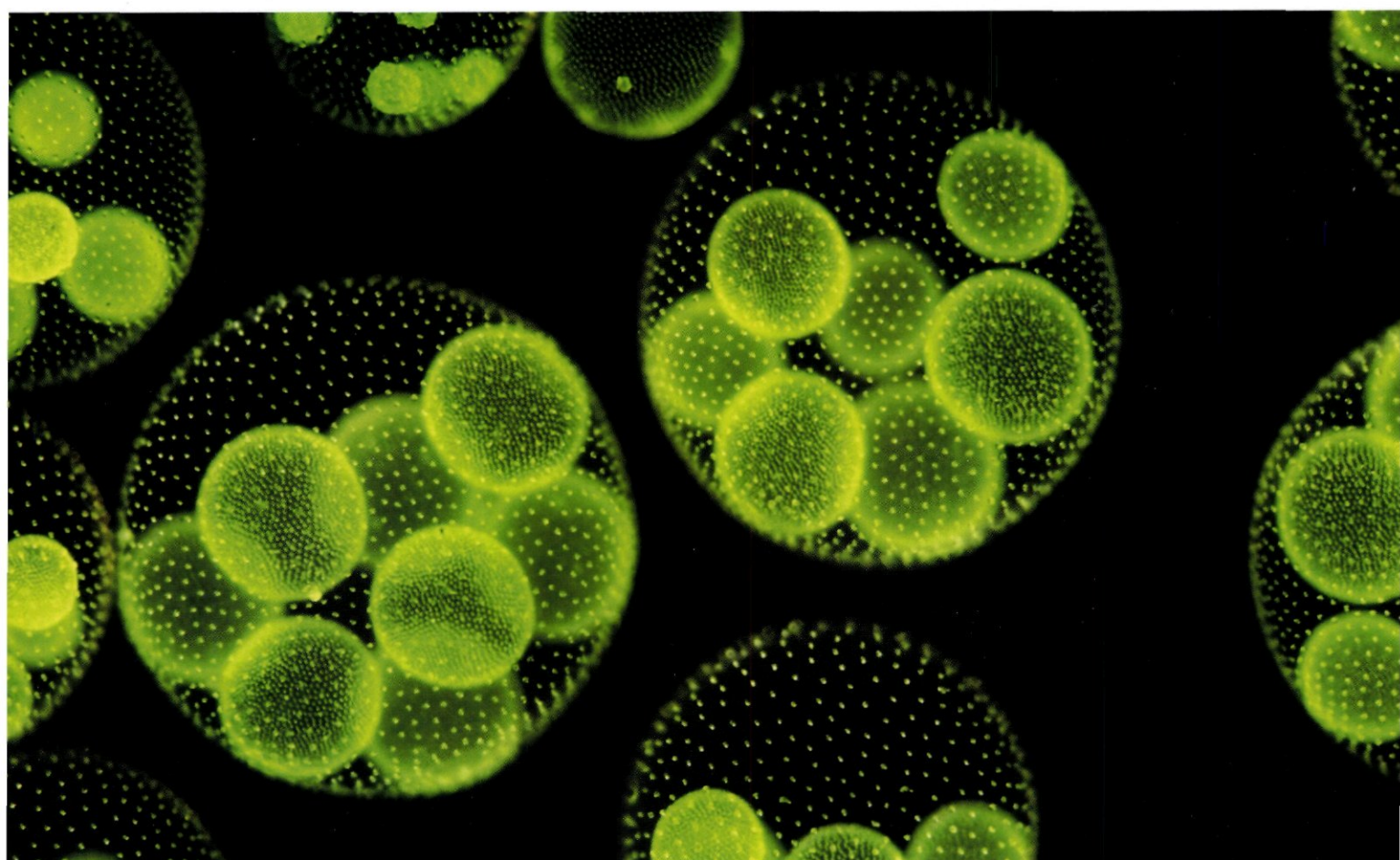


TOEKOMST MET ALGEN

WAAROM ALGEN DE MENSHEID KUNNEN REDDEN



Michiel de Bode Anna-Jet Leyenaar Inge Verbeek Laszlo van der Wal



WAGENINGENUR

For quality of life

Colofon

AUTEURS

Michiel de Bode
Anna-Jet Leyenaar
Inge Verbeek
Laszlo van der Wal

DRUK

TMB Beekmans Image Centre
Schijndel

UITGAVE

Wageningen UR
Atlas, gebouw 104
Droevendaalsesteeg 4
6708 PB, Wageningen

Eerste druk: september 2014
ISBN: 978-94-6257-194-5

Postadres
Postbus 9101
T: +31 317 48 0100
6700 HB Wageningen

Dit werk is auteursrechtelijk beschermd.
Niet alle auteurs van de gebruikte illustraties
konden worden achterhaald. Voor meer
informatie en vragen, neem contact op met
het Honours Programme team van
Wageningen UR.

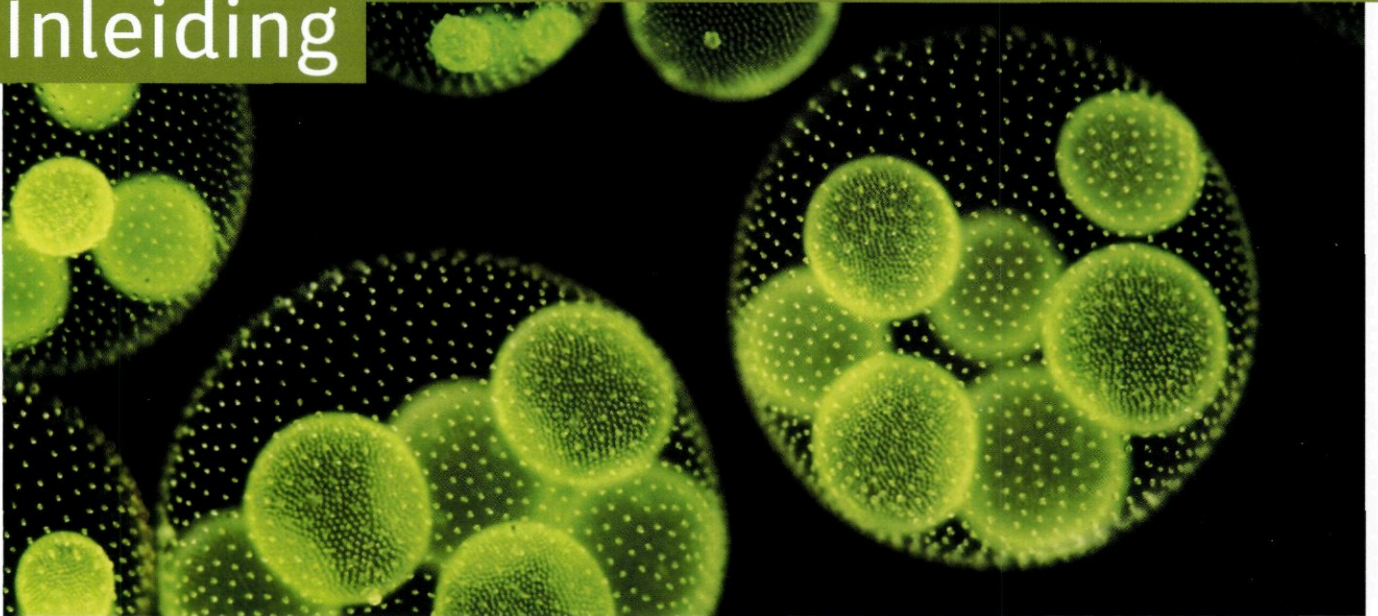
TOEKOMST MET ALGEN

WAAROM ALGEN DE MENSHEID KUNNEN REDDEN

Michiel de Bode Anna-Jet Leyenaar Inge Verbeek Laszlo van der Wal

2076997

Inleiding



We zijn omgeven door planten. Bomen, gras, bos- en struikgewas zijn haast in iedere straat te vinden. Ze produceren een groot deel van onze eerste levensbehoeften zoals zuurstof en ze staan aan de basis van de voedselketen. Zonder planten zou er helemaal geen leven mogelijk zijn op aarde. Eén groep planten is van buitengewoon belang voor onze aarde. Ze vormen de basis van bijna al het leven in de zeeën en oceanen en zorgen volgens recente studies voor ongeveer een derde van de totale zuurstofproductie op aarde. Het zijn de algen en ze leiden, ondanks hun grote invloed op het leven op aarde, een nagenoeg onopgemerkt leven.

De meeste mensen zullen ze kennen als de groene aanslag in de tuin of de ondefinieerbare substanties in meertjes en sloten. Een, enigszins, onwaardig bestaan voor een serie organismen die aan de voorhoede van tal van technologische en wetenschappelijke doorbraken staat. Onder andere op het gebied van energie- en voedselvoorziening worden haast dagelijks nieuwe ontdekkingen gedaan, maar ook als het gaat om het zo efficiënt mogelijk produceren en oogsten van algen wordt er flink geïnvesteerd.

Wij proberen doormiddel van dit rapport een breder publiek kennis te laten maken met algen. Welke soorten bestaan er en wat zijn hun eigenschappen? We behandelen verschillende processen of producten waarbij algen zijn betrokken. Dit boekje is geen encyclopedie, maar geeft een overzicht van de huidige en toekomstige mogelijkheden van algen.

INHOUD

Inleiding	4
Algemene informatie	5
Algen soorten & indeling	6
Diatomeeënaarde	9
Interview Algae-P.A.R.C.	10
Microbiële brandstofcellen	12
Productiemethoden	14
Biodiesel & plastic	16
Waterreiniging	18
Interview NIOO-KNAW	20
Interview Algae-Link	21
Veevoer	22
Voeding	24
Interview Arthur Kroon	28
Opinie	30
Tot Slot	31

Algemene Informatie



FOTOSYNTHESE

Algen zijn relatief simpele plantensoorten; en alle planten zijn in staat met behulp van zonlicht het fotosynthese uitvoeren. Bij fotosynthese wordt de energie uit zonlicht geabsorbeerd en gebruikt om water en CO_2 om te zetten naar zuurstof en suiker (glucose). CO_2 en water worden door de algen opgenomen door diffusie, verplaatsing van stoffen in de richting van een lagere concentratie. De geproduceerde suikers kunnen worden omgezet naar andere bouwstoffen of langere suikerketens.

BELANGRIJKE VOEDINGSTOFFEN

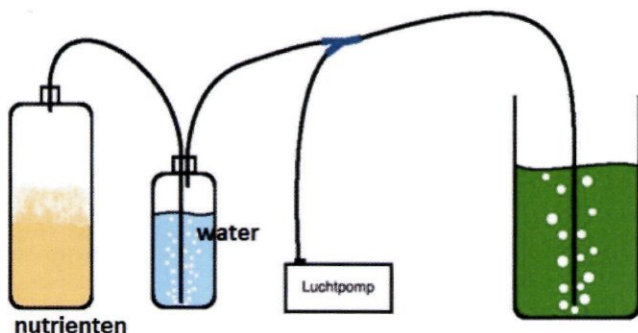
Het verschilt per plantensoort welke voedingsstoffen belangrijk zijn. In het algemeen hebben complexe planten meer voedingsstoffen nodig dan simpele plantensoorten, zoals algen. De belangrijkste voedingsstoffen van algen zijn fosfor, ijzer en stikstof. Deze stoffen hebben de algen in grote hoeveelheden nodig om te kunnen groeien en functioneren.

MINDER BELANGRIJKE VOEDINGSTOFFEN

Dit zijn stoffjes die de plant in kleinere hoeveelheden nodig heeft, waardoor de plant er minder snel een tekort aan heeft. Bij een tekort treedt er meestal alleen een vervorming op in de groei, in plaats van een totale groeistop. Dit zijn stoffjes zoals zink en koper, vaak naast nog vele andere metalen die een plant gebruikt.

OMSTANDIGHEDEN

Een plant groeit beter op de ene plek dan op de andere, dit komt door verschillen in de omgeving. Verschillen op het gebied van temperatuur, hoeveelheid licht of de zuurgraad in de grond of water. Welke omstandigheden het best zijn verschilt per algensoort.



Kilian, E., Lange, O.L., & Ziegler, H. (1986). Water vapor uptake and photosynthesis of lichens: performance differences in species with green and blue-green algae as phycobionts. *Oecologia*, 71(1), 104-110.

