

Wageningen UR Livestock Research

Partner in livestock innovations



Rapport 451

Algenkweek op stallucht

Haalbaarheidsstudie

Maart 2011



LIVESTOCK RESEARCH

WAGENINGEN UR

Colofon

Uitgever

Wageningen UR Livestock Research
Postbus 65, 8200 AB Lelystad
Telefoon 0320 - 238238
Fax 0320 - 238050
E-mail info.livestockresearch@wur.nl
Internet <http://www.livestockresearch.wur.nl>

Redactie

Communication Services

Copyright

© Wageningen UR Livestock Research, onderdeel van Stichting Dienst Landbouwkundig Onderzoek, 2011

Overname van de inhoud is toegestaan, mits met duidelijke bronvermelding.

Aansprakelijkheid

Wageningen UR Livestock Research aanvaardt geen aansprakelijkheid voor eventuele schade voortvloeiend uit het gebruik van de resultaten van dit onderzoek of de toepassing van de adviezen.

Wageningen UR Livestock Research en Central Veterinary Institute, beiden onderdeel van Stichting Dienst Landbouwkundig Onderzoek vormen samen met het Departement Dierwetenschappen van Wageningen University de Animal Sciences Group van Wageningen UR (University & Research centre).

Losse nummers zijn te verkrijgen via de website.



De certificering volgens ISO 9001 door DNV onderstreept ons kwaliteitsniveau. Op al onze onderzoeksopdrachten zijn de Algemene Voorwaarden van de Animal Sciences Group van toepassing. Deze zijn gedeponereerd bij de Arrondissementsrechtbank Zwolle.

Abstract

The feasibility was studied of producing algae on compounds in the exhaust air of pig houses. The application of ventilation air in algae growing systems will not lead to a significant decrease of production costs of algae.

Keywords

Algae, pig houses, exhaust air, air cleaning

Referaat

ISSN 1570 - 8616

Auteur(s)

F.E. de Buisonjé
A.J.A. Aarnink

Titel

Algenkweek op stallucht

Rapport 451

Samenvatting

De haalbaarheid van algenkweek op componenten in de uitgaande lucht van varkensstallen is onderzocht. Het toepassen van stallucht in kweeksystemen voor algen zal niet leiden tot een aanzienlijke verlaging van de kweekkosten van algen.

Trefwoorden

Algen, varkensstal, stallucht, luchtzuivering



LIVESTOCK RESEARCH
WAGENINGEN UR

Rapport 451

Algenkweek op stallucht

Cultivation of algae on ventilation air from animal houses

F.E. de Buisonjé

A.J.A. Aarnink

Maart 2011

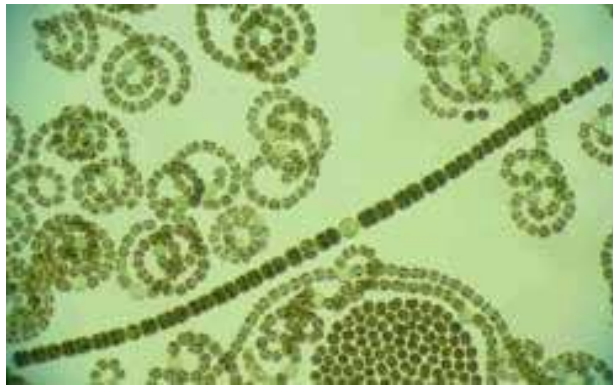
Voorwoord

Het Ministerie van EL&I (voorheen LNV) heeft kiemgeld ter beschikking gesteld om de haalbaarheid te onderzoeken van algenkweek op stallucht. Een paar ondernemers willen dit idee gaan toepassen op een varkensbedrijf. In de uitgaande lucht van een varkensstal zit veel kooldioxide en ammoniak. Dit zijn componenten die belangrijk zijn voor de groei van algen. Door gebruik van deze componenten voor algengroei zou misschien een deel van de kosten van het reinigen van de stallucht terugverdiend kunnen worden via de afzet van de algen.

In dit rapport worden de haalbaarheid en de risico's van algenkweek op stallucht beschreven. De auteurs willen de volgende mensen bedanken voor de informatie die ze hebben aangeleverd voor dit rapport: Dhr. Houtzager van Phycom bv, Dhr. Van Maris van Maris Projects bv en de heren Starmans en Melse van Wageningen UR Livestock Research. Verder willen we Dhr. Voet van het Team Innovatie van het Ministerie van EL&I bedanken voor de goede samenwerking.

We vertrouwen er op dat nuttig gebruik zal worden gemaakt van de informatie in dit rapport.

Dr. Ir. André Aarnink
Projectleider



Kolonies blauwalgen of cyanobacteriën (www.blauwalg.wur.nl)

Samenvatting

Een aantal ondernemers heeft het idee opgevat om componenten in de uitgaande lucht van varkensstallen (ammoniak en kooldioxide) te benutten voor de groei van algen. Op deze manier, is de gedachte, brengt het reinigen van de stallucht niet alleen kosten met zich mee (investering in de luchtwasapparatuur, kosten voor energie, zuur en water), maar tevens opbrengsten (verkoop van algen). De doelstelling van dit project was om te bepalen wat de haalbaarheid is van een dergelijk systeem ten aanzien van technische mogelijkheden, milieueffecten, risico's en kosten.

Om te onderzoeken of dit idee op de een of andere manier beschermd is door een octrooi, is een scan uitgevoerd in de database van Europese octrooien. Deze scan heeft één record opgeleverd: "System for purifying polluted air using algae", een Japans patent uit 1996 voor het afvangen van CO₂, SO₂ en NO_x. Dit patent is echter in 2003 ingetrokken.

Algen worden ingedeeld al naar gelang ze een organische koolstofbron nodig hebben (heterotroof) of niet (autotroof) en of ze energie uit licht halen (foto-autotroof of -heterotroof) of niet (chemo-autotroof of -heterotroof). De meeste soorten algen zijn foto-autotroof, die zon- of kunstlicht als energiebron en anorganische verbindingen, waaronder CO₂, als bouwstenen gebruiken.

Er zijn vier kweeksystemen voor algen te onderscheiden. In alle systemen kan de algencultuur zowel batchgewijs als semi-continu worden bedreven. Door veelvuldig voorkomende besmettingen en zogenaamde 'crashes' (massale algensterfte) van algenkweeksystemen is een batchgewijze productie gangbaar. De kweeksystemen zijn:

1. Open kweekvijver met gebruik van zonlicht, zogenaamde 'raceway ponds'.
2. Gesloten reactor (fotobioreactoren) met toepassing van zonlicht of kunstlicht.
3. Hybride kweekstelsel waarbij de algen in een gesloten reactor onder gecontroleerde omstandigheden worden opgekweekt tot een bepaalde dichtheid, waarna de algen verder worden gekweekt in een open kweekvijver.
4. Gesloten reactor zonder licht (heterotroof systeem). Hierin kunnen bepaalde soorten algen worden gekweekt op biomassa (koolhydraten, suikers) en zuurstof, die ze omzetten in energie, biomassa en CO₂.

De voor- en nadelen van deze systemen zijn:

- Open vijvers zijn relatief goedkoop, de productiviteit is relatief laag en de zuiverheid van het algenproduct is laag (soms worden echter met opzet meerdere algensoorten of 'blends' gekweekt).
- Fotobioreactoren op kunstlicht zijn relatief duur, de productiviteit is vrij hoog en de zuiverheid van het algenproduct is (potentieel) hoog.
- Fotobioreactoren op zonlicht zijn goedkoper dan reactoren op kunstlicht, maar de procesbeheersing is minder en daardoor is de productiviteit lager.
- Een bioreactor zonder gebruik van licht is qua kosten vergelijkbaar met een fotobioreactor, maar de procesbeheersing is (potentieel) beter en de productiviteit hoger. Een nadeel is dat er een organische of anorganische energiebron toegevoegd moet worden.

