomen dat ze een hogere tolerantie dan de meeste andere algen hebben tegen de hoge pH die gedurende de zomer langzaam oploopt. Maar de belangrijkste reden dat blauwalgen bloeien, is waarschijnlijk dat ze nauwelijks opgegeten worden.

Watervlooien en andere kleine algeneters eten liever groenalgen, omdat die voedzamer zijn dan blauwalgen. Bovendien zijn blauwalgen lastig te eten: kolonies zijn te groot en draadvormige blauwalgen zijn te lang. Verder kunnen sommige algeneters last krijgen van de gifstoffen die blauwalgen produceren. Watervlooien groeien minder goed en zijn minder vruchtbaar op een dieet van blauwalgen. Van vissen die algen eten, is bekend dat ze *Microcystis* slecht kunnen verteren: *Microcystis*-kolonies die het darmkanaal van een vis onverteerd zijn gepasseerd, groeien zelfs harder dan voordat ze opgegeten werden. Verder kunnen de gifstoffen in blauwalgen ervoor zorgen dat de lever, nieren en kieuwen van vissen slecht functioneren en hun vruchtbaarheid afneemt.

PREVENTIE VAN BLAUWALGBLOEI

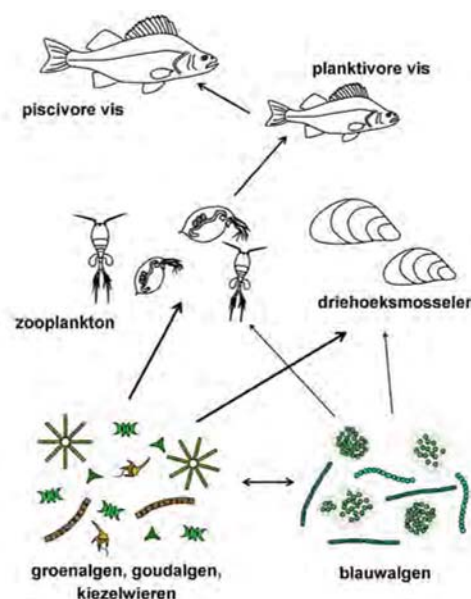
Er zijn in talloze meren pogingen ondernomen om blauwalgbloei te voorkomen of, als dat onhaalbaar bleek, in ieder geval de grootte van de bloei te beperken. Maar niet alle methoden zijn even succesvol. Een voor de hand liggende methode om blauwalgbloei te voorkomen, is de hoeveelheid voedingsstoffen in het water te reduceren, bijvoorbeeld door een streng mestbeleid. Deze methode is vaak gebruikt om de waterkwaliteit te verbeteren, maar het kan tientallen jaren duren voordat het gewenste effect bereikt wordt. Een nieuwe methode, Phoslock, waarbij fosfaat langdurig gebonden wordt aan lanthaanhoudende klei, lijkt bijzonder effectief tegen blauwalgbloei, doordat



Links - In goed gemengd water zijn blauwalgen homogeen verdeeld zijn de concentraties (relatief) laag, maar onder windstille condities ontstaan drijflagen met hoge concentraties blauwalgen.

Rechts - Aan de oppervlakte van het water in het licht maken drijvende blauwalgen koolhydraten aan, zodat ze zwaarder worden en de donkere diepte in zakken. In het donker verbranden ze de koolhydraten, zodat ze lichter worden en weer gaan drijven.

Blauwalgen concurreren om voedsel met andere algen. Zoöplankton en mosselen eten algen, maar zij hebben een voorkeur voor groenalgen. Vissen die zoöplankton eten, kunnen (blauw)algbloei bevorderen, terwijl het uitzetten van visetende vissen algenbloei kunnen onderdrukken.



een essentiële voedingsstof, fosfaat, heel sterk bindt aan lanthaan en dan niet langer beschikbaar is voor (blauw) algengroei.

Een andere nieuwe effectieve methode is het toevoegen van lage concentraties waterstofperoxide. Blauwalgen zijn de enige organismen voor wie de lage concentraties waterstofperoxide schadelijk zijn. Ze bezwijken binnen enkele uren doordat ze ophouden met fotosynthetiseren. Waterstofperoxide zelf wordt in een dag afgebroken tot water en zuurstof, zodat er geen enkele schadelijke stof overblijft. Waterstofperoxide is daarmee een middel dat selectief blauwalgen doodt: groenalgen, watervlooien en vissen ondervinden er geen hinder

van. Kunstmatige menging van water is een andere methode die met succes is toegepast. Deze methode is erop gericht het voordeel dat blauwalgen hebben van hun drijfvermogen teniet te doen. Door kunstmatige menging kunnen de relatief langzaam groeiende blauwalgen niet langer profiteren van de hoge lichtintensiteit aan het wateroppervlak. Ze worden dan weggeconcentreerd door sneller groeiende groenalgen. Bij deze methode blijft het water troebel, maar wordt de giftige blauwalgbloei vervangen door een niet-giftige groenalgbloei. Deze methode is nogal kostbaar om toe te passen, aangezien een meer in een soort bubbelbad moet veranderen, door lucht onder grote druk door een buizenstelsel diep in het meer te pompen. Weer een andere methode is biomanipulatie.