Wageningen UR, Algemene informatie over algen. (-). Verkregen in januari, 2014, <http://www.wageningenur.nl/nl/Expertises-Dienstverlening/Leerstoelgroepen/Agrotechnologie-en-Voedselwetenschappen/Bioprocetechnologie/Profielwerkstuk/Algemene-informatie.htm>

Algen: soorten & indeling



Een globaal overzicht

Anna-Jet Leyenaar

Er zijn ontzettend veel algensoorten in de wereld. Veel daarvan zijn nog niet eens ontdekt. De algensoorten die al wel bekend zijn, worden geclassificeerd. Het systeem van Keeling wordt gebruikt voor het indelen van onder andere algen. Binnen de classificatie zijn veel subgroepen, waardoor er sprake is van een complex systeem. Hier worden dan ook alleen de belangrijkste groepen toegelicht, om de indeling van algen grotendeels helder te krijgen.

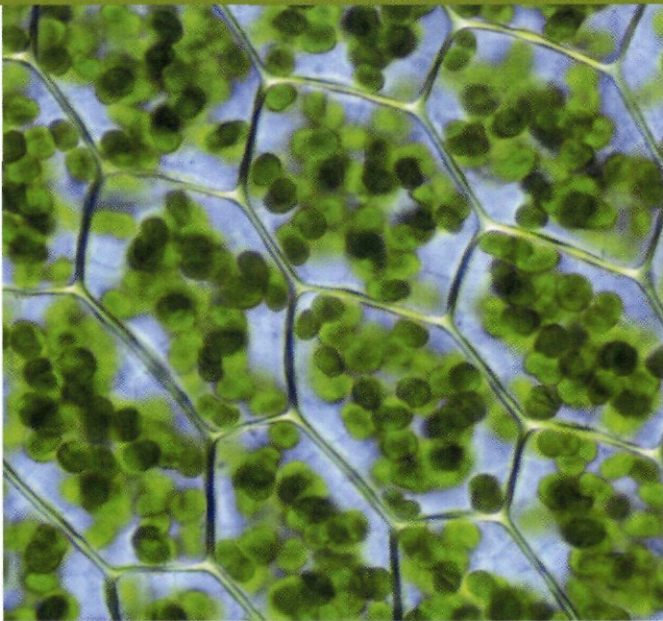
ALGEMEEN

Algen zijn eukaryote organismen, ze bevatten dus cellen met een celkern. Dat houdt in dat er onderscheid wordt gemaakt tussen verschillende organismen. Sinds 2004 het systeem van Keeling aangehouden. In dit systeem worden de eukaryote planten en algen onderverdeeld in vijf supergroepen, waarvan er vier algen bevatten. Om de algen in deze vier supergroepen onder te verdelen wordt het type chlorofyl en het type chloroplast van de algen gekarakteriseerd.

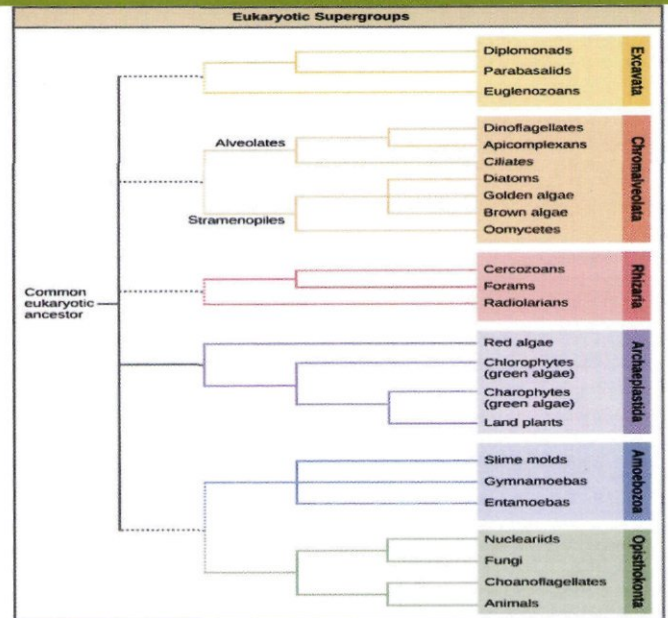
Een chloroplast is een organel, een celorgaan, in een eukaryote cel, te herkennen als groene korrels in de plantencel. Chloroplasten zijn bladgroenkorrels en absorberen naast andere pigmenten het licht dat gebruikt wordt voor de fotosynthese. In deze chloroplasten bevindt zich chlorofyl. Deze stof zorgt voor bijvoorbeeld de groene kleur van een plant. Er zijn verschillende soorten chlorofyl. Ook algen bevatten chlorofyl, dat daarmee

gelijk een indelingscriterium voor de algen vormt. Algen worden ingedeeld op basis van chlorofyl a, b en c, die zich onderscheiden door de verschillende kleur van het licht die ze reflecteren. Chlorofyl a reflecteert licht met een golflengte van ongeveer 685 nanometer, terwijl chlorofyl b licht met een golflengte van 735 nanometer reflecteert. Wanneer een algensoort alleen chlorofyl a bevat, zal deze een groen/blauwe kleur hebben, omdat dat de kleur is die bij een golflengte van 685 nanometer hoort. De rest van het licht dat de algen bereikt, wordt geabsorbeerd.

Algen die chlorofyl a en b bevatten behoren tot de supergroep Archaeplastida. Algen met alleen chlorofyl b behoren tot de supergroepen Excavata en Rhizaria. Tot de laatste supergroep, Chromalveolata, behoren alle algen met alleen chlorofyl a en c. Elke supergroep is weer onderverdeeld in rijken die ook weer verder onderverdeeld zijn. Zo bestaan de supergroep Archaeplastida uit de rijken *Rhodophyta* en *Viridiplantae*, de supergroep *Chromalveolata* uit de rijken *Eukaryomonadae*, *Heterokontae* en *Alveolatae*, de supergroep *Excavata* uit het rijk *Discicristatae* en de supergroep *Rhizaria* uit het rijk *Radiolaria*. Er is nog een kleine groep van het domein bacteriën die tot voor kort algen genoemd werden, namelijk de cyanobacteriën. Algen behoren niet tot de supergroep *Embryophyta*, oftewel het plantenrijk, omdat algen geen stengels en wortels bevatten.



Chloroplasten zichtbaar in cellen



Classificatiesysteem voor algensoorten

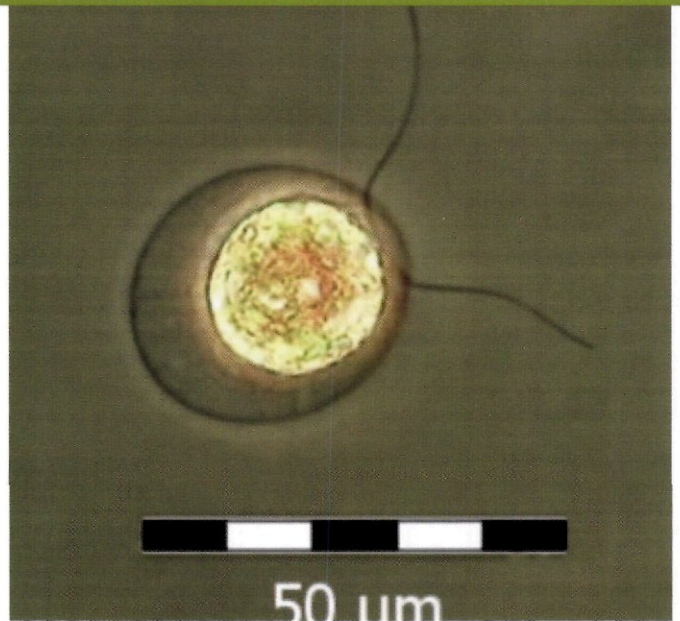
Rechtsboven is een schematische afbeelding van de classificatie van eukaryoten te zien. De eukaryoten worden onderverdeeld in supergroepen, rijken en stammen. Lang niet alle subgroepen zijn hierin vermeld, omdat het schema anders te ingewikkeld en onoverzichtelijk wordt.

Er zijn ongeveer tussen de 25- en 30 duizend algensoorten. Deze worden door middel van de eerder genoemde 'rijken' onder andere onderverdeeld in kleinere groepen die algen bevatten. Dit kunnen micro- of macroalgen zijn. Micro- en macro-algensoorten kunnen één- of meercellige organismen zijn. Microalgen, met ongeveer een lengte tussen de 2-50 micrometer, zijn veel kleiner dan macroalgen die ook wel de (zee)wieren worden genoemd. Dit komt doordat bij macroalgen de cellen (net als bij landplanten) aan elkaar groeien, terwijl microalgen meestal uit 1 cel bestaan. Microalgen worden meestal aangeduid met de term plankton, dat wordt onderverdeeld in fytoplankton en zoöplankton. Onder fytoplankton worden alle in het water zwevende plantaardige organismen gerekend die autotroof (zelf-voedend) zijn. Deze organismen halen hun voeding uit koolstofdioxide of andere anorganische stoffen. Wanneer cellen met behulp van licht, koolstofdioxide om zetten in suikers en zuurstof spreekt men van fotosynthese. Micro- en macroalgen zijn beiden in staat tot fotosynthese.

Fytoplankton kan worden opgedeeld in de phytoflagellaten en diatomeeën. Phytoflagellaten gebruiken een zweefhaar, 'flagel', dat op een soort antenne lijkt, om zich enkele meters per uur te verplaatsen. Diatomeeën of ook wel kiezelwieren genoemd, bestaan uit twee helften die precies op elkaar passen. Daar tussenin zit een spleet waardoor stoffen worden opgenomen. Het zijn de grootste zuurstofproducenten van de onderwereld, omdat de meeste plankton in het water uit kiezelwieren bestaat. Daarnaast helpen diatomeeën bij de sedimentatie van de bodem. De kleine skeletjes van de diatomeeën die zich opstapelen, bieden weerstand tegen erosie. Zoöplankton bestaat in tegenstelling tot fytoplankton uit alle in het water zwevende organismen die heterotroof (gebruikt organische stoffen om te groeien) zijn. Ze functioneren door zich te voeden met fytoplankton.



Diatomeeën



flagellaten – Y. Stukii

Macroalgen worden ook onderverdeeld in verschillende stammen. Zo bestaan er onder andere de groenwieren, oftewel de Chlorophyta, de Roodwieren (*Rhodophyta*), de Bruinwieren (*Phaeophyta*) en de Goudwieren (*Chrysophyta*). Dit zijn enkele subgroepen van de verschillende rijken. Deze verschillende subgroepen hebben alle een bepaald type chlorofyl en andere kleurstoffen als carotenoïde en fucoxanthine waardoor Roodwieren bijvoorbeeld een rood/roze kleur hebben en Bruinwieren, een bruine kleur hebben. Daarnaast worden de verschillende wiersoorten ook op andere eigenschappen als de celbouw onderverdeeld in groepen.

Kortom, er zijn vier supergroepen die algen bevatten naast het voorkomen van de cyanobacteriën. De indeling en classificatie van algen is moeilijk, omdat er nog zoveel soorten moeten worden onderzocht. Door nieuwe ontdekkingen bij nog onbekende soorten, kunnen indelingen wijzigen. Nu wordt het systeem van Keeling aangehouden voor de classificatie en ordening van organismen, hoewel het type classificatiesysteem in de afgelopen eeuw al een aantal keer is veranderd.