De lichtinval is bij de kweek van fotosynthetische algen al vrij snel beperkend. Een hoge dichtheid van algen in het kweekwater remt de lichtinval. Daarom is een dichtheid van enkele kilogrammen algen droge stof per kuub kweekwater het hoogst haalbare in fotobioreactoren. In een heterotroof kweekstelsel kunnen veel hogere dichtheden worden bereikt, omdat de algen geen licht nodig hebben (elkaar niet beschaduen). Het oogsten van eencellige algen is niet eenvoudig vanwege de lage concentraties in het kweekwater en geschiedt vrijwel uitsluitend met centrifuges. Voor grotere, meercellige algen kan filtratie en flocculatie of sedimentatie worden toegepast.

Probleem bij gebruik van stallucht als voedingsbron voor de algen is de grote variatie van het ventilatiedebiet van een stal: voor een stal met 3.000 varkens kan het ventilatiedebiet variëren tussen 18.000 m³/uur en 150.000 m³/uur, afhankelijk van het gewicht van de varkens, van het verschil tussen dag en nacht temperatuur en van het verschil in temperatuur tussen zomer en winter. Daarbij komt dat stallucht per m³ maximaal 5 gram kooldioxide en slechts circa 15 milligram ammoniak bevat. Het doorborrelen van horizontaal of verticaal geplaatste reactorbuizen levert hoge tegendrukken op en/of een slechte gasuitwisseling met de vloeistof. Het doorborrelen met stallucht van een ondiepe open algenvijver zal onvoldoende gasuitwisseling opleveren, zodat de in de stallucht aanwezige kooldioxide

en ammoniak voor een deel uit de algenvijver zullen emitteren. Het rechtstreeks doorborrelen van stallucht door reactorbuizen of door een algenvijver wordt daarom niet als een werkbare optie geschat. Daarom is vervolgens gekeken naar de mogelijkheid om spuiwater van waterwassers en van biologische en chemische luchtwassers in te zetten in algenkweek. Het lage stikstofgehalte van het spuiwater van een waterwasser maakt dat dit spuiwater minder geschikt is voor algenteelt. Het spuiwater van een biologische of chemische luchtwasser heeft een hoog stikstofgehalte. Voor heterotrofe systemen zou het spuiwater van een chemische wasser aantrekkelijker zijn als grondstof voor algenteelt wanneer in plaats van het goedkope zwavelzuur een organisch zuur (citroenzuur, maleïnezuur) zou worden gebruikt. Het hoge stofgehalte in spuiwater kan mogelijk een besmettingsrisico voor de algenteelt betekenen. Daarom moet het stof bij voorkeur worden geïnactiveerd. Dit brengt echter hoge kosten met zich mee.

De huidige hoge productiekosten van algen (huidige inschatting € 6,- – € 10,- per kg algen droge stof) vormen een belemmering voor een duurzame productie van relatief laagwaardige algenproducten als veevoer (opbrengst € 0,30 per kg algen droge stof) en biobrandstoffen (opbrengst € 0,15 per kg algen droge stof). Daarom moet er worden gezocht naar goedkopere productiesystemen en hoogwaardiger toepassingen van algenproducten. Zuivere algen voor specifieke toepassingen (zoals voedsel voor larven van kweekvis) kunnen mogelijk € 100,- per kg droge stof opbrengen.

De volgende risico's kunnen worden aangegeven bij het kweken van algen uit stallucht:

- Het vervangen van een luchtwasser door een algenkweekstelsel zonder voorafgaande verwijdering van stofdeeltjes uit de stallucht lijkt ongewenst vanuit het oogpunt van mogelijke microbiële besmetting van het algenproduct.
- Wanneer de stallucht eerst wordt gezuiverd door middel van een chemische of biologische luchtwasser, komt ammoniak terecht in het spuiwater dat vervolgens kan worden gebruikt voor de algenkweek. In het geval de experimenteeromgeving niet het gewenste resultaat oplevert, bestaat er geen risico op verhoogde ammoniakemissies, aangezien dit door de luchtwasser uit de stallucht wordt gehaald.
- Vooral in open algenvijvers bestaat er kans op onbedoelde lozing van kweekwater in geval van veel neerslag (overlopen) of als gevolg van een noodzakelijke lozing na afloop van een (gecrashte) algenkweek. Er is nog weinig bekend over de samenstelling van kweekwater van verschillende kweeksystemen in relatie tot de lozingseisen van de Waterschappen. Onderzoek hiernaar is daarom gewenst.
- Voor hoogwaardige toepassingen en voor toepassing in diervoeder lijkt een regelmatige controle gewenst van de zuiverheid van de biomassa (soortensamenstelling) in het kweekstelsel, zowel uit het oogpunt van productiviteit als uit het oogpunt van mogelijke gezondheidsrisico's.
- Uit algenkweeksystemen kan stikstofverlies naar de lucht optreden door middel van nitrificatie en denitrificatie. Een deel van de stikstof kan ontsnappen als onschadelijk stikstofgas (N_2), een ander deel mogelijk in de vorm van lachgas (N_2O). Lachgas is een zeer sterk broeikasgas. Onderzoek naar de mate van lachgasemissies bij algenkweek is gewenst.
- Bepaalde algen (met name cyanobacteriën) kunnen onder bepaalde omstandigheden giftige verbindingen produceren (cyanotoxinen). Om te voorkomen dat deze stoffen worden geloosd op het oppervlaktewater, wordt geadviseerd om het kweekwater, voordat het geloosd wordt, te analyseren op een aantal 'vervuilende' componenten. Een 'gecrashte' algenkweek, na massale algensterfte, kan daarnaast ook stankproblemen opleveren in open vijvers. Om dit te voorkomen is het belangrijk dat in zo'n geval het kweekwater snel wordt afgevoerd en vervangen door vers kweekwater.

Op basis van dit onderzoek kunnen we het volgende concluderen:

- Het kweken van relatief laagwaardige algenproducten als veevoer en biobrandstof is bij de huidige stand der techniek onder Nederlandse (klimaat)omstandigheden financieel niet interessant. De teelt van zuivere algen kan rendabel zijn wanneer er hoogwaardige producten worden gemaakt die aansluiten op een bestaande vraag.
- Algenteelt rechtstreeks op stallucht of indirect op stallucht via het spuiwater van luchtwassers levert naar verwachting geen significante kostenbesparing op, gezien de eisen die gesteld worden aan stallucht of spuiwater bij toepassing in bioreactoren. Het doorborrelen met stallucht van bioreactoren kost onevenredig veel energie en kan mogelijk leiden tot verhoogde stikstofemissies. Daarom wordt geadviseerd om de lucht te reinigen met een luchtwasser (biologisch, chemisch of gecombineerd) en het spuiwater te benutten voor de algenkweek. Indien de experimenteeromgeving

niet het gewenste resultaat oplevert, kan zonder risico's voor hoge ammoniak- of stankemissies uit de stal, de algenkweek worden stopgezet.

Er zijn twee belangrijke onderzoeksvragen naar voren gekomen:

- Hoe zit het met de stikstofemissies vanuit algenkweeksystemen? Welke stikstofverbindingen spelen daarbij een rol?
- Hoe zit het met het lozen van kweekwater? Welke gehalten aan componenten zitten in het water en wat zijn de eisen vanuit de waterschappen bij lozing van kweekwater op het riool of op oppervlaktewater?