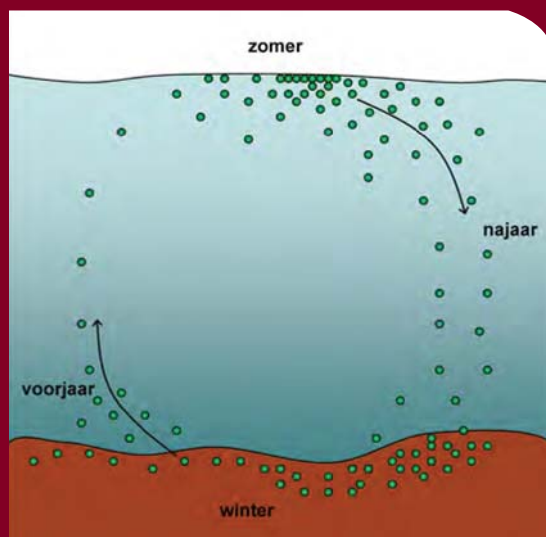
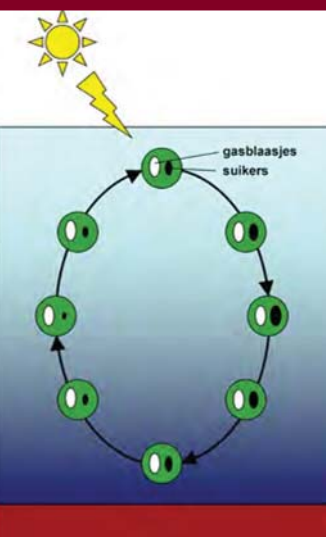
gen liever vermijden in hun dieet. In sommige meren is de grootte van de blauwalgbloei na biomanipulatie zelfs toegenomen, doordat het zoöplankton of de mosselen alle groenalgen opaten en de blauwalgen overlieten.

In meren die onderdeel zijn van een netwerk van water en waar de in- en uitstroom te manipuleren zijn, kun je de blauwalgbloei wegspoelen. Zo is de Planktothrix-bloei in het Veluwemeer bijvoorbeeld onder controle gehouden. Een wat drastischer voorbeeld van gebruikmaken van de aquatische infrastructuur zijn de plannen voor het Volkerak-Zoommeer. Dit meer, dat in het kader van de Deltawerken is ontstaan door de indamming van het Volkerak-estuarium, wil men vijftientig jaar na het verzoeten (en na twintig jaar

bare manier om biobrandstof uit algen te winnen, wordt kooldioxide tijdens de fotosynthese door algen omgezet in suikers, die vervolgens door gisten worden omgezet in ethanol. Bij de verbranding

“Blauwalgen worden tegenwoordig gekweekt voor commerciële doeleinden.”

van biobrandstof komt er netto geen nieuwe kooldioxide in de atmosfeer. Het is ook mogelijk om de juiste genen uit gisten in blauwalgen in te bouwen, zodat ze direct ethanol produceren. Op deze manier wordt kooldioxide uit de atmosfeer door de blauwalg direct omgezet in brandstof. Anders dan bij de gangbare methode is er dan maar één



Levenscyclus van *Microcystis*. Kolonies bloeien in het water in de zomer, zakken naar beneden in het najaar, overwinteren in het sediment en stijgen in het voorjaar op uit het sediment om een nieuwe bloei te beginnen.

pulatie. Daarbij wordt geprobeerd het voedselweb te veranderen. Zo worden bijvoorbeeld vissen die zoöplankton en sediment eten en daarbij de bodem omwoelen en dan nutriënten in het water brengen (bijvoorbeeld brasem), weggevangen om de zoöplanktonpopulatie te stimuleren, of worden er driehoeksmosselen uitgezet die blauwalgen uit het water filteren. Zoöplankton, dat onder andere bestaat uit watervlooien, of driehoeksmosselen kunnen dan meer (blauw)alg eten en daardoor de grootte van de bloei reduceren. Het grote nadeel van deze methode is dat ze meestal niet erg effectief is tegen blauwalgen, doordat veel zoöplanktonsoorten en ook driehoeksmosselen blauwal-

blauwalgbloei), weer zout maken om van de blauwalgbloei af te komen.

NUT VAN BLAUWALGEN

Blauwalgen veroorzaken vaak problemen, vooral in zoet water, maar ze kunnen ook zeer nuttig zijn. Blauwalgen zijn grotendeels verantwoordelijk voor de zuurstof in de atmosfeer en ze zijn erg belangrijk voor de stikstofvoorziening in sommige gedeelten van de oceaan. Maar blauwalgen worden tegenwoordig ook gekweekt voor commerciële doeleinden. Er worden bijvoorbeeld eiwitten, vetten, vitaminen en pigmenten uit gekweekte blauwalgen gewonnen. Algen worden ook gebruikt om biobrandstof te produceren. Bij de gang-

organisme nodig dat meteen het goede eindproduct vormt, zonder dat er raffinage nodig is. Doordat onze fossiele brandstoffen langzaam opraken, zullen alternatieven zoals biobrandstof steeds belangrijker worden. Het zou dus goed kunnen dat blauwalgen, net als in het verre verleden, ook in de toekomst van groot belang zullen zijn. 🌱

*Jolanda Verspagen is gepromoveerd aan de Universiteit van Utrecht op de levenscyclus van de blauwalg *Microcystis*. Ze doet momenteel onderzoek aan de Universiteit van Amsterdam naar de effecten van stijgende kooldioxideconcentraties op de groei en fysiologie van algen.*