REFERENTIES

Algae Parc. (-). Verkregen in september, 2013, http://www.algae.wur.nl/NR/rdonlyres/DDCDE667-985A-4DEB-8CF8-137F4C4445B0/140931/Microalgen_hetgroenegoudvande-toekomst_NL.pdf

Algen. (2014). Verkregen op januari, 2013, <http://nl.wikipedia.org/wiki/Algen>

Brodie, J., Lewis, J., (2007). *Unravelling the algae, the past, present and future of algal systematics*. Verkregen van: <http://books.google.nl/books?id=YEFhgUBsQC&pg=PA18&lpg=PA18&dq=system+of+keeling+algae&source=bl&ots=JtORPfmjHi&sig=wp6Z6W7dvOpUxXR-b4509DoCJA&hl=nl&sa=X&ei=y4nOUtXIOfOS7Abl8YC-4CA&ved=0CJMBE0gBMAg#v=onepage&q&f=false>

Euglenophyta. (-). Verkregen in november, 2013, van <http://www.natuurinformatie.nl/ndb.lemmas/natuurdata-base.nl/i006408.html>

Noordijk, R., Kleukers, R.M.J.C., Nieuwerkerken, E.J., & Loon, van, A.J., (2010). *De Nederlandse biodiversiteit*. Verkregen van: <http://www.repository.naturalis.nl/document/222687>

Diatomeeënaarde

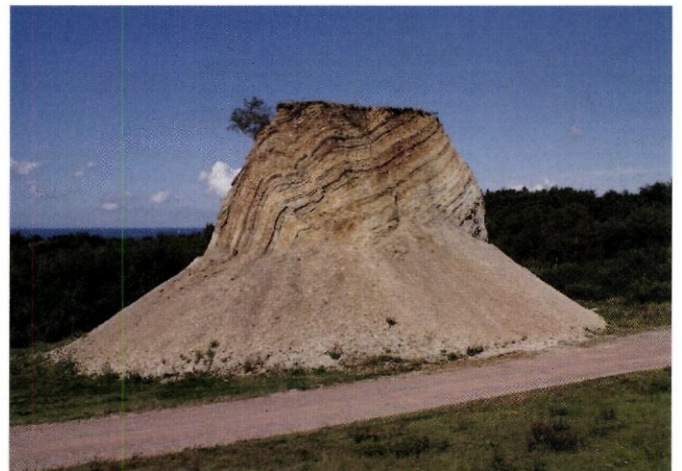


Kieselgrond in gebruik

Michiel de Bode

Er bestaan meer dan 100.000 verschillende soorten diatomeeën op aarde die bij benadering 30% van de totale organische koolstof produceren. Hun afmetingen liggen in de orde van 1 micrometer tot enkele millimeters. Het uiterlijk en de vorm worden door het silicium skeletje waar het in groeit gekarakteriseerd. Zodra aquatische diatomeeën dood gaan, vergaan algen zelf, maar zijn skelet blijft bestaan. Deze skeletjes samen bezinken en sedimenteren tot een materiaal wat bekend staat als diatomeeënaarde. Diatomeeënaarde heeft een hoge porositeit en een lage dichtheid, waarmee het zeer geschikt is voor industriële toepassingen. Het wordt gebruikt in onder andere verf, vulmiddelen als pesticidedrager en isolatiemateriaal, met nog veel meer mogelijke toepassingen in het verschie.

Ook wordt het gebruikt om poreus silicium te creëren vanwege de oppervlakte van de skeletjes ($91\text{m}^2\text{g}^{-1}$), want hoe meer oppervlakte des te meer reactief oppervlakte gecreëerd kan worden of het heeft meer poriën die beschikbaar gemaakt kunnen worden. Dit is bruikbaar voor allerlei soorten kunststoffen en in accu's en batterijen. Zonder de poreuze eigenschappen beschikt diatomeeënaarde ook al over een groot oppervlakte, als gevolg van de poriën die de algen erin gemaakt hebben. Deze structuur maakt het ook zeer geschikt als filter of absorberend materiaal.



Sedimentatie gesteente van diatomeeën skeletjes.

TOEKOMST

Het volledig potentieel van diatomeeënaarde is nog niet bekend, omdat nog steeds nieuwe toepassingen worden gevonden. Zoals in accu's, DNA technieken of bestrijdingsmiddelen. Maar ook als katalysator of in ruwe vorm vindt het steeds meer toepassingen.

REFERENTIES

Buchber, C., Delacôte, C., Fowler, C. E., Lebeau, B., Patarin, J., & Walcarius, A. (2007). An aqueous route to organically functionalized silica diatom skeletons. *Applied surface science*, 253(12), 5485-5493.

Chen, L., Fang, X., Guo, X., Shen, L., & Wang, Z. (2012). Magnesiumthermally reduced diatomaceous earth as a porous silicon anode material for lithium ion batteries. *Journal of Power Sources*, 213, 229-232.

Algae PARC



Interview met bedrijfsleider Rouke Bosma

Michiel de Bode & Inge Verbeek

WELK ONDERZOEK WORDT MOMENTEEL GEDAAN OP ALGAE PARC?

We zijn altijd nieuwe algen aan het testen op welke en hoeveel nuttige producten ze produceren. Het is zoeken naar het hoogste rendement. Hierbij kijken we ook naar genetische modificatie van algen. Om het risico van schade voor de natuur te voorkomen, wordt er eerst gezocht naar een methode om deze genetisch gemodificeerde soorten veilig te maken. Om het hoogste rendement te halen moet er een soort worden gevonden die het makkelijkst schakelt tussen vermenigvuldigen en het produceren van de gewenste producten. Over het algemeen zijn algen alleen maar aan het delen totdat je ze gaat 'stressen', bijvoorbeeld door een voedingsstof weghalen.

ZIJN ALGEN EFFECTIEVER DAN PLANTEN/BOMEN BIJVOORBEELD IN HET VERKRIJGEN VAN BIOMASSA?

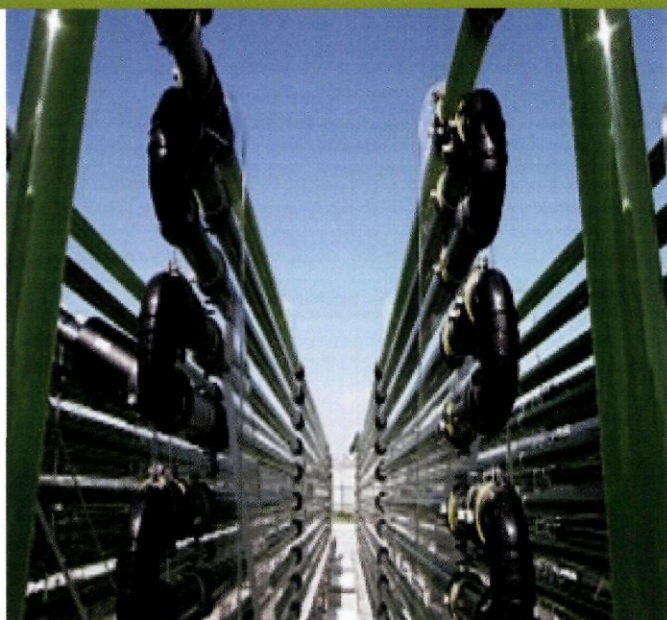
Algen hebben een efficiëntie van ongeveer 3% terwijl planten en bomen slechts 1% rendement hebben. Daarnaast zijn algen heel goed in het vastleggen van nutriënten, ze kunnen goed groeien onder veel lagere concentraties dan de meeste planten en bomen. Daarom is het ook praktisch om de algenreactoren dichtbij een afval waterstroom neer te zetten zodat een overschot aan nutriënten of restwarmte gebruikt kan worden.

ZIJN ER ANDERE PLAATSEN/ REACTOREN WAAR VERGELIJKBAAR ONDERZOEK WORDT GEDAAN?

Het weer in Nederland is niet het meest geschikt om algen te kweken. Algen hebben veel licht nodig en hoe meer hoe beter. Daarom staan er op andere plaatsen in de wereld nog reactoren, in onder andere Spanje, Afrika en Suriname. Wel kunnen we hier schattingen maken over de rendementen in zonnigere landen door extrapolaties en schattingen te maken op basis van gegevens van onze reactor.

KUN JE DE ALGEN NIET OP ZEE LATEN GROEIEN, AANGEZIEN DIT RUIMELIJK EFFICIËNTER IS?

Dit is zou inderdaad kunnen, alleen kamp je dan met moeilijkheden met aanvoer van nutriënten. Natuurlijk zeewater heeft een te lage concentratie fosfaat, ijzer en stikstof. Daarnaast hebben de algen veel zon nodig dus kun je ze niet echt onder het wateroppervlak houden. Dit zorgt ervoor dat het gevoelig wordt voor stormen en hoge golven. Tenslotte is het moeilijker algen er te bewaren en te oogsten. Het is makkelijker om de algenreactoren in de buurt te zetten van een afvalwaterstroom en een industrie die de producten wil gebruiken van de algen, zodat er nauwelijks transport hoeft plaats te vinden.



Verticale opstelling mirco-algen kweekbuizen waar het water met algen en voedingsstoffen wordt rondgepompt zodat de algen in het licht kunnen groeien.



AlgaeP.A.R.C. onderzoekt verschillende methoden om algen te produceren om zo de beste manier te vinden.

GEbruIKEN JULLIE MICRO- OF MACROALGEN?

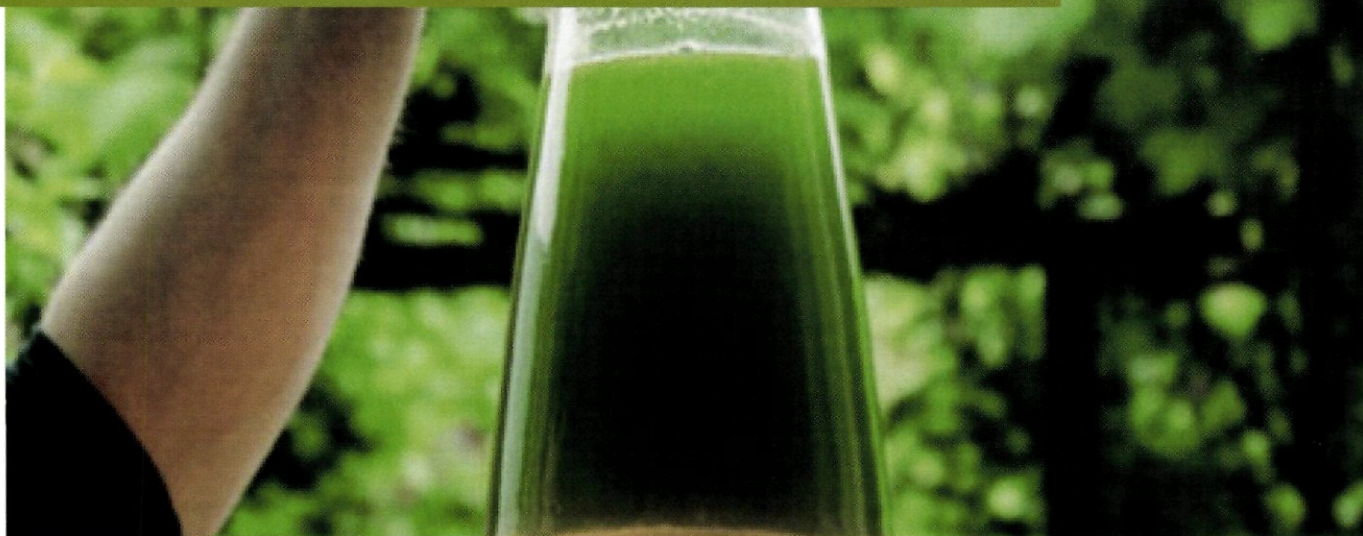
Algae PARC gebruikt alleen microalgen. Macroalgen zijn misschien handiger om te oogsten, maar door een lagere efficiëntie in oppervlak hebben ze een verlies aan rendement. Microalgen daarentegen kun je met een kleine turbulentie volledig doorlicht krijgen, zodat alle algen belicht worden. Bij microalgen zit er natuurlijk ook een maximum aan de concentratie die we in het water kunnen realiseren. Te veel algen gaat ten koste van de opbrengst, door onderlinge concurrentie. De concentratie die we nu aanhouden (3g/l) is nog wat lager dan de maximale concentratie van 5g/l die machinaal zou kunnen.

“VOOR ALGEN
GEBRUIKT
KUNNEN WORDEN
MOETEN ER EERST
NOG VELE
OBSTAKELS
OVERWONNEN
WORDEN.”

HOE ZIET U DE TOEKOMST OP GEBIED VAN ALGEN EN ENERGIE?

Waarschijnlijk zijn algen over ongeveer 20 jaar te gebruiken als alternatieve grondstoffenbron in de plaats van olie. Maar het winnen van biodiesel uit algen is gewoon niet rendabel, niet als primair product. Ik denk dat we daarvoor overal zonnecellen moeten gaan inzetten.

Microbiële Brandstofcellen



Energie direct uit algen

Inge Verbeek

De laatste jaren is de zoektocht naar alternatieve energiebronnen geïntensiveerd. De wetenschap dat onze huidige bron van energie eindig is, heeft ervoor gezorgd dat alle potentiële bronnen voor energie worden ontwikkeld en onderzocht. Tijdens deze zoektocht werd een belangrijke ontdekking gedaan; planten kunnen dienst doen als generator.

HOE WERKT HET?

Deze biobrandstofcellen, ofwel plant microbial fuel cells (PMFC), zijn gebaseerd op twee principes: het verlies van organische energiehoudende assimilaten (voornamelijk glucose) aan het water in de omgeving en het produceren van elektrisch potentiaal door bacteriën die van deze stoffen leven.