Inhoudsopgave

Voorwoord

Samenvatting

1	Inleiding	1
2	Octrooien en achtergrond	2
2.1	Octrooien.....	2
2.2	Algen en bacteriën	2
3	Beschrijving open en gesloten systemen voor algenteelt	4
3.1	Voor- en nadelen van verschillende kweeksystemen voor algen	6
3.2	Algen op stallucht.....	8
3.3	Aanbevelingen	10
4	Risico's algenkweek op stallucht	11
5	Kosten en opbrengsten	13
6	Conclusies	14
	Literatuur	15
	Bijlage	16
	Nutriëntenbehoefte van algen (bron: www.algae.wur.nl).....	16

1 Inleiding

Emissies van ammoniak en geurcomponenten zijn een belangrijk probleem in de varkenshouderij. Om deze emissies te beperken worden op dit moment op vrij grote schaal chemische, biologische of gecombineerde luchtwassers ingezet. Een belangrijk probleem bij deze systemen was de afvoer, verwerking of behandeling van de grote hoeveelheid spuiwater uit het systeem. Bij chemische wassers bevat het spuiwater vooral ammoniumsulfaat, bij biologische wassers is dit vooral nitraat en nitriet. Spuiwater van biologische wassers mag aan de mest worden toegevoegd en sinds 1 januari 2011 is het spuiwater uit chemische wassers toegevoegd aan de lijst van stoffen die als meststof kunnen worden verhandeld. De investeringskosten en variabele kosten van luchtwassersystemen zijn hoog, terwijl er voor de varkenshouder geen opbrengsten tegenover staan. Daarnaast is het systeem storingsgevoelig, waardoor problemen kunnen ontstaan met de bedrijfsvoering.

Een aantal ondernemers heeft het idee opgevat om de lucht uit varkensstallen te reinigen (van ammoniak, geur en fijnstof) met behulp van een systeem dat niet alleen geld kost (investering in de luchtwasapparatuur, kosten voor energie, zuur en water), maar dat tevens geld gaat opleveren (verkoop van algen). Het systeem behelst het wassen van de stallucht met water, waarna dit waswater, met opgeloste componenten, kan worden benut voor het produceren van algen.

Om het perspectief van voornoemd systeem voor toepassing in de varkenshouderij te kunnen bepalen, zal eerst een aantal vragen moeten worden beantwoord. De belangrijkste vragen die beantwoord moeten worden zijn:

- Hoe ziet het ontwerp van luchtzuivering in combinatie met algenkweek er uit?
- Wat zijn de risico's van zo'n systeem, bijvoorbeeld ten aanzien van effecten op het milieu?
- Wat zijn de (milieu)voordelen van het systeem?
- Wat zijn de kosten van het systeem?

In hoofdstuk 2 wordt ingegaan op de huidige octrooien die mogelijk zijn toegekend voor de combinatie van luchtzuivering en algenteelt. Verder wordt in dit hoofdstuk kort ingegaan op de verschillende soorten algen en de relatie tot bacteriën. In hoofdstuk 3 worden de voor- en nadelen van verschillende kweeksystemen voor algen weergegeven en worden mogelijkheden aangegeven om algen te kweken op basis van nutriënten in de uitgaande lucht van varkensstallen. Dit hoofdstuk eindigt met aanbevelingen ten aanzien kweek van algen uit stallucht. In hoofdstuk 4 wordt ingegaan op de risico's van een algenkweekstelsel op stallucht. Hoofdstuk 5 beschrijft de kosten en opbrengsten voor algenteelt. Hoofdstuk 6 ten slotte geeft de belangrijkste conclusies weer van dit rapport.

2 Octrooien en achtergrond

2.1 Octrooien

Voordat verder gewerkt kan worden aan deze innovatie is het belangrijk om te onderzoeken of dit idee op de een of andere manier is beschermd door een octrooi. Een scan in de database van Europese octrooien leverde op dat er in 1998 een octrooi is aangevraagd voor 'System for purifying polluted air using algae', een Japans patent uit 1996 voor het afvangen van CO₂, SO₂ en NO_x. Dit octrooi is echter in 2003 ingetrokken (zie onderstaande vermelding).

14.03.2003	Despatch of communication that the application is deemed to be withdrawn, reason: renewal fee not paid in time [2003/33]
------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Er zijn geen andere Europese octrooien gevonden voor de specifieke toepassing van algenteelt op stallucht.

2.2 Algen en bacteriën

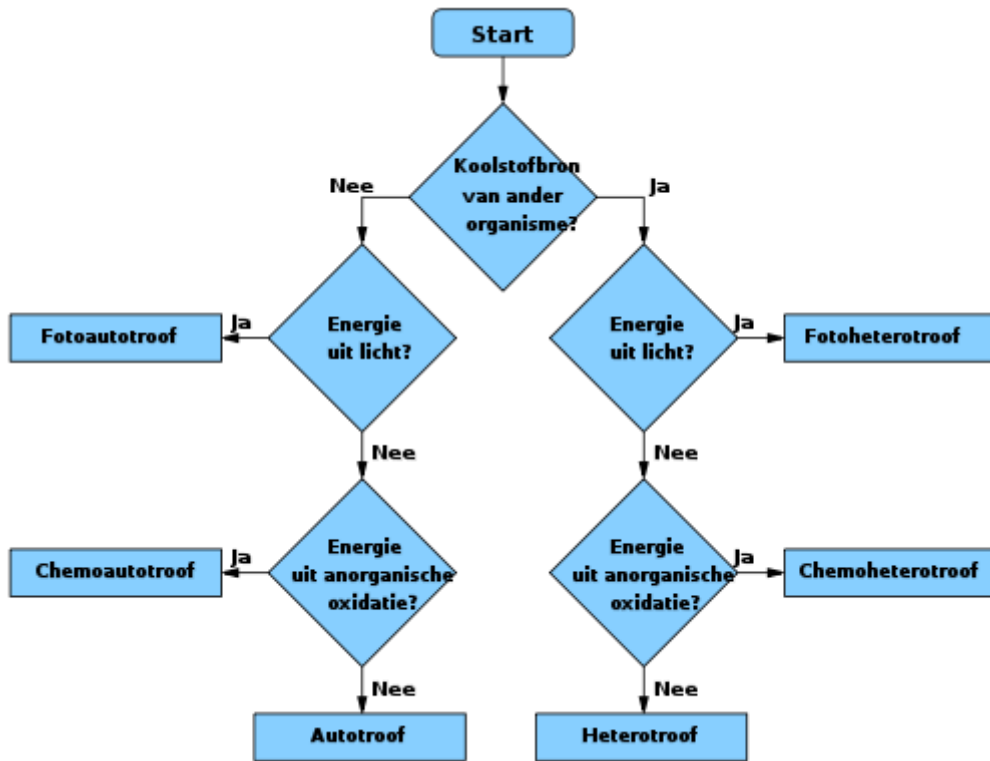
Algen en bacteriën behoren tot de oudste organismen op aarde en hebben in de loop van miljoenen jaren geleerd om zich aan de meest uiteenlopende klimatologische en atmosferische omstandigheden aan te passen. Algen kunnen zowel in zoet als in zout water leven. In natuurlijke ecosystemen leven algen en diatomeeën (één-cellige kiezelwieren) veelal in symbiose met bepaalde soorten bacteriën en andere micro-organismen. In dat geval maken ze wederzijds gebruik van elkaars stofwisselingsproducten. Daarnaast zijn algen (fytoplankton) de voornaamste voedselbron voor veel soorten zoöplankton. Algen kunnen één- of meercellig zijn. Met micro-algen worden meestal één-cellige algen bedoeld met een afmeting tussen 1 en 200 µm. De meercellige, grotere vormen worden wieren genoemd. Die lijken op planten, maar hebben geen echte wortels, stengels en bladeren.

De scheidslijn tussen eencellige algen en bacteriën lijkt soms arbitrair (zoals bij de cyanobacteriën die ook wel blauwalgen worden genoemd). De veelgekwakte *Spirulina* zijn officieel cyanobacteriën (*Arthrospira platensis* en *A. maxima*) die energie uit licht kunnen vastleggen via fotosynthese. Cyanobacteriën kunnen eencellig zijn, maar ook in draadvormige kolonies voorkomen.

Fossiele aanwijzingen laten zien dat er al zo'n 2.7 miljard jaar geleden cyanobacteriën waren. Dankzij hun fotosynthetische activiteit zorgden deze cyanobacteriën voor één van de grootste milieuveranderingen uit de geschiedenis van de aarde. De atmosfeer veranderde rond 2.2 miljard jaar geleden van een vrijwel zuurstofloze in een zuurstofrijke (www.blauwalg.wur.nl). De groene algen en hogere planten verschenen pas veel later.

De meeste soorten algen zijn foto-autotroof. In het licht kunnen ze fotosynthese toepassen en daarbij zon- of kunstlicht als energiebron en anorganische verbindingen, waaronder CO₂, als bouwstenen gebruiken. In dat geval produceren ze zuurstof. Sommige algen (en gisten) zijn heterotroof; ze kunnen hun koolstof en energie halen uit de afbraak van organisch materiaal. Veel algen zijn mixotroof; dit betekent dat ze zowel autotroof als heterotroof kunnen functioneren. Zo kunnen ze zich aan wisselende omstandigheden aanpassen. Zie figuur 1 voor een overzicht. Ook bacteriën kunnen autotroof, heterotroof of mixotroof zijn.

Algen die massaal in de natuur voorkomen en daarbij stank en schuimoverlast veroorzaken, worden plaagalgen genoemd. De term plaagalgen wordt ook gebruikt voor algen die door hun gifstoffen mosselen ongeschikt maken voor menselijke consumptie (verschillende vormen van Shellfish poisoning) of sterfte van andere bodemdieren of vissen veroorzaken. Determinatie van de vele verschillende soorten algen is niet eenvoudig; vaak is een elektronenmicroscopie noodzakelijk (www.rijkswaterstaat.nl)



Figuur 1 Stroomschema waarmee men kan bepalen of een organisme autotroof, heterotroof of een subtype is (Bron: Wikipedia)

3 Beschrijving open en gesloten systemen voor algenteelt

Er zijn vier kweeksystemen voor algen te onderscheiden. In alle systemen kan de algencultuur zowel batchgewijs als semi-continu worden bedreven. Door veelvuldig voorkomende besmettingen en 'crashes' (massale algensterfte) van algenkweeksystemen is een batchgewijze productie gangbaar.

Fotosynthetische systemen, waarbij zon- of kunstlicht wordt gebruikt als energiebron.

1. Open kweekvijvers met gebruik van zonlicht, zogenaamde 'raceway ponds' (figuur 2A). In deze ondiepe kweekvijvers wordt het water in rondgaande beweging gehouden om ervoor te zorgen dat alle algen voldoende licht en voedingsstoffen krijgen. In deze kweekvijvers is een steriele monocultuur van algen vrijwel onmogelijk. Onder invloed van het weer, flora en fauna zullen stofdeeltjes, regenwater en andere (micro-)organismen in het kweekwater terecht komen. Algen kunnen zowel vrij rondrijven in het kweekwater, of gehecht zijn aan een dragermateriaal.
2. Gesloten reactoren met toepassing van zonlicht of kunstlicht (figuren 2B en 2C). In principe kan de algenkweek in een gesloten systeem steriel worden gehouden. Technisch is dit uiterst lastig. Er moet immers continu aanvoer van CO₂ en andere voedingsstoffen en afvoer van zuurstof plaatsvinden.
3. Hybride kweekstelsel waarbij de algen in een gesloten reactor onder gecontroleerde omstandigheden worden opgekweekt tot een bepaalde dichtheid, waarna de algen verder worden gekweekt in een open kweekvijver (eventueel in een kas; figuur 2D). Dit om na het enten van de vijver een voldoende dominante kweek te krijgen, zodat parasieten en concurrenten zo min mogelijk kans krijgen.

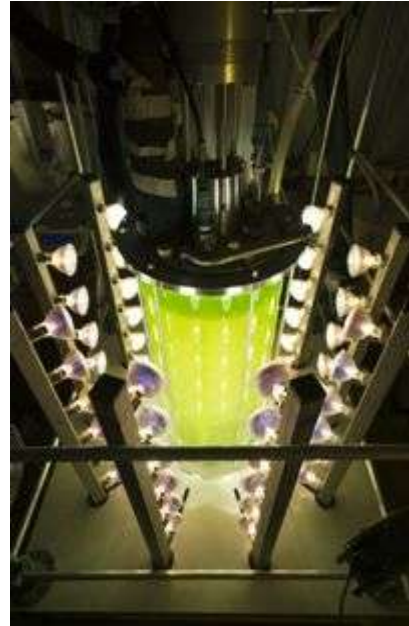
Heterotroof kweekstelsel (in het donker)

4. gesloten reactor zonder licht (figuur 3), hierin kunnen bepaalde soorten algen (en gisten) worden gekweekt op biomassa (koolhydraten, suikers) en zuurstof die ze omzetten in energie, biomassa en CO₂.

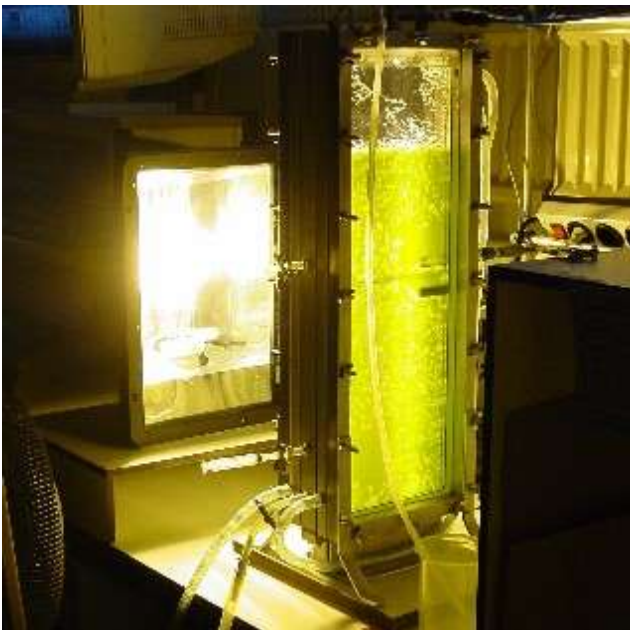
A: Open kweekvijver (raceway pond)