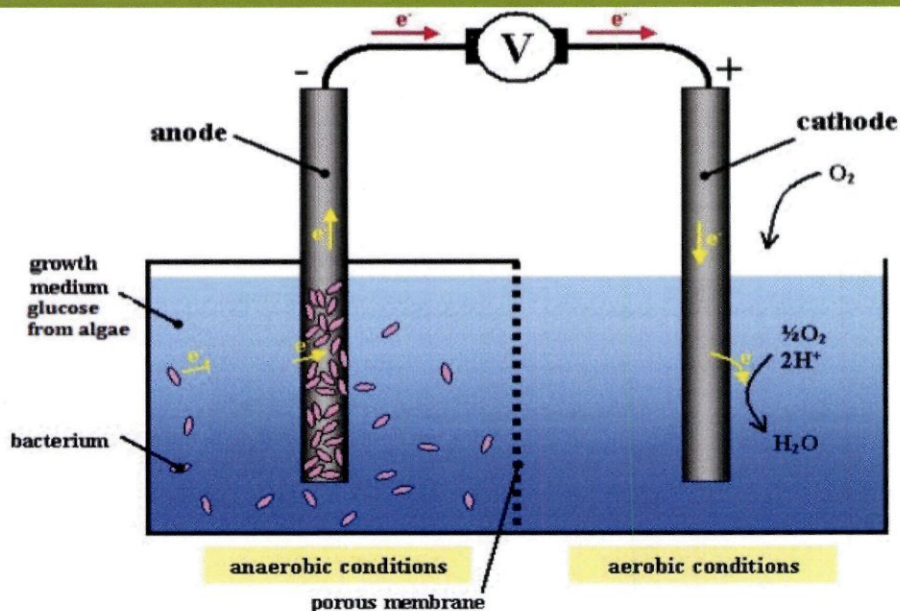
In het figuur op de rechterpagina is te zien hoe dit bij hogere planten in zijn werk gaat. De planten fotosyntheseren onder invloed van zonlicht, waarbij koolstofdioxide wordt omgezet in glucose en zuurstof. De zuurstof wordt vervolgens afgegeven aan de atmosfeer, terwijl de glucose wordt gebruikt door de plant. Nu is gebleken dat planten niet honderd procent effectief zijn in het gebruik van deze glucose. Een deel verliest de plant via de wortels naar het bodemwater. Normaal gesproken wordt deze glucose direct door bacteriën opgenomen en gebruikt. Dit kan echter alleen onder invloed van zuurstof uit de lucht, waarnaar er weer koolstofdioxide en water vrijkomen. Zuurstof bindt in deze reactie met een elektron en een proton om water te vormen.

Als er geen zuurstof beschikbaar is omdat de wortels onderwater staan kan het verbrandingsproces niet op conventionele manier plaats vinden.

Door een semipermeabel membraam en een anode en kathode te plaatsen kan dit proces wel weer plaats vinden, met als resultaat dat er een elektrische stroom opgewekt wordt. De microbial fuel cell is geboren.

POTENTIES

Tot nu toe is er vooral onderzoek gedaan naar mogelijkheden bij gewassen en moerassen. Maar er is ook zeker potenties met algen. Het mooie aan deze techniek van energie opwekken is dat het niet ten koste gaat van andere functies. Zo zou het bijvoorbeeld mogelijk moeten zijn om waterzuivering hiermee te combineren. Deze manier van energie produceren kan toegepast worden in processen als afvalwaterzuivering, maar ook drinkwaterzuivering. Omdat algen goed tegen anaerobe omstandigheden kunnen en bovendien efficiënter omgaan met de zonne-energie die ze opnemen, zijn ze ideaal voor dit soort toepassingen. De potenties van algen als medium voor PMFC's worden daardoor hoger geschat dan die van gewassen.



Schematische weergaven van een PMFC, waarbij het groeimedium wordt geleverd door algen.

“MICROBIËLE
BRANDSTOFCELLEN
KUNNEN ENERGIE
OPWEKKEN, ZONDER
DAT DIT TEN KOSTE
GAAT VAN FUNCTIES
ALS HET PRODUC-
EREN VAN BIOMASSA
EN
WATERZUIVERING.”

TOEKOMST

Alle artikelen over dit onderwerp zijn van de afgelopen 2 jaar. Dit betekent dat er nog maar kort onderzoek naar wordt gedaan. De resultaten die nu al zijn bereikt geven goede moed voor de toekomst. Het zal een grote stap kunnen zijn naar een duurzamere samenleving. In de toekomst zullen we alternatieven voor energieproductie hard nodig hebben, zodra aardolie schaars wordt.

REFERENTIES

Belanger, D., Cummings, A., Gadhamshetty, V., Gardiner, C., & Hynes, A. (2013). Evaluation of laminaria-based microbial fuel cells (LbMs) for electricity production. *Biore-source Technology*, 127(-), 378-385.

Cui, F., Liu, D., Lu, L., Wang, H., Xu, Y. & Zhao, Z. (2012). Simultaneous bioelectrochemical degradation of algae sludge and energy recovery in microbial fuel cells. *RSC Advances*, 2(18), 7228-7234

Freguía, S., Hamelers, B., Keller, J., Logan, B. E., Rabaey, K., Rozendal, R., & Schröder, U., (2006). Microbial fuel cells: Methodology and technology. *Environmental Science and Technology*, 40(17), 5181-5192

Helder, M. (2012) technology, Plant-e, verkregen op 11 juni 2013 van <http://plant-e.com/technology.html>

Juang, D. J. (2012). Application of microbial fuel cell in wastewater treatment system by using algae as the oxygen supplier in cathodic chamber. Paper presented at the 2012 IEEE International Conference on Power System Technology, POWERCON, -(-),-

Productiemethoden



Unieke productiemethoden voor algen

Inge Verbeek

Om algen te kunnen gebruiken moeten ze eerst geproduceerd worden. Omdat algen in water groeien, brengt dit een aantal interessante mogelijkheden en beperkingen met zich mee. In dit hoofdstuk zijn een aantal conceptplannen samengevat. Er zullen in de praktijk meer opties verkend worden en niet alle opties zullen haalbaar zijn.

OP LAND

Bij productie op het land zijn er verschillende opties om mee te werken. Bij Algae PARC wordt onder andere geëxperimenteerd met materialen en makkelijke oogstmethoden. De uitdaging met algen kweken op het land is dat er energie in gestoken moet worden om water te laten bewegen, om opstoppingen te voorkomen, om volledig gebruik te maken van toegevoegde nutriënten en het reguleren van een optimaal milieu.

De voordelen van op het land produceren is dat het gemakkelijk toegankelijk is voor onderhoud en om het te oogsten. Bovendien kan, omdat algen verder weinig eisen stellen aan de ondergrond, op agrarisch onbruikbare gronden geteeld worden.

De nadelen zijn dat maar weinig gebieden op land uiteindelijk geschikt zullen zijn. De meeste algensoorten die gebruikt worden zijn zoutwater soorten. Om te voorkomen dat er veel energie in zee watertransport moet worden gestoken, zal de productie beperkt zijn .

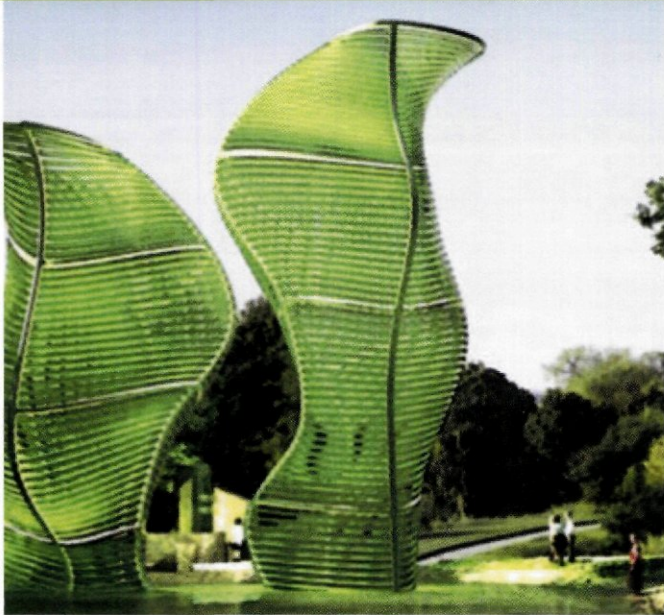
tot de kustregio's. Hiermee verlies je snel het voordeel om op agrarische onbruikbare gronden te kunnen werken, aangezien die vaak verder landinwaarts liggen.



Concept versie van een massa algenproductie op land IN STEDELIJK GEBIED

In stedelijk gebied zijn veel oppervlakten voorhanden die niet worden gebruikt, denk hierbij aan daken en muren van gebouwen. Door op deze oppervlakten systemen aan te brengen om algen te kweken kunnen er meteen meerdere functies naast productie worden aangesproken. Een andere aanpak komt uit een bijzondere richting, er zijn lantaarnpalen ontwikkeld die met behulp van algen koolstofdioxide filtert in stedelijk gebied. Als bijproduct kan de biomassa weer geoogst worden.

Door in stedelijk gebied te werken maak je gebruik van oppervlakten waar toch al



Algenproductie in steden kan mogelijk gemaakt worden en te combineren met kunst.

niets mee gedaan werd. Er is dus weinig concurrentie. Ook zit zo de oplossing dicht bij het probleem. Steden kunnen zo een stuk schoner worden en minder opwarmen in de zomer.

Dit is een dure optie en erg afhankelijk van de maatschappij. Niet iedereen zal de groene muren en daken altijd even aantrekkelijk vinden. Ook houdt het in dat onderhoud van de systemen hinder kan veroorzaken voor het dagelijks leven in de stad.

IN & OP ZEE

Een andere optie voor het kweken van algen is in zee. In delen van Azië is het al gebruikelijk om zeewier te verbouwen in de zee. Om ook microalgen te kweken in zee is er een systeem nodig dat de algen bij elkaar houdt en de mogelijkheid tot oogsten biedt. Zeewier behoort tot de mogelijkheden, maar NASA is een concept aan het ontwikkelen waar lange flappen vanuit de kust in de zee drijven. Aan de kustzijde wordt het voedselrijke water in de flappen gepompt waar de algen het water filteren en schoon water en biomassa uit het systeem komt.

Het grote voordeel van op de zee produceren is dat dit produceren in natuurlijke omstandigheden is. Alleen voedingsstoffen moeten worden toegevoegd, en aan voedselrijk water hebben we geen gebrek. Ook het voordeel om gebruik te maken van oppervlakten die voorheen niet gebruikt werden is



Een door NASA ontworpen systeem om met afvalwater op zee algen te kweken.

Een nadeel zijn de hoge eisen die aan dergelijke systemen worden gesteld. Het moet bestendig zijn tegen golfslag en andere natuurkrachten. Welk effect deze systemen zullen hebben op maritiem leven is tevens nog niet onderzocht, maar het zou een potentieel probleem kunnen zijn omdat er veel zonlicht wordt onttrokken aan het maritieme voedselweb.

TOEKOMST

Algen hebben grote potenties om op onconventionele manieren geproduceerd te worden. Op een steeds drukker wordende aarde is dit een belangrijke factor in groei van industrieën.

REFERENTIES

Scientific America, (2012) inhabitat, New Urban Algae System Generates Energy While Cleaning Wastewa..., verkregen in 2013, <http://inhabitat.com/new-urban-algae-system-generates-energy-while-cleaning-sewage-water-in-paris/ennesys-axel-schoenert-architects/cienti>

Presley (2013)green, de lantaarn dieCO₂ vreet, (verkregen in 2013) <http://www.green2.nl/lantaarn-die-co2-vreet/>

De San, M. (2012) EU, The farming of seaweed. Verkregen in 2013 http://media.wix.com/ugd/19606a_d5b46b8df-167317524ba8d09a9831104.pdf

Farmer, T. (2011) inhaditat, NASA's OMEGA Project Creates Carbon Neutral Food and Fuel (verkregen in 2013) <http://inhabitat.com/nasas-omega-project-creates-carbon-neutral-food-and-fuel/>

Biodiesel & plastic



Van Fossiel naar Algenolie

Inge Verbeek & Michiel de Bode

Biodiesel is een bekend fenomeen. Er wordt al jaren onderzoek naar gedaan om auto's en vliegtuigen op CO₂ neutrale brandstof te kunnen laten rijden of vliegen. Naast biodiesel is het ook mogelijk om plastics en andere chemicaliën uit plantaardige oliën te winnen, zoals dat met normale olie ook kan. Tot voor kort werd vooral parallel onderzoek gedaan naar plantaardige oliën en olieproductie uit afvalverwerking. Het onderzoek naar door algen geproduceerde oliën is pas recentelijk begonnen. Nu al zijn er resultaten die algen, door de lage productiekosten en het hoge rendement, als enige potentieel bruikbare bron voor bio-olie aanwijzen.