B: Gesloten fotobioreactor



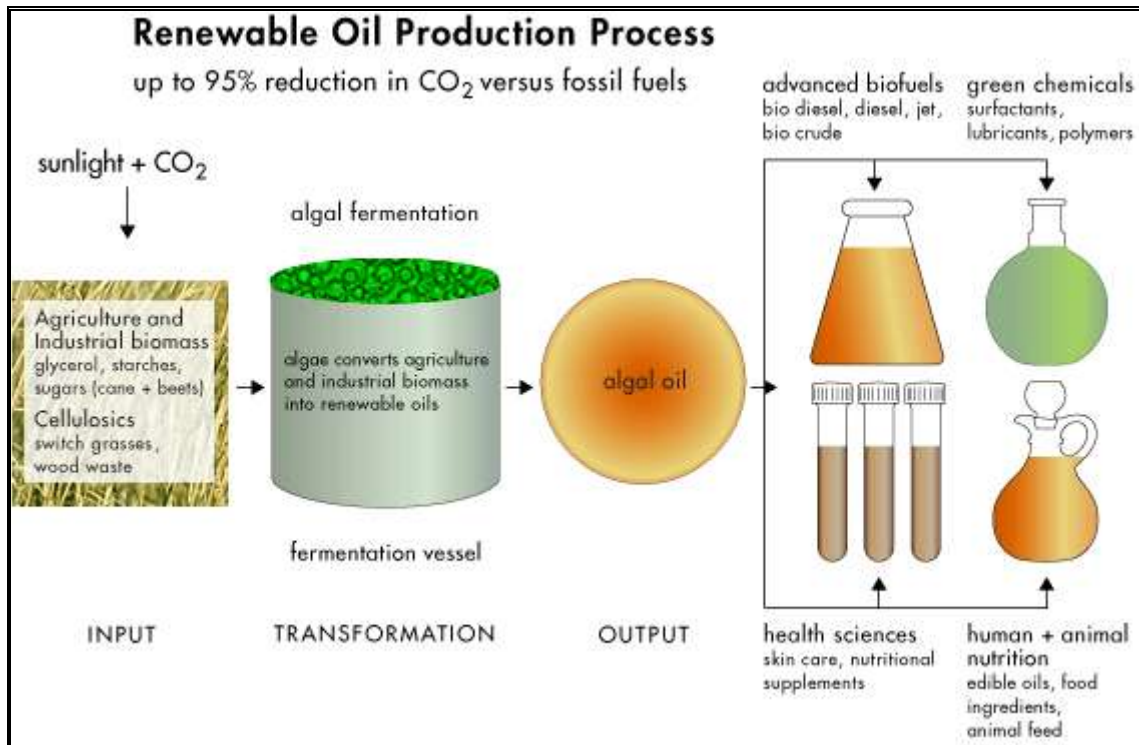
C: "Flat panel" fotobioreactor



D: Fotobioreactor in een kas



Figuur 2 Verschillende fotosynthetische systemen voor algenteelt. A: Open kweekvijver ('raceway pond') voor algenteelt op zonlicht; B: Gesloten fotobioreactor voor algenteelt op kunstlicht; C: 'Flat panel' fotobioreactor op kunstlicht; D: reactorbuizen in een kas. Bron foto's C en D: www.algae.wur.nl.



Figuur 3 Principeschets van een heterotroof kweekstelsel zonder gebruik van zon- of kunstlicht (Solazyme, US). De algen halen hun energie uit de afbraak van organisch materiaal.

3.1 Voor- en nadelen van verschillende kweeksystemen voor algen

In tabel 1 staan de voor- en nadelen van de vier verschillende systemen voor algenkweek.

Tabel 1 Kenmerken van verschillende kweeksystemen voor algen.

Kenmerk	Open vijvers (fotosynthese op zonlicht)	Fotobioreactor (fotosynthese op zonlicht)	Fotobioreactor (fotosynthese op kunstlicht)	Bioreactor (heterotrofe fermentatie)
Technische eisen	Laag	Hoog	Hoog	Hoog
Ruimtebeslag	Hoog	Medium	Medium	Laag
Energieverbruik	Laag	Medium	Hoog	Medium
BKG ¹⁾ -emissies	?	?	?	?
Procesbeheersing	Laag	Medium	Hoog	Hoog
Productiviteit	Laag	Medium	Hoog	Zeer hoog
CO ₂ -behoefte	Laag	Medium	Hoog	n.v.t.
Zuiverheid product	Laag	Hoog ²⁾	Hoog ²⁾	Hoog ²⁾
Investeringskosten	Medium	Hoog	Hoog	Hoog
Variabele kosten	Laag	Medium	Hoog	Medium

¹⁾ Broeikasgassen (CO₂, CH₄, N₂O e.d.)

²⁾ Een zuiver algenproduct kan alleen bereikt worden onder steriele kweekomstandigheden en is niet vanzelfsprekend bij toepassing van bioreactoren. Sterilisatie van algenreactoren geschiedt met stoom bij 121 °C gedurende 20 minuten.

Uit de tabel kunnen we een aantal conclusies trekken:

- Open vijvers zijn relatief goedkoop, de productiviteit is relatief laag en de zuiverheid van het algenproduct is laag (soms worden met opzet meerdere algensoorten of 'blends' gekweekt). Als gevolg van nitrificatie – denitrificatie is er een gereede kans op emissies van lachgas (Kampschreur et al., 2008; Melse en Verdoes, 2005). In bioreactoren is de lachgas productie waarschijnlijk beter onder controle te houden, echter, harde gegevens van lachgasemissies uit algenkweeksystemen ontbreken.

- Fotobioreactoren op kunstlicht zijn duur, de productiviteit is vrij hoog en de zuiverheid van het algenproduct is (potentieel) hoog.
- Fotobioreactoren op zonlicht zijn goedkoper dan reactoren op kunstlicht, maar de procesbeheersing is minder en daardoor is de productiviteit lager.
- Een bioreactor zonder gebruik van licht is qua kosten vergelijkbaar met een fotobioreactor, maar de procesbeheersing is (potentieel) beter en de productiviteit veel hoger. Een nadeel is dat een organische of anorganische energiebron toegevoegd moet worden.

Het Nederlandse klimaat (met koude winters en weinig zoninstraling) is relatief ongunstig voor de productiviteit van open kweeksystemen op zonlicht.

Wanneer de algenkweek niet steriel wordt uitgevoerd, zal een symbiose ontstaan met bepaalde soorten bacteriën of protozoën die met de algen zijn meegekomen of die in de omgeving of in de gebruikte grondstoffen voorkomen. Zo is het voorkomen van nitrificerende en denitrificerende bacteriën en algenetende (micro-)organismen in algenvijvers een bekend fenomeen.

Een 'raceway pond' lijkt veel op een oxidatiesloot (of Pasveersloot, vernoemd naar de bedenker) voor de zuivering van huishoudelijk afvalwater uit de jaren '50. Hierin zuiverde een 'blend' van micro-organismen het afvalwater tot loosbaar water. Daarbij bezonk zuiveringsslib. Oxidatiesloten (figuur 4) zijn later vervangen door compactere systemen met een hogere slibbelasting.



Figuur 4 Pasveersloot voor biologische zuivering van huishoudelijk afvalwater. Het schoepenwiel zorgt voor zuurstofinbreng en een rondgaande beweging van het afvalwater. De Pasveersloot was een voorloper van de huidige rioolwaterzuiveringen met bellenbeluchting.

De lichtinval is bij de kweek van fotosynthetische algen al vrij snel beperkend. Een hoge dichtheid van algen in het kweekwater remt de lichtinval. Daarom is een dichtheid van enkele kilogrammen algen droge stof per kuub kweekwater ongeveer het hoogst haalbare in fotobioreactoren. Volgens Muylaert en Sanders (2010) is een gangbare algendichtheid in raceway ponds op het moment van oogsten 250 gram droge stof per kuub kweekwater. In een heterotroof kweekstelsel kunnen veel hogere dichtheden worden bereikt, omdat de algen geen licht nodig hebben (elkaar niet beschaduen). Tot 120 kilogram algen droge stof per kuub kweekwater zou haalbaar zijn in een heterotroof systeem (www.algae.wur.nl). In de intensieve kweek van heterotrofe algen in de VS worden genetisch gemodificeerde algen en bacteriën ingezet voor de productie van biobrandstoffen uit biomassa.

Het oogsten van eencellige algen is niet eenvoudig vanwege de lage concentraties in het kweekwater en geschiedt vrijwel uitsluitend met centrifuges. Voor grotere, meercellige algen kan filtratie en flocculatie of sedimentatie worden toegepast. Met deze laatste technieken wordt een drogestofgehalte in de algenbiomassa van circa 3 % verkregen. Door centrifugeren kan een drogestofgehalte van 15 à 25% worden verkregen (Florentinus et al., 2008; Muylaert en Sanders, 2010). Het Belgische

algenbedrijf SBAE kweekt algen in een open systeem op een dragermateriaal om de algen makkelijker te kunnen oogsten (www.sbae-industries.com).

De productie van algen in 'flat panel' fotobioreactoren op kunstlicht (figuur 2C) kost ongeveer 2,6 keer meer energie dan de biomassa maximaal kan opleveren (op basis van verbrandingswaarde). De energiebalans is dan negatief. De energiebalans voor algen in raceway ponds is positief; de biomassa kan in principe 2,4 keer meer energie opleveren dan de energie die verbruikt wordt voor de productie van de biomassa. In vergelijking met landbouwgewassen is de energiebalans van algen in raceway ponds echter vrij laag. De meeste landbouwgewassen scoren twee tot vier keer hoger (Muylaert en Sanders, 2010).