BIODIESEL

Het grote probleem met biodiesel is de concurrentie met diesel geproduceerd uit aardolie. Deze fossiele grondstof is zo goedkoop te produceren dat biodiesel geen echte concurrentie op de markt kan vormen en dus vaak de investeringen niet waard is. Toch wordt er onderzoek gedaan naar methoden om biobrandstof te produceren uit algen. Momenteel is de productie van algen nog niet energie-rendabel. Voordat dit mogelijk is moeten alle onderdelen zo ver mogelijk geperfectioneerd worden.

Naast de uitdagingen op het gebied van productie, die in het hoofdstuk over productie beschreven zijn, moet om biodiesel bruikbaar te maken veel geïnnoveerd worden in raffinageprocessen. De productiemethodes verschillen

per eindproduct, zoals diesel, kerosine of ethanol. De onderzoekers in dit veld schatten dat de meeste potentie ligt in vliegtuigbrandstof. Waar elektrisch rijden het bij auto's wint van biodiesel, hebben vliegtuigen een compactere energievorm nodig dan accu's. Ze zitten daarom voorlopig vast aan vloeibare brandstoffen, waarin biokerosine een uitkomst kan bieden.

BIOPLASTICS

Bioplastics ondervinden het hetzelfde probleem als biodiesel als gevolg van de lage olieprijs. Door tijdens het raffineren van ruwe olie te variëren in zaken als temperatuur, druk en tijd, kan er gevarieerd worden in het eindproduct.

Een voordeel van algen is dat de biomassa relatief nat is, hierdoor is het opwarmen veel minder moeilijk dan droge biomassa. De verhoudingen van de elementen in de ruwe olie die verkregen wordt uit de algen, verschilt met die van de fossiele olie. Hierdoor moet deze olie op een andere manier geraffineerd worden, wat op dit moment nog duur is.

Plastics zijn erg belangrijk geworden in de huidige maatschappij door de vele toepassingen en de lage kosten. Voor brandstof kan er naar andere energiebronnen gegrepen worden, maar plastics zullen altijd van olieachtig materiaal gemaakt worden.



Een collectie van bronnen van bio-brandstoffen en -plastics. Waarbij de meeste zoals maïs ook voedsel gewassen zijn.



Olie-palm plantages, zoals deze in Indonesië, die ten koste gaan van regenwoud, zijn nu de grootste leveranciers van biobrandstof.

“VEEL BIODIESEL IS AFKOMSTIG VAN OLIEPALMEN OF CONCURREERT MET VOEDSELGEWASSEN EN IS DAAROM LANG NIET ZO DUURZAAM ALS HET LIJKT.”



Een collectie van huishoud artikelen die momenteel van fossiele olie wordt gemaakt en dus ook potentieel van algolie.

TOEKOMST

Olie uit algen zal kunnen voorzien in de vraag naar biokerosine en de grote vraag naar plastics. Algen kunnen goed concurreren met andere bronnen van bio-olie.

REFERENTIES

Amotz, A. B., Ayer, N., Dhaliwal, H., Ivry, E., Passell, H., Reno, M., & Wu, B. (2013). Algae biodiesel life cycle assessment using current commercial data. *Journal of Environmental Management*, 129(-), 103-111.

Azadi, P., Bhave, A., Brownbridge, G., Inderwildi, O., Kraft, M., Mosbach, S., & Smallbone, A. (2014). The carbon footprint and non-renewable energy demand of algae-derived biodiesel. *Applied Energy*, 113 (-), 1632-1644.

Bux, F., Guldhe, A., Rawat, I., & Singh, B. (2014). Towards a sustainable approach for development of biodiesel from plant and microalgae. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 29(-), 216-245.

Chisti, Y. (2007) Biodiesel from microalgae. *Biotechnology Advances*, 25(3), 294-306.

Cooke, P., Deng, S., Muppaneni, T., Patil, P. D., Ponnusamy, S., Reddy, H. K., & Schaub, T. (2014). Direct conversion of wet algae to crude biodiesel under supercritical ethanol conditions. *Fuel*, 115(-), 720-726.

How are plastics made from crude oil? (2014). Verkregen in januari, 2014, van <http://www.ask.com/question/how-are-plastics-made-from-crude-oil>

Kim, C. W., Kim, J., Kim, K., Lee, H., Lim, J., Yang, J., ... & Yoo, G. (2013). Methods of downstream process. *Elsevier*, 31(6), 862-876.

Savage, P.E., & Zheng, L. (2013). Feedstocks for fuels and chemicals from algae: Treatment of crude bio-oil over HZSM-5, *algal research*, 2(2), 154-163.

Waterreiniging



Een veelzijdige en efficiënte toekomst

Laszlo van der Wal

Dagelijks gebruiken we liters water. Wassen, koken, badderen en drinken, allemaal activiteiten die we ook in de toekomst nog zullen doen. Gelukkig is Nederland een waterland en is de watervoorraad in ieder geval een van de zaken waar we ons geen zorgen over hoeven te maken. Toch? Schijn bedriegt.

Zeker met het oog op klimaatverandering krijgen provincies die afhankelijk zijn van grondwater het steeds lastiger in hun strijd tegen verdroging. Het voortdurend onregelmatige afvoergedrag van de grote rivieren zorgt ervoor dat het gebruiken van oppervlaktewater steeds lastiger wordt voor de westelijke delen van het land. Daarnaast lijken er zich ook meer verontreinigingen op nano-niveau voor te doen in ons water, zoals medicatieresten die onder andere antibiotica-resistentie en hormoonverstoringen tot gevolg zouden kunnen hebben. Ook de bemestingsproblematiek en de gevolgen van jarenlange (zware) industrie zullen uiteindelijk hun weg vinden in onze grondwaterstromen, met (mogelijk) ernstige gevolgen voor de volksgezondheid.

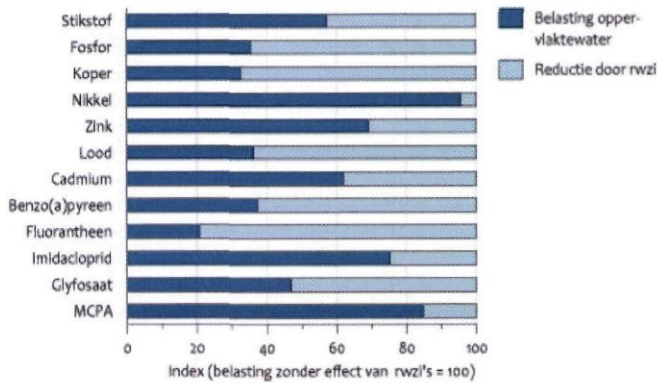
De huidige rioolwaterzuiveringsinstallaties (rwzi) zijn verre van perfect en missen capaciteit of rendement. Wat zorgt er dan toch voor dat we in deze toekomst toch geen conflict hebben met onze waterbehoefte? Algen, veelzijdig als ze zijn, zouden daar een flinke bijdrage in kunnen leveren.

LEEFBAARHEID VAN WATER

Voor de reiniging van water wordt in de huidige afvalverwerking vaak gebruik gemaakt van aerobe bacteriën. Zij zetten organisch materiaal om in gasen als koolstofdioxide en methaan. De aerobe bacteriën verbruiken gedurende dit proces de aanwezige zuurstof, waardoor kunstmatige beluchting van het water nodig is. Vaak gebeurt dit met grote mechanische installaties, waardoor deze stap in het proces al snel de helft van alle benodigde energie vraagt. (Algen kunnen door fotosynthese in die zuurstofbehoefte voorzien, waarmee ze de aerobische delen van het proces ondersteunen. Op hun beurt gebruiken de algen dan weer de CO_2 die de aerobe bacteriën produceren. Daarnaast gebruiken de algen de aanwezige stikstof en fosfaten voor groei, waarmee ze de aanwezige voedingsstoffen verder verlagen. De geproduceerde biomassa kan vervolgens gebruikt worden voor het produceren van verschillende producten, zoals biogas, -diesel of -plastics.

Dat betekent echter niet dat alle algen gebruikt kunnen worden in de waterreiniging. Net als andere flora en fauna functioneren de meeste algen slechter of geheel niet onder omstandigheden met zware metalen in het water of organische vervuiling. Die problemen variëren van veranderingen in de morfologie tot chemische reacties die op andere wijze gaan verlopen. Daarnaast wordt er ook onderzoek gedaan naar soorten die snelle groei vertonen.

Impact rioolwaterzuivering op belasting van oppervlaktewater, 2011



iron: Emissieregistratie.

CBS
www.cbr.nl/nro



Een overzicht laat zien dat waterzuivering niet in staat is alle schadelijke stoffen uit het water te verwijderen.

Juist waar afvalwater wordt gedumpt kan algenbloei ontstaan; een dikke laag algen op het water.

ZWARE METALEN

Naast voedingsstoffen bevat industrieel afvalwater vaak zware metalen. De giftige werking van (hoge) concentraties zink, lood en kwik op levende organismen is al langer bekend, maar onderzoek laat ook zien dat organismen in bodemprocessen hieronder te leiden hebben en dat de agrarische potentie van de bodem flink kan verminderen. Hoewel hoge concentraties ook voor algen giftig kunnen zijn, bestaan er soorten die in staat zijn te overleven in omstandigheden met hoge concentraties aan zware metalen. Een soort als *Chlorella vulgaris* is in een liter aan oplossing bijvoorbeeld in staat per dag ruim 114 milligram Zink aan zich te binden. Dit proces heet ook wel biosorptie, waarbij de stoffen niet door de celwand heen worden getransporteerd, maar aan de wand blijven hangen. Een andere vorm om algen zware metalen uit het water te laten halen is door middel van bioaccumulatie. In dit proces worden stoffen actief de cel in getransporteerd, om bijvoorbeeld rest-elementen te verkrijgen die ze nodig hebben voor hun groei. *Chlorella sorokiniana* is daardoor bijvoorbeeld in staat 192 milligram cadmium te accumuleren per gram aan eigen gewicht.

TOEKOMST

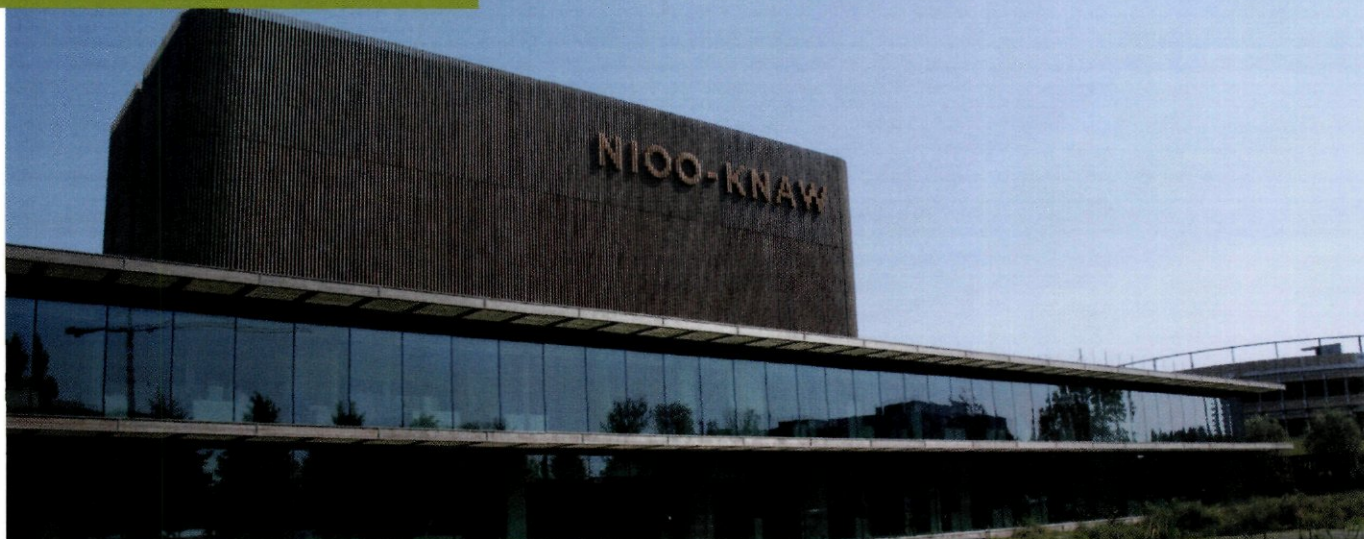
De laatste jaren is er veel gesproken over smartgrids die onderling elektriciteit, warmte en afvalstoffen kunnen uitwisselen. Het omschakelen naar dit soort systemen vraagt aanpassingen aan de huidige afval- energie- en waterstromen. Algen bieden het voordeel binnen dat soort infrastructures zowel op grote als kleine schaal ingezet te kunnen worden. Met al het onderzoek naar algen(combinaties) dat op het moment plaatsvindt is een plaats voor algen in waterreiniging daarmee bijna gegarandeerd.