De huidige kostprijs voor algen geproduceerd in een raceway pond worden geschat op € 6.000,- – € 11.000,- per ton droge stof. Dit kan in de toekomst zakken naar € 2.000,- – € 5.000,- per ton droge stof (Muylaert en Sanders, 2010). Voor algenteelt in fotobioreactoren wordt volgens Wijffels *et al* (2010) een huidige kostprijs van € 10.000,- per ton droge stof geschat, die in de toekomst kan zakken naar € 2.100,- – € 6.000,- per ton droge stof. Er zijn geen kostprijsgegevens gevonden voor de kweek van heterotrofe algen in gesloten (donker)reactoren.

De productiviteit van fotosynthetische algen op zonlicht is in een warm klimaat met hoge zoninstraling veel hoger dan onder Nederlandse omstandigheden. Dit leidt tot lagere productiekosten van algen in die landen (Norsker et al., 2011).

3.2 Algen op stallucht

In het kader van de kringloopgedachte en de noodzaak tot zuiveren van uitgaande stallucht van ammoniak en stank is de gedachte ontstaan om algen te kweken op de componenten in de stallucht. Dit biedt de volgende milieuvoordelen:

- Vastleggen van potentieel milieuvervuilende componenten (vooral ammoniak en kooldioxide) in biomassa (algen).
- Minder kunstmeststoffen nodig om de algen te laten groeien.
- De algen kunnen als eiwitbron worden gebruikt in veevoer (kringloopgedachte).

Een eerste gedachte was om stallucht rechtstreeks naar een algenvijver of bioreactor te leiden en de stallucht door het kweekwater te borrelen. De in stallucht aanwezige kooldioxide en ammoniak zouden dan in opgeloste vorm als voedingsstoffen dienen voor de algen. Daarmee zou worden bespaard op de aankoop van een deel van de (kunst)meststoffen.

Voor een overzicht van de voor algenkweek benodigde nutriënten, zie:

http://www.algae.wur.nl/UK/factsonalgae/growing_algae/nutrients/

Probleem bij gebruik van stallucht is de grote variatie van het ventilatiedebiet: voor een stal met 3.000 varkens kan het ventilatiedebiet variëren tussen 18.000 en 150.000 m³/uur, afhankelijk van het gewicht van de varkens, het verschil tussen dag en nacht temperatuur en van het verschil in temperatuur tussen zomer en winter. Dit probleem kan voor een deel worden opgelost door de ingaande lucht te conditioneren, waarbij de lucht in de winter wordt verwarmd en in de zomer wordt gekoeld, bijvoorbeeld via warmte en koude opslag in de bodem.

Een ander probleem is dat stallucht per m³ maximaal 5 gram kooldioxide en circa 15 milligram ammoniak bevat. Om 1 kg stikstof aan te voeren in de vorm van ammoniak is dus ruim 65.000 kuub stallucht nodig. Om een dergelijk grote hoeveelheid lucht in kleine belletjes door een voldoende hoge waterkolom te leiden, ten behoeve van een goede gasuitwisseling, kost veel energie en kan mogelijk schade toebrengen aan de algen (Miron et al., 1999). De te overwinnen tegendruk in buizen van 3 meter hoogte is circa 30.000 Pa en de opstijgende luchtbelletjes halen een snelheid van naar schatting enkele tientallen centimeters per seconde. Berekeningen laten zien dat het doorborrelen van een waterkolom met een hoeveelheid lucht ongeveer 30 keer méér energie kost dan het wassen van dezelfde hoeveelheid lucht in een chemische luchtwasser (Melse en Willers, 2004).

Het doorborrelen van horizontaal geplaatste reactorbuizen lijkt niet goed mogelijk, aangezien de luchtbellen en de door de algen geproduceerde zuurstof zich bovenin de buis verzamelen, waardoor de gasuitwisseling gering zal zijn. Daarnaast is het in stallucht aanwezige stof niet op eenvoudige wijze te verwijderen. Het afvangen van het stof door middel van een doekenfilter is kostbaar. Voor een ventilatie-debiet van 100.000 m³/uur moet gerekend worden op een benodigde investering in de orde van grootte van € 300.000,- – € 600.000,- (Starmans en De Buissonjé, 2010).

Het doorborrelen met stallucht van een ondiepe open algenvijver zal onvoldoende gasuitwisseling opleveren, zodat de in de stallucht aanwezige kooldioxide en ammoniak waarschijnlijk voor het merendeel uit de algenvijver zullen emitteren. Voor ammoniak zal dit in extra mate gelden, aangezien water in algenvijvers over het algemeen een hoge pH (van 8 à 10) heeft (Anonymous, 2010).

Door de eerdergenoemde grote variatie in ventilatie-debiet zal de aanvoer van kooldioxide en ammoniak onregelmatig zijn. Ook varieert de concentratie met het ventilatie-debiet: bij een hoog ventilatie-debiet (in geval van warm weer) is de concentratie kooldioxide in de stallucht aanzienlijk lager dan bij een laag ventilatie-debiet. Zoals hiervoor aangegeven, is dit probleem voor een deel op te lossen door de inkomende lucht te conditioneren. De in stallucht aanwezige kooldioxide is niet afkomstig van fossiele bronnen, maar uit de zogenaamde “korte kringloop” en hergebruik levert daarom geen CO₂-credits op.

In gesprekken met deskundigen is gebleken dat het doorborrelen van een bioreactor met ongezuiverde stallucht niet als werkbare optie wordt geschat. Daarom is vervolgens gekeken naar de mogelijkheid om spuiwater van waterwassers en van biologische en chemische luchtwassers in te zetten in algenkweek. In tabel 2 worden de verwachte gehalten kooldioxide, totaal-stikstof en stof in het spuiwater van verschillende typen luchtwassers weergegeven. De maximale oplosbaarheid van kooldioxide in water bedraagt ongeveer 1,6 gram per liter. Het stof bestaat voor een deel uit organisch materiaal, waaronder bacteriën, huidschilfers en mestdeeltjes, zoals afgevangen uit de gewassen stallucht.

Tabel 2 Gehalten kooldioxide, stikstof en stof in spuiwater van verschillende typen luchtwassers

Type luchtwasser	CO ₂ (gram/liter)	N-totaal (gram/liter)	Stof (gram/liter)
Waterwasser	1,6	0,1-0,2	3
Biologische wasser	1,6	3	2
Chemische wasser	<1,6	10-60	2

Bron: Melse en Starmans, 2010; pers. meded.

Het lage stikstofgehalte van het spuiwater van een waterwasser (tabel 2) maakt dat dit spuiwater minder geschikt is voor algenteelt (Houtzager, 2010; pers. meded.).

Het spuiwater van een chemische luchtwasser heeft een hoog stikstofgehalte (tabel 2) en een hoog zwavelgehalte, afkomstig van het gebruikte zwavelzuur. Dit kan problemen geven in de algenkweek. Wanneer in plaats van het goedkope zwavelzuur een organisch zuur in een chemische wasser zou worden gebruikt, zou het spuiwater aantrekkelijker zijn als grondstof voor (heterotrofe) algenteelt (Houtzager, 2010; pers. meded.). De kostenverhoging door toepassing van organische zuren (citroenzuur, maleïnezuur) ten opzichte van zwavelzuur in chemische luchtwassers bedraagt een factor 5 à 10 (Starmans en Melse, 2011). Voor autotrofe algenteelt is een combinatie met een biologische luchtwasser waarschijnlijk de beste optie. Er zijn misschien wel mogelijkheden om autotrofe algenteelt te combineren met een chemische wasser, echter, onderzoek is nodig om een geschikt zuur te vinden voor binding van de ammoniak in de stallucht zonder dat het algenkweekstelsel wordt verontreinigd met dit zuur.