REFERENTIES

Giller, K. E., Mcgrath, S. P., & Witter, E. (1998). Toxicity of heavy metals to microorganisms and microbial processes in agricultural soils: a review. *Soil Biology and Biochemistry*, 30(10-11), 1389–1414. doi:10.1016/S0038-0717(97)00270-8

Guieysse, B., & Mun, R. (2006). Algal – bacterial processes for the treatment of hazardous contaminants: A review, 40(-), 2799–2815. doi:10.1016/j.watres.2006.06.011

Heeringa, S. J. (2013). *Medicijnverontreiniging in het beheergebied van Wetterskip Fryslân*.



Interview Tânia Fernandes

Laszlo van der Wal

Het nieuwe kantoor van het NIOO-KNAW, dat sinds 2011 in Wageningen is gevestigd, zit vol met nieuwe, duurzame technieken. Een voorbeeld daarvan is het terugwinnen van voedingsstoffen uit afvalwater. Algen spelen in dit systeem een belangrijke rol.

Hoewel we de aanwezigheid van onder andere fosfor, vaak voor vanzelfsprekend aannemen, wordt het gewonnen uit (eindige) mijnen en veroorzaakt de grote afhankelijkheid van landbouw op kunstmest een groeiende vraag naar dit soort voedingsstoffen.

Onze ontlasting bevat veel voedingsstoffen die in potentie gewonnen kunnen worden. Doordat dit afvalwater echter wordt afgevoerd met het overige huishoudwater, waaronder was- en douchewater dat minder vervuild is, raakt het sterk verdund. De eerste stap in het terugwinnen van de voedingsstoffen is dus het scheiden van afvalwaterstromen in geconcentreerde vorm. Bij het NIOO gebeurt dit met behulp van vacuümtoiletten.

Een anaerobe eenheid zet organisch materiaal vervolgens om in gassen als koolstofdioxide en methaan. Het resterende mengsel bevat de grote hoeveelheden voedingsstoffen die, wanneer zij op het oppervlakte water geloosd zou worden, desastreuze effecten zou hebben op voedingsarme ecosystemen.

Door algen in dit water te kweken, worden de voedingsstoffen gefixeerd en is het mogelijk ze in allerlei nieuwe toepassingen her te gebruiken. In een volgende stap kunnen de voedingsstoffen uit de algen terug worden gewonnen en bijvoorbeeld als meststof dienen. De biomassa van de algen kan ingezet worden in bio plastics of –energie.

Tania Fernandes en haar collega's doen onder andere onderzoek naar welke (combinaties van) algensoorten het best bestand zijn tegen de vervuilde omstandigheden waarin zij dienen te groeien en hoe snel zij dit doen. Daarnaast behoren ook microvervuiling (medicijnresten en hormonen) en pathogenen (ziekteverwekkers) tot de producten die algen (mogelijkerwijs) kunnen bestrijden.

Na onderzoek en doorontwikkeling is de inpassing van dit soort oplossingen in ieder huis is volgens Fernandes zeker haalbaar en in staat te gaan concurreren met de grote en dure afvalwaterzuiveringen die we nu kennen.

REFERENTIES

Fernandes, T. (2012). *Poepetende algen. Verkregen in december, 2013, van <http://www.nioo.knaw.nl/onder-ecologen/poep-etende-algen>*



Interview Peter van den Dorpel

Inge Verbeek

AlgaeLink is een internationaal bedrijf dat zich vooral bezighoudt met ontwikkelen en toepassen van algenkweek. Samen met vele partners in de verschillende sectoren, zoals farmacie, levensmiddelen, brandstof en afvalwaterreiniging worden er in meer dan 20 landen projecten opgezet om gebruik te maken van algen. Peter van den Dorpel, CEO van AlgaeLink vertelt hoe uniek een bedrijf als AlgaeLink eigenlijk is omdat zij niet alleen de apparatuur ontwikkelen en bouwen om algen mee te kweken maar ook zelf deze apparaten in gebruik nemen. Alsof een constructiebedrijf kassen bouwt en ook nog zelf de tomaten kweekt.

Peter van den Dorpel is optimistisch over de potentie van algen in de verschillende sectoren, wat wordt gedeeld door de betrokken partijen die steeds meer gaan investeren in het onderzoek naar de toepassing van deze grondstof. Ook in de brandstofsector gelooft Van den Dorpel in de haalbaarheid van biodiesel op basis van algen, al zal dit pas echt interessant worden als ruwe olie door schaarste duurder wordt.

Omdat nutriënten en zonlicht essentieel zijn voor het rendement van de ontwikkelde reactoren zal het kweken van algen niet overal toepasbaar zijn. In Nederland is er gewoonweg niet genoeg zonlicht om dit soort producties rendabel te maken. Gelukkig blijven er in de warmere streken van de wereld zoals Zuid-Amerika, Afrika en Spanje genoeg

mogelijkheden om algenkweken tot een succes te maken. Samen met bedrijven uit de verschillende sectoren doet AlgaeLink toegepast onderzoek naar verschillende aspecten van het algen kweken om dit proces rendabel te maken. Een nieuwe ontwikkeling is bijvoorbeeld de zonnendroger. Een systeem dat een oplossing kan zijn voor de hoge energie kosten in het drogen van de algenpasta.



De zonnendroger die met hoog rendement en zonnenergie algen droogt om ze daarna te kunnen verwerken.



Voedzame algen als vervanger voor graan

Michiel de Bode

Dat voeding voor een deel je gezondheid bepaalt weet iedereen, maar waar minder over na wordt gedacht is dat dit ook geldt voor dieren. Daarnaast kan slechtere voeding ook de productie beïnvloeden en zal bijvoorbeeld de hoeveelheid en kwaliteit van de melk die een koe produceert van slechtere kwaliteit zijn. Kunnen algen een verbetering in het voedselpatroon van onze veestapel vormen?

LACTERENDE PERIODE BIJ KOEIEN

Zodra koeien beginnen met melk geven is dit één van de belangrijkste periodes voor hun gezondheid en latere prestaties. In deze periode worden ze blootgesteld aan metabolische stress en fysiologische veranderingen, zoals groter wordende uiers doordat ze beginnen met de melkproductie. Daarmee worden veel voedingsstoffen verbruikt die voorheen niet nodig waren. Hierdoor kan de koe opeens veel meer nutriënten nodig hebben voor melk en krijgen ze misschien niet genoeg nutriënten voor hun behoefte binnen. Zo ontstaat er een negatieve voedingsbalans. Een dieet met bepaalde zee-algen, rijk aan DHA (zie hoofdstuk voeding, blz. 24) (omega-3 verzuren), kan mogelijk dit tekort verminderen. Tot nu toe is nog niet het beoogde resultaat met betrekking tot een herstelde energiebalans behaald, maar wel is het gelukt om vetproductie in de melk omlaag te krijgen.

STERFTERATIO VAN LAMMETJES

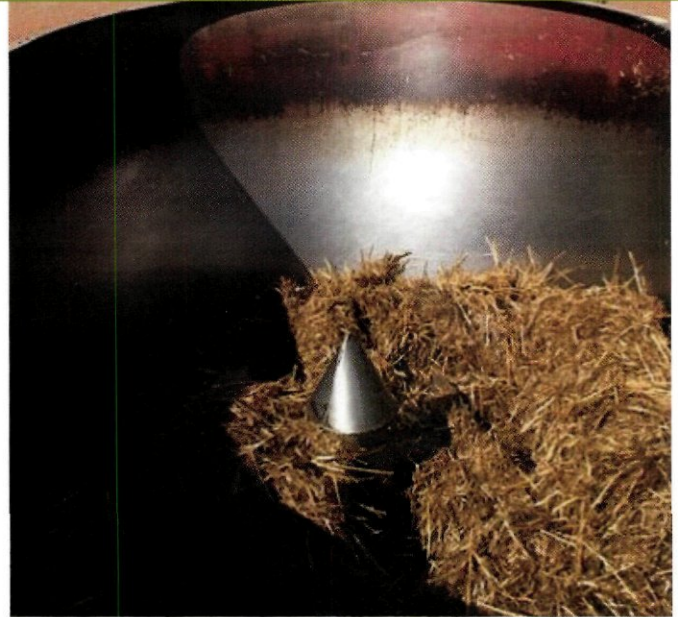
De sterfteratio van lammetjes, in de fase na de geboorte (neonatale fase), wordt vaak toegeschreven aan een gebrek aan kracht of activiteit (bijvoorbeeld een langere tijd om te gaan staan na geboorte). DHA's zijn waarschijnlijk goed voor de ontwikkeling van weefsel van de foetus en worden in hoge concentraties in de hersenen gevonden. Daarom worden drachtige ooien een bepaalde periode voordat ze bevallen gevoerd met extra algen. De totale hoeveelheid voedsel die ze binnenrijgen blijft echter gelijk. Door gebruik te maken van deze voeding gedurende langere en kortere periodes is geconcludeerd dat voeren met algen de kracht verbetert, maar de verbetering is niet op elk gebied significant.

NUTRIËNTEN IN KOEMELK

Tegenwoordig wordt veel vlees gegeten maar relatief weinig vis. Als gevolg krijgt men tegenwoordig relatief weinig vetzuren binnen. Melk en zuivel vormt daarentegen een populair product, zowel onder volwassenen als jonge kinderen. Op dit moment vormt zuivel echter een zeer kleine en slechte bron voor vetzuren. De hoeveelheid vetzuren in zuivel zou echter verhoogd kunnen worden, door aanpassing van het koeiendieet, waarmee kinderen ook meer vetzuren binnen krijgen. Er is momenteel echter nog geen significant resultaat gevonden in de verbetering van de nutriënten van de koemelk.



Zee wier als voeding voor dieren vraagt om nieuwe oogst methoden en machines.



In deze mixer kunnen in de toekomst ook algen worden verwerkt als toevoeging om het hooi en de granen.

Deze vetzuren worden gemaakt door marine-algen en niet door vis, in tegenstelling tot wat veel mensen denken. Daarnaast kunnen deze algen makkelijker op duurzame wijze verbouwd worden, waar het afvangen of telen van vis op duurzame wijze lastiger is.

Op dit moment bestaat er een drietal agrarische bedrijven in Groningen, die op deze trend inspelen. Deze bedrijven produceren in totaal 15 ton algen per jaar, die worden verwerkt in allerlei verschillende producten. Naast veevoer komen ze ook terecht in bijvoorbeeld tandpasta of shampoo. Het idee van deze bedrijven is om lokaal een systeem te creëren waarbij algen worden gevoerd aan het vee en de mest van de dieren weer aan de algen. Op deze manier wordt ook de mestafzet voor de boeren verkleind.

REFERENTIES

Stamey, J. A., Shepherd, D. M., de Veth, M. J., & Corl, B. A. (2012). Use of algae or algal oil rich in n-3 fatty acids as a feed supplement for dairy cattle. *Journal of dairy science*, 95(9), 5269-5275.

Wullepit, N., Hostens, M., Ginneberge, C., Fievez, V., Opsomer, G., Fremaut, D., & De Smet, S. (2012). Influence of a marine algae supplementation on the oxidative status of plasma in dairy cows during the periparturient period. *Preventive veterinary medicine*, 103(4), 298-303.

Pickard, R. M., Beard, A. P., Seal, C. J., & Edwards, S. A. (2008). Neonatal lamb vigour is improved by feeding docosahexaenoic acid in the form of algal biomass during late gestation.

TOEKOMST

Op dit moment weten we niet precies in welke situaties algen een bijdrage kunnen leveren aan de sterkte van dieren of de kwaliteit van hun producten. Er wordt er veel geëxperimenteerd, maar pas over een aantal jaar zullen we de eerste duidelijke resultaten te zien krijgen.