Het hoge stofgehalte in spuiwater zou mogelijk een besmettingsrisico voor de algenteelt betekenen. Daarom zou het stof bij voorkeur moeten worden geïnactiveerd, bijvoorbeeld door middel van een behandeling met ozon of UV-licht (Houtzager, 2010; pers. meded.). Wellicht kan ook een hittebehandeling worden toegepast. De voornoemde behandelingen brengen relatief hoge kosten met zich mee.

We kunnen concluderen dat het kweken van algen rechtstreeks op stallucht voor de korte termijn nog weinig perspectief lijkt te bieden. Er zijn op dit moment nog veel kweektechnische en (milieu)hygiënische onzekerheden en bezwaren. Daarnaast kost het doorborrelen van een waterkolom met stallucht zeer veel energie, vergeleken met het wassen van stallucht in een luchtwasser.

Een alternatief kan zijn om het spuiwater van luchtwassers in te zetten als stikstofbron. Spuiwater draagt echter weinig bij aan de levering van kooldioxide. Wanneer een organisch zuur wordt gebruikt in de luchtwasser, kan dit dienen als energie- en koolstofbron bij de kweek van met name heterotrofe maar ook mixotrofe algen. Het spuiwater dient waarschijnlijk gesteriliseerd te worden om besmetting van de algenkweek te voorkomen.

3.3 Aanbevelingen

Aanbevolen wordt om de inzet van spuiwater van luchtwassers als stikstofbron voor algenkweek te onderzoeken. Het meest geschikt lijkt het spuiwater van biologische, chemische en combiwassers vanwege het hoge stikstofgehalte.

In spuiwater van luchtwassers komt behalve ammoniak ook (fijn)stof uit stallucht terecht. In dit stof zitten mogelijk micro-organismen die een algenkweek kunnen besmetten. Voor een niet-steriele algenteelt kan de inzet van ongezuiverd spuiwater worden overwogen, wanneer dit geen aantoonbaar negatief effect heeft op de kwaliteit van het algenproduct, of wanneer de algen voor doeleinden gekweekt worden waar de microbiologische zuiverheid niet relevant of zelfs ongewenst is (bijvoorbeeld wanneer een 'blend' van verschillende soorten algen wordt gekweekt). Voor een steriele teelt van algen op spuiwater dient dit spuiwater gepasteuriseerd of gesteriliseerd te worden om ongewenste bijvangst van andere micro-organismen te voorkomen. Hiervoor moet een geschikte techniek ontwikkeld worden en de kosten ervan moeten in beeld gebracht worden.

Voor heterotrofe systemen kan het spuiwater van chemische luchtwassers aantrekkelijk zijn wanneer het zwavelzuur wordt vervangen door organische zuren (bijv. citroenzuur, maleïnezuur). Deze organische zuren kunnen dienen als koolstofbron voor de algen in deze systemen. Onderzocht zal moeten worden of er zuren zijn die in een chemische wasser gebruikt kunnen worden voor binding van ammoniak voor toepassing in een autotroof algenkweekstelsel.

4 Risico's algenkweek op stallucht

Luchtbehandeling en emissie van ammoniak

Het vervangen van een luchtwasser door een algenkweekstelsel zonder voorafgaande verwijdering van stofdeeltjes uit de stallucht lijkt ongewenst vanuit het oogpunt van mogelijke microbiële besmetting van het algenproduct. Daarnaast levert rechtstreekse toepassing van stallucht in een algenkweek ('doorborrelen') een risico op voor emissie van stikstof uit de algenkweek. Wanneer de stallucht eerst wordt gezuiverd door middel van een chemische of biologische luchtwasser, komt ammoniak terecht in het spuiwater dat vervolgens kan worden gebruikt voor de algenkweek. Als de experimenteeruimte niet het gewenste resultaat oplevert, bestaat er geen risico op verhoogde ammoniakemissies, omdat dit door de luchtwasser uit de stallucht wordt gehaald.

Ontsnappen van algen

Wanneer 'wildvang'-algen worden gebruikt in een kweekstelsel, lijkt dit geen risico van betekenis op te leveren wanneer algen 'ontsnappen' uit het kweekstelsel naar het milieu (oppervlaktewater en grondwater). Genetisch gemodificeerde algen zijn in Nederland niet toegestaan.

Lekkage of lozing van kweekwater

Voorals in open algenvijvers bestaat er kans op onbedoelde lozing van kweekwater in geval van veel neerslag (overlopen). Bij alle kweeksystemen bestaat de kans op noodzakelijke lozingen van kweekwater na afloop van een (gecrashte) algenkweek. Er is nog weinig bekend over de samenstelling van kweekwater van verschillende kweeksystemen in relatie tot de lozingseisen van de Waterschappen. Onderzoek hiernaar is daarom gewenst.

Productzuiverheid

Wanneer we in dit verslag spreken over 'algenkweek' impliceert dit dat er bedoeld of onbedoeld ook andere micro-organismen zoals bacteriën of gisten worden meegekweekt. Voor hoogwaardige toepassingen en voor toepassing in diervoeders lijkt een regelmatige controle gewenst van de zuiverheid van de biomassa (soortensamenstelling) in het kweekstelsel, zowel uit het oogpunt van productiviteit als uit het oogpunt van mogelijke gezondheidsrisico's.

Lachgas- en ammoniakemissie

Uit algenkweeksystemen kan stikstofverlies naar de lucht optreden door middel van nitrificatie en denitrificatie. Een algenkweek is zuurstofrijk. Een deel van de stikstof kan ontsnappen als onschadelijk stikstofgas (N_2), een ander deel mogelijk in de vorm van lachgas (N_2O) (Kampschreur et al., 2008; Melse en Verdoes, 2005). Lachgas is een zeer sterk broeikasgas. De productie van lachgas uit algenkweeksystemen kan gemeten worden. Er is in Nederland nog niet, en zover bekend ook niet in het buitenland, gemeten aan emissies vanuit algenkweeksystemen. Dit is wel gewenst en hiervoor dient een meettechniek ontwikkeld te worden.

Bij algenkweek op ammoniumhoudend kweekwater kan ook stikstofemissie in de vorm van ammoniak optreden. Bij de teelt van *Spirulina* op dunne fractie varkensmest vonden Chaiklahan *et al.* (2010) ammoniumverliezen van 60 – 70 % uit open algenvijvers. Door het kweekwater licht aan te zuren, bijv. via het spuiwater van de chemische wasser, kan de ammoniakemissie belangrijk worden voorkomen.

Giftige algen en stank

Bepaalde algen (met name cyanobacteriën) kunnen onder bepaalde omstandigheden giftige verbindingen produceren (cyanotoxinen). Om te voorkomen dat deze stoffen worden geloosd op het oppervlaktewater, wordt geadviseerd om het kweekwater voordat het geloosd wordt op het oppervlaktewater te analyseren op een aantal 'vervuilende' componenten. Een 'gecrashte' algenkweek, na massale algensterfte, kan daarnaast ook stankproblemen opleveren in open vijvers. Om dit te voorkomen is het belangrijk dat in zo'n geval het kweekwater snel wordt afgevoerd en vervangen door vers kweekwater.

Financiële risico's

De huidige hoge productiekosten van algen vormen een risico voor de economisch duurzame kweek van algen voor relatief laagwaardige producten als veevoer en biobrandstof. Wanneer hoogwaardige, zuivere algenproducten geproduceerd worden die aansluiten op een bestaande markt, biedt algenteelt perspectief.

Kan algenkweek onder HACCP en NEN-ISO worden gebracht?