Voedzame en lekkere algen

Anna-Jet Leyenaar

Er zijn ontzettend veel algensoorten in de wereld met allemaal specifieke celstructuren, nutriënten en andere kwaliteiten die voor het menselijk lichaam positief kunnen zijn. Algen kunnen daarom gebruikt worden in voeding, bijvoorbeeld als basis in voedingsmiddelen, supplementen of in groente en snoep. Momenteel worden voornamelijk macro-algen gebruikt in de voedingsindustrie. Macro-algen zijn vooral in Aziatische landen bekend in het voedselpatroon, maar ook in Europa komen ze vaker op het menu te staan. Naast veel onderzoek naar macro-algen als ingrediënt in voedsel, wordt er ook steeds meer onderzoek gedaan naar nutriënten in micro-algen. Zo zijn er lipiden en eiwitten die worden gewonnen uit algen. Hieronder worden een aantal nutriënten en algensoorten besproken en wat voor functie en kwaliteiten ze hebben.

Een voorbeeld van zo'n algensoort zijn wieren. Wieren vallen onder de groep macro-algen en dienen vooral als smaakmaker of groente. Daarnaast vervullen ze de functie als hydrocolloïden. Dit zijn hydrofiele polymeren die er bijvoorbeeld voor zorgen dat voeding beter oplost. Drie belangrijke hydrocolloïden die zich in de celwand van wieren bevinden, zijn Agar-Agar, Alginaat en Carrageen. Door Alginaten aan voedingsmiddelen toe te voegen, lossen de voedingsstoffen beter op. Daarnaast hebben Alginaten een emulgerende werking. Dat houdt in dat ze twee stoffen die normaal niet goed gemengd kunnen worden, nu wel kunnen mengen.

Agar-Agar wordt verkregen door de wieren te drogen en te extraheren met heet water. Als de substantie is afgekoeld, vormt deze een gel die wordt ingevroren en ontdooid, op die manier bevat de substantie geen zouten meer. De geëxtraheerde hydrocolloïde substantie wordt van een paar specifieke families wieren en rode algen verkregen. Agar-Agar wordt gebruikt als een natuurlijk geleermiddel in producten. Het zorgt er dus voor dat de structuur van voedingsmiddelen dikker wordt. Carrageen wordt aan producten toegevoegd om de stroperigheid te vergroten, maar als stabiliserende middelen. Het wordt gewonnen uit specifieke wieren families en wordt verdeeld in drie sub-groepen: kappa-, iota- en lambdacarrageen. Deze indeling is gebaseerd op de gelsterkte van carrageen. Kappa-carrageen zorgt voor een sterke gel en iota-carrageen zorgt voor een zachte gelsterkte. Carrageen is verwerkt in onder andere verschillende soorten pudding.

Microalgen bestaan uit eiwitten tot ongeveer 60 % van de droge massa. Maar doordat er zo'n 80.000 soorten microalgen zijn, zijn er nog maar een paar die gebruikt worden voor menselijke consumptie. Alle microalgen soorten zijn namelijk nog lang niet allemaal onderzocht op de geschiktheid voor menselijke consumptie. Vaak worden microalgen gebruikt als gezond vulmiddel in voedingsmiddelen of als voedingssupplement, maar ook als kleurstof in bijvoorbeeld snoep of toetjes en bron voor polysachariden.



Krulwiersalade, een Aziatische salade met krulwier als ingrediënt



Chlorella spp. wordt op verschillende manieren verwerkt, waaronder in poedervorm.

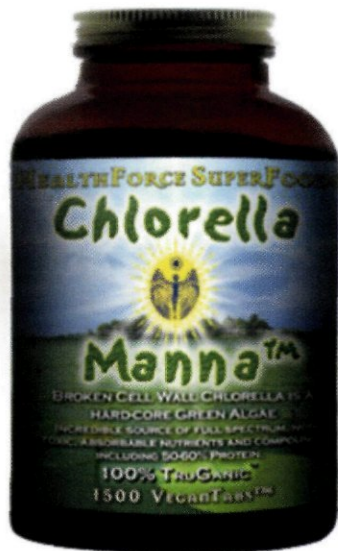
Een andere reden waarom microalgen worden geteeld, is vanwege het hoge gehalte aan omega-3 vetzuren. Deze vetzuren verlagen het cholesterolgehalte en vervullen een functie bij de oogfunctie en de stofwisseling in de hersenen. De essentiële omega-3 vetzuren worden ingebouwd in celmembranen waarna ze een rol spelen bij het doorgeven van signalen tussen cellen. Ze zorgen er dus eigenlijk voor dat het lichaam soepel blijft. Er is een aantal redenen waarom micro-algen zo populair zijn op dit moment. Ze kunnen bijvoorbeeld groeien in gebieden waar landbouw bijna onmogelijk is, zoals in de woestijn of juist in meren met een hele hoge pH waarde.

Daarnaast produceren microalgen als *Spirulina* heel veel biomassa, veel meer dan gewone gewassen. Zo wordt er van rijst acht ton per hectare geoogst en van de microalg *S. platensis* zestig tot zeventig ton per hectare. Dat is aanzienlijk meer. *E. spirulina* zijn meercellige cyanobacteriën. Ze groeien uit tot langwerpige spiraalvormige draden. Al eeuwenlang worden deze microalgen gebruikt als voedsel. Ze worden geoogst uit meren, gedroogd en daarna opgegeten. Er zitten net als bij alle andere micro-algen veel eiwitten in.

Eiwitten zijn opgebouwd uit aminozuren en in het menselijk lichaam worden eiwitten afgebroken tot aminozuren. Daar kunnen eiwitten fungeren als enzymen die chemische reacties versnellen. Zo wordt het eten

bijvoorbeeld sneller verteerd mede door enzymen. Aminozuren helpen weer bij de opbouw van stikstofbasen die onderdeel zijn van DNA en RNA. Andere eiwitten zijn weer actief bij het in en uit de cel transporteren van stoffen. Recent zijn er eiwitten ontdekt in een bepaalde groep micro-algen die celstructuurwijzigingen kunnen tegenhouden, waardoor bepaalde ziekten kunnen voorkomen of gestopt. Microalgen met die speciale eiwitten kunnen worden toegevoegd in voeding. Zo zijn er nog veel meer manieren waarop eiwitten een rol spelen in het menselijk lichaam, maar belangrijk is het feit dat ze een cruciale rol spelen in het menselijk lichaam.

Chlorella spp. is een andere groep microalgen van de familie *Chlorophyta*. De cellen van de soort *Chlorella* verdubbelen zich onder optimale omstandigheden in minder dan twee uur. Omdat dit proces zo snel gaat is deze algensoort in staat veel meer droge stof per ha te leveren dan een ander gewas. Het gaat daarbij al snel om zo'n dertig ton droge stof, ten minste, als de omstandigheden voor de groei van de algensoort goed zijn. *Chlorella spp.* Bestaat namelijk voor het grootste deel uit Chlorofyl. Hoe meer chlorofyl, hoe meer fotosynthese en hoe sneller de groei. Ook bevat *Chlorella* een grote hoeveelheid eiwitten, of eiwitten. Eerder is al genoemd dat deze eiwitten helpen bij de opbouw van nieuwe stikstofbasen, daardoor is *Chlorella*



Chlorella Manna

spp. ook een goede aanvulling op het voedsel voor snel herstel van ziekte.

Algen bevatten antioxidanten. Antioxidanten is een verzamelnaam voor de vitamines C tot en met E, sporenelementen Seleen en Zink en andere stoffen met een bepaalde functie zoals carotenoïden. Antioxidanten zorgen ervoor dat cellen niet oxideren. Dus vitamines gaan die oxidatieprocessen tegen. De stoffen die voor de oxidatieprocessen zorgen, worden vrije radicalen genoemd. Het zijn agressieve stoffen, die cellen schade toebrengen en celstructuren langdurig kunnen veranderen. Zo kan bijvoorbeeld DNA worden veranderd, waardoor ziekten zoals kanker kunnen ontstaan. Carotenoïden zijn ook antioxidanten. Een voorbeeld van een carotenoïde in microalgen is Fucoxanthin. Er wordt geschat dat deze carotenoïde meer dan tien procent bijdraagt aan de totale productie carotenoïden in de natuur. Bij het onschadelijk maken van oxidatieprocessen door carotenoïden, worden vrije radicalen onschadelijk gemaakt.

Voorbeelden van producten met daarin verwerkte algen of stoffen die in algen voorkomen zijn bijvoorbeeld Spirulina 500 mg NOW tabletten en Chlorella Manna. Spirulina 500 mg NOW tabletten bevatten blauwgroene *E.spirulina* algen. NOW foods beweert dat Spirulina helpt het cholesterolspiegel gezond te houden, de weerstand te verbeteren en dat het de eetlust vermindert, omdat *E.spirulina* een bron van proteïnen is. *Chlorella manna*

kan worden ingenomen als. Het bevat gecultiveerde *Chlorella* algen. Chlorella Manna TM beweert onder andere dat de tabletten of het poeder voor een betere zuurstofopname door het bloed zorgt, waardoor een persoon meer energie zal hebben.



Spirulina 500 mg NOW tabletten

TOEKOMST

Er zijn nog veel onontdekte algensoorten in de wereld en nog meer soorten waar minimaal onderzoek naar gedaan is. Toekomstig onderzoek zal ongetwijfeld nog meer mogelijke toepassingen voor voeding en gezondheid tonen. De toegenomen interesse in algen als voedingssupplement of ingrediënt creëert tegelijk een markt waarop deze kennis kan worden toegepast.

REFERENTIES

Algensoorten. (2009). Verkregen in december, 2013, van <http://www.allesoverchlorella.nl/algensoorten.html>,

Andersen, R.A., Anderson, O.R., Barta, J.A., Bowser, S.S., Bragerolle, G., Fensome, R.A., ... & Taylor, M.F.J.R. (2005). The New Higher Level Classification of Eukaryotes with Emphasis on the Taxonomy of Protists. *The Journal of Eukaryotic Microbiology* 52(5), 399-451.

Barton, L.L., & Kay, R.A. (1991). Microalgae as food and supplement. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 30(6), 555-573.

Becker, E.W. (2007). Micro-algae as a source of protein. *Biotechnology Advances* 25(-), 207-210.

Brandenburg, W., Reith, H., Sijtsma, L., & Steketee, J. (2006). *Platform groene grondstoffen*.

Cha, K.H., Chung, D., Jung, Y.J., Kim, S.M., Kwon, O.N., Pan, C.H., & Um, B.H. (2012). A Potential Commercial Source of Fucoxanthin Extracted from the Microalga *Phaeodactylum tricornutum*. *Applied Biochemistry and Biotechnology Part A: Enzyme Engineering and Biotechnology*, (-), -.

Chlorella. (-) Verkregen op 15 december, 2013, van <http://www.detoxandmore.nl/chlorella>

Dawczynski, C., Jahreis, G., & Schubert, R. (2007). Amino acids, fatty acids, and dietary fibre in edible seaweed products. *Food Chemistry* 103(3), 891-899.

De geneeskraft van Chlorella. (2006). Verkregen op 15 december, 2013, van <http://mens-en-gezondheid.infonu.nl/gezonde-voeding/108728-de-geneeskraft-van-chlorella.html#voedingsstoffen-chlorella>

Duggan, P., Gardiner, G.E., Hughes, H., Lawlor, P.G., McLoughlin, P., Murphy, B., & O'Sullivan, L. (2010). Prebiotics from Marine Macroalgae for Human and Animal Health Applications. *Marine drugs*, 8(7), 2038-2064.

Gommen en zetmeel als alternatief voor zetmeel. (-). Verkregen in november, 2013, van <http://www.food-info.net/nl/national/verslag-gelatine.htm>
Hosokawa, M., Kohno, M., Maeda, H., Miyashita, A., Niwano, Y., Sachindra, N. M., & Sato, E. (2007). Radical Scavenging and Singlet Oxygen Quenching activity of Marine Carotenoid Fucoxanthin and its metabolism.

Muylaert, K. (2009). Inventarisatie aquatische biomassa. Verkregen van: <http://waterenergie.stowa.nl/Upload/Rapport%20-%20Inventarisatie%20aquatische%20biomassa%20juli%202009.pdf>

Vos, P.C., & Wolf, de, H.(1988). *Geologie en diatomeeën. Grondboor en hamer*, 42(-), 57-68.



Interview Arthur Kroon (PHD'er Wageningen UR)

Anna-Jet Leyenaar

Om eens te kijken hoe algen in de praktijk worden verwerkt tot voeding, is een interview gehouden met Arthur Kroon, PhD'er die promotieonderzoek doet bij het bedrijf Algae Food en Fuel. Algae Food en Fuel is een bedrijf dat gevestigd is in Lelystad en Hallum. Met behulp van bioreactoren worden er algen geproduceerd als grondstof voor veevoer. In Hallum zijn vier bioreactoren te vinden met vijversystemen waar de algen in groeien. De algen worden er geoogst en gedroogd, waarna ze naar een fabriek worden gebracht waar veevoeder supplementen worden gemaakt.

In Lelystad is onlangs ook een project van Algae Food en Fuel gestart in samenwerking met Wageningen Universiteit en Research centre. Ook hier zijn een aantal bioreactoren aanwezig waarvan energie gebruikt wordt voor de algenkweek in kassen. In de kweekvijvers en kassen op de locaties Hallum en Lelystad worden verschillende soorten algen gekweekt.

Het gaat om een mengsel van groenalgen. Voornamelijk *Chlorella*, *Pediastrum*, *Scenedesmus*, *Ankistrodesmus*. Maar deze soorten wisselen per seizoen. De gekweekte algen zijn bestemd voor voedselmarkt en voor onderzoek. Ook worden sporadisch kleine partijen gebruikt in streekproducten (algencake, algenbrood). Een klein deel wordt verwerkt in (biologische) gewasbeschermings- en bemestingsproducten, plantenhormonen uit algen hebben namelijk een remmende

werking op schimmels. Ook verwerkt het bedrijf algen in algenlikstenen voor dieren. De algen worden vooral gedroogd op een pellet van 4 mm.

Algen uit Lelystad worden op de locatie Hallum gecontroleerd en verwerkt. Kelstein heeft een GMP+ erkenning voor productie van enkelvoudig veevoeder en gebruik van hulpstoffen (zout) en mag daardoor algen verhandelen, produceren en verwerken. Koeien, kippen, schapen en geiten consumeren momenteel de algen die in de locaties Hallum en Lelystad worden gekweekt. Het gaat dan om gedroogde algen. Algen kunnen nog niet het volledige rantsoen van vijftig kilogram voor één koe per dag vervangen. Daarvoor zijn ze te duur om zo'n volledig rantsoen per dag te vervangen. 'We kunnen doseren in krachtvoer bij een melkrobot, die geeft afhankelijk van de melkgift een rantsoen tussen de vijf en tien kilogram biologisch krachtvoer waarin in een klein percentage algen verwerkt zit.' Dhr. Kroon denkt dat algen in de nabije toekomst, tussen de vijf en tien jaar, steeds meer worden gekweekt voor de functie als veevoer. 'Grondstoffen en transport worden steeds duurder door de groei van de wereldbevolking, door een hogere brandstofprijzen en problemen met kunstmest. Algen kunnen lokaal en met minder verlies aan nutriënten worden gekweekt. We hebben de biomassa straks hard nodig om veevoeder, en olierijke grondstoffen te verkrijgen'.

De algen van de locaties Lelystad en Hallum worden nog niet geleverd aan bedrijven die er consumeerbare producten voor mensen mee maken. "Onze algen zijn veevoeder technisch veilig, maar EU-regelgeving voor toelating voor diervoeder of humaan voedsel zijn fundamenteel verschillend. Ons product is volkomen veilig maar ook nieuw en dus erg gevoelig voor negatieve berichten. We doen tests op kleine schaal, als streekproducten en op bedrijven voor promotie. Als je zelf je product niet durft te eten doe je iets fout, maar legaal op grote schaal voedingsmiddelen of grondstoffen maken met algen vereist nog veel stappen.' Dhr Kroon denkt dat in de nabije toekomst, bijvoorbeeld met vijf á tien jaar, dat de algen die door Food en Fuel geleverd worden, zullen worden geleverd aan bedrijven die er consumeerbaar voedsel voor mensen mee maken, 'Dan is de wereldmarkt en de algenindustrie weer compleet anders'.

Het kwaliteit van gekweekte algen is in Nederland al in een vergevorderd stadium, aangezien ze al consumeerbaar zijn door dieren. Maar er zullen nog meer tests moeten worden gedaan om het ook op de voedselmarkt voor mensen te krijgen. In de komende jaren zal de voedselmarkt veranderen en wellicht worden op Nederlandse bodem gekweekte algen dan voor een groter publiek geïntroduceerd.

“ ALS JE ZELF JE PRODUCT NIET DURFT TE ETEN DOE JE IETS FOUT, MAAR LEGAAL OP GROTE SCHAAL VOEDINGSMIDDELEN OF GRONDSTOFFEN MAKEN MET ALGEN VEREIST NOG VEEL STAPPEN ”

TOEKOMST

In de komende jaren zal de voedselmarkt veranderen en wellicht worden op Nederlandse bodem gekweekte algen dan voor een groter publiek geïntroduceerd.

REFERENTIES

Projecten. (2009). Verkregen in december, 2013, van <http://www.algaefoodfuel.com/nederlands/projecten/lelystad/>

Algenvisies



ANNA-JET LEYENAAR

Algen worden op dit moment veel onderzocht. Ze worden onderzocht op nieuwe kwaliteiten en voor bijvoorbeeld de productie van energie. Omdat er nog zoveel niet-ontdekte algen in de wereld zijn en er ook zoveel bruikbare kwaliteiten van algen nog niet zijn onderzocht, zie ik een grote markt voor deze organismen ook in de toekomst. Momenteel wordt die markt al vergroot door productiemethoden van biodiesel, algen in voedsel etc, maar naar mijn mening zullen algen in de toekomst steeds meer worden gezien als 'nieuwe bron van energie, voedsel of materiaal' voor verschillende toepassingen. Vooral omdat algen door grotendeels onuitputtelijke bronnen groeien vormen ze mogelijk de toekomst voor een duurzame aarde.

MICHIEL DE BODE

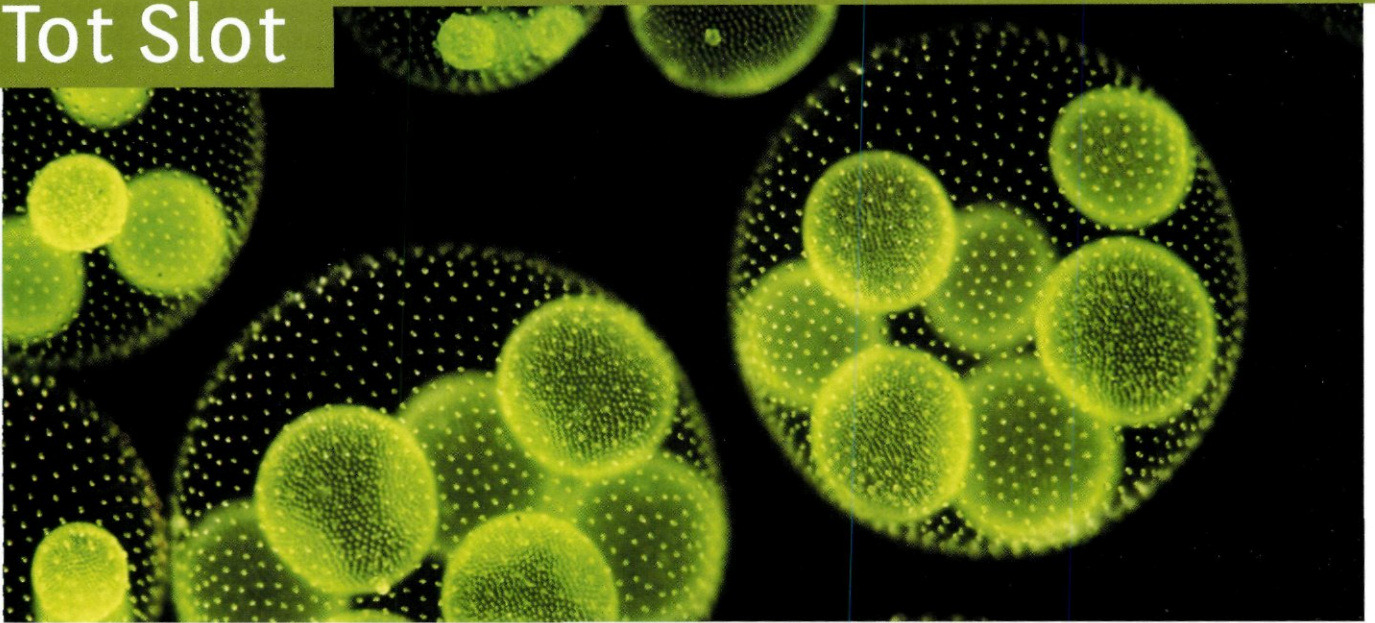
Onderzoek naar algen komt de laatste jaren op gang, vooral alternatieven voor (bijna) uitgeputte bronnen, zoals olie, ontvangen veel aandacht. Algen blijken veelzijdig te zijn en zelfs meer te kunnen dan alleen een alternatief voor olie bieden. Ik denk dat het een goede ontwikkeling is dat er steeds meer algen gebruikt worden, toch moet je aan andere opties blijven denken en niet alleen op algen focussen. Ik denk dat er nog veel opties van algen nog niet ontdekt zijn, maar we zijn hard onderweg om er veel te vinden.

INGE VERBEEK

De potentie van algen is groot maar de concurrentie is dat ook. Of algen in de toekomst daadwerkelijk in de verschillende sectoren gebruikt gaat worden zal afhangen van de innovatie in algensystemen, andere trends en maatschappelijke ontwikkelingen. Sommige toepassingen van algen hebben grotere potenties om onderdeel te worden van de dagelijkse werkelijkheid dan anderen. Algen in waterzuivering en bioplastics zal al snel werkelijkheid worden. Onderzoeken in dit soort onderwerpen doet mij geloven dat de mensheid op deze aarde nog een toekomst heeft.

LASZLO VAN DER WAL

Algen bieden een veelbelovende toekomst, dat blijkt alleen al uit de enorme hoeveelheid nieuwsberichten en media-aandacht die ze momenteel genereren. De toepassingen van algen zullen naar mijn mening echter alleen rendabel zijn wanneer we in staat zijn de verschillende toepassingen van algen en andere groene technieken sterk op elkaar af te stemmen. Het kweken van algen voor biobrandstoffen, zal een stuk haalbaarder zijn wanneer deze algen eerst watervervuiling hebben behandeld, of wanneer de resterende biomassa als meststof ingezet kan worden. Daarvoor zullen aanpassingen aan hedendaagse infrastructuur nodig zijn. De huidige trends, zoals smart-grids en lokale energienetwerken zijn daarin hoopvolle ontwikkelingen.



Voedzame en lekkere algen

Anna-Jet Leyenaar

Algen spelen een belangrijke rol in het leven. Door alle ontwikkelingen die er nu gaande zijn, als de productie van biodiesel, microbiële brandstofcellen en voeding met daarin verwerkte algen, kunnen algen een nog belangrijkere rol gaan spelen in de wereld. Vooral door de afname van fossiele brandstoffen. In de toekomst zou het mogelijk kunnen zijn dat algen een bijdrage gaan leveren in de productie van een grote hoeveelheid energie. Daarvoor zal er nog veel onderzoek moeten worden gedaan naar methodes en algen.

In dit boekje zijn een aantal belangrijke toepassingen van algen naar voren gekomen om mensen kennis te laten maken met algen en haar functie in deze wereld. Doordat er immers veel verschillende soorten algen bestaan, is het onmogelijk de specifieke kenmerken en mogelijke toepassingen van iedere algensoort toe te lichten. Ook omdat er nog veel algensoorten niet onderzocht of ontdekt zijn. Hierdoor bieden algen misschien nog mogelijkheden die een grote invloed kunnen hebben op het leven hier op aarde wat betreft voeding, medicatie en energievoorziening.

Momenteel worden de algen en hun toepassingen die in dit verslag genoemd zijn veel onderzocht en deels in de praktijk gebracht. Toch zal het nog een tijd duren voordat algen in bijvoorbeeld diervoeding veelvuldig worden gebruikt door agrariërs of voordat microbiële brandstofcellen op veel plaatsen worden toegepast. Maar potenties zijn er zeker en naarmate er meer onderzoek wordt gedaan naar algen, zullen er ook meer

REFERENTIES AFBEELDINGEN WUR DATABANK

Pagina 7, Pagina 12 foto onder, foto boven. pagina 13, pagina 20, pagina 23, pagina 25, pagina 26 foto onder.

SCHUTTERSTOCK.COM

Voorkant, pagina 18, pagina 26 foto boven, pagina 27.

WIKIPEDIA COMMONS

Pagina 6 foto boven, foto onder. pagina 8, pagina 10 foto onder, pagina 11, pagina 19, pagina 24 foto boven, foto onder.

US GOVERNMENT & NASA

Pagina 16 foto onder, pagina 17 foto rechts, pagina 21.

OVERIGE BRONNEN

*Brigham Young University, pagina 16 foto boven
Charles Lee, pagina 17 foto rechts
NIOO-KNAW, pagina 22 foto boven, foto onder.*