Wanneer algen worden gekweekt voor toepassingen als biobrandstof of als waterzuiveraar lijkt certificering niet noodzakelijk. Open teeltsystemen zijn vanwege de vele besmettingsrisico's moeilijk te certificeren. Elke batch algenproduct uit een open kweekstelsel voor toepassing in voedsel of in diervoeder zal gecontroleerd moeten worden op zuiverheid.

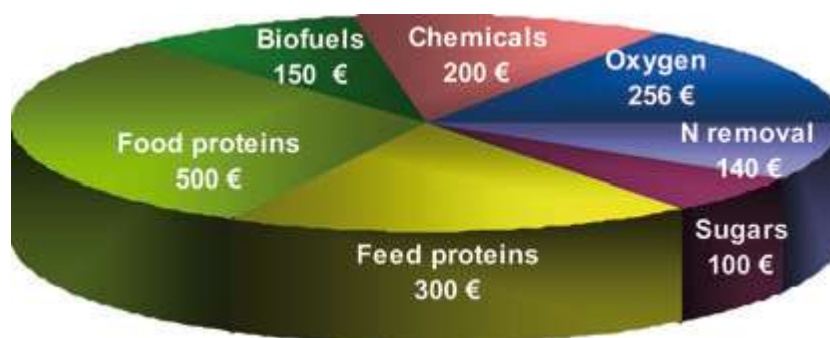
Wanneer zuivere algen onder gecontroleerde omstandigheden worden geteeld, geoogst en verwerkt, bestaat er de mogelijkheid om het productiesysteem en/of het algenproduct te certificeren ten behoeve van hoogwaardige toepassingen. Afhankelijk van de soort algen kan daarnaast een controle op de afwezigheid van toxinen in het algenproduct nodig zijn.

5 Kosten en opbrengsten

De huidige hoge productiekosten van algen (huidige schatting € 6,- – € 10,- per kg algen droge stof) vormen een belemmering voor een duurzame productie van relatief laagwaardige algenproducten als veevoer en biobrandstoffen. Aangezien de raffinage van algen nog in ontwikkeling is, zijn hoogwaardiger toepassingen waar raffinage voor nodig is, nog niet aan de orde. Onder Nederlandse klimaatomstandigheden zijn de productiekosten van fotosynthetische algen in open systemen op zonlicht hoger dan in landen met een warmer en zonniger klimaat.

Daarom moet er worden gezocht naar goedkopere productiesystemen en hoogwaardiger toepassingen van algenproducten. Zuivere algen voor specifieke toepassingen (zoals voedsel voor larven van kweekvis) kunnen mogelijk € 100,- per kg droge stof opbrengen (Muylaert en Sanders, 2010; Wijffels *et al.* 2010). Muylaert schat de huidige productiekosten voor zuivere algen op € 50,- – € 300,- per kg drogestof. Arbeid vormt daarbij een belangrijke kostencomponent. (Muylaert, 2011; pers. meded.)

In figuur 5 wordt de waarde van algenbiomassa voor verschillende andere toepassingen per ton algen droge stof na bioraffinage weergegeven. Per kilogram varieert deze waarde tussen € 0,10 voor suikers en € 0,50 voor eiwitten ten behoeve van humane voeding (Wijffels *et al.*, 2010).



Figuur 5 Waarde van algenbiomassa per ton droge stof na bioraffinage bij verschillende toepassingen
(Bron: Wijffels *et al.*, 2010)

De productiekosten voor algen zullen zeer sterk moeten worden gereduceerd (met circa een factor 10) om laagwaardige toepassingen zoals voor biobrandstof en veevoer mogelijk te maken. Om zo'n kostensprong te maken is de ontwikkeling van een nieuwe generatie kweeksystemen noodzakelijk (Wijffels *et al.*, 2010).

Muylaert en Sanders (2010) noemen een mogelijke opbrengstprijis van € 100,- per kilogram algen droge stof wanneer *zuivere* algen worden geproduceerd als voedsel voor de larven van kweekvis. Onderzocht kan worden hoe groot de markt is voor dit soort hoogwaardige toepassingen met dito opbrengstprijzen en welke algensoorten en teeltmethoden daarvoor nodig zijn.

6 Conclusies

De kweek van relatief laagwaardige algenproducten als veevoer en biobrandstof is bij de huidige productiekosten en stand der techniek financieel niet interessant. Het voor algenteelt ongunstige klimaat in Nederland (temperatuur en zoninstraling) werkt kostprijsverhogend ten opzichte van de teelt in warmere landen. Wanneer er hoogwaardige zuivere algenproducten worden gemaakt die aansluiten op een bestaande vraag, biedt algenkweek perspectief. De omvang van de potentiële marktvraag voor deze hoogwaardige algenproducten kan onderzocht worden, evenals de daarvoor benodigde algensoorten en teeltmethoden.

Algenteelt rechtstreeks op stallucht of indirect op stallucht via het spuiwater van luchtwassers levert naar verwachting geen significante kostenbesparing op, gezien de eisen die gesteld worden aan stallucht of spuiwater bij toepassing in bioreactoren. Het doorborrelen met stallucht van bioreactoren kost onevenredig veel energie en kan mogelijk leiden tot verhoogde stikstofemissies. Daarom wordt geadviseerd om de lucht te reinigen met een luchtwasser (biologisch, chemisch of gecombineerd) en het spuiwater te benutten voor de algenkweek. Indien de experimenteerruimte niet het gewenste resultaat oplevert, kan zonder risico's voor hoge ammoniak- of stankemissies uit de stal, de algenkweek worden stopgezet.

Twee belangrijke onderzoeksvragen die naar voren komen, zijn:

- Hoe zit het met de stikstofemissies vanuit algenkweeksystemen? Welke stikstofverbindingen spelen daarbij een rol?
- Hoe zit het met het lozen van kweekwater? Welke gehalten aan componenten zitten in het water en wat zijn de eisen vanuit de waterschappen ten aanzien van lozing van kweekwater op het riool of op oppervlaktewater?

Literatuur

- Anonymous. 2010. Quick scan inventarisatie achtergronden energiezuinige beluchting RWZI's. STOWA, rapport 2009-W07, Utrecht.
- Chaiklahan, R., N. Chirasuwan, W. Siangdung, K. Paithoonrangsarid, and B. Bunnag. 2010. Cultivation of *Spirulina platensis* Using Pig Wastewater in a Semi-Continuous Process. *Journal of Microbiology and Biotechnology* 20(3):609-614.
- Florentinus, A., C. Hamelinck, S. De Lint, and S. Van Iersel. 2008. Worldwide potential of aquatic biomass. Ecofys Bio Energy group, Utrecht, The Netherlands.
- Kampschreur, M. J., W. R. L. van der Star, H. A. Wielders, J. W. Mulder, M. S. M. Jetten, and M. C. M. van Loosdrecht. 2008. Dynamics of nitric oxide and nitrous oxide emission during full-scale reject water treatment. *Water Research* 42(3):812-826.
- Melse, R. W., and N. Verdoes. 2005. Evaluation of four farm-scale systems for the treatment of liquid pig manure. *Biosystems Engineering* 92(1):47-57.
- Melse, R. W., and H. C. Willers. 2004. Toepassing van luchtbehandelingstechnieken binnen de intensieve veehouderij. Fase 1: Techniek en kosten. Agrotechnology and Food Innovations, Wageningen UR. Wageningen.
- Miron, A. S., A. C. Gomez, F. G. Camacho, E. M. Grima, and Y. Chisti. 1999. Comparative evaluation of compact photobioreactors for large-scale monoculture of microalgae. *Journal of Biotechnology* 70(1-3):249-270.
- Muylaert, K., and J. Sanders. 2010. Inventarisatie Aquatische Biomassa: vergelijking tussen algen en landbouwgewassen. K.U.Leuven Campus Kortrijk.
- Norsker, N.-H., M. J. Barbosa, M. H. Vermuë, and R. H. Wijffels. 2011. Microalgal production — A close look at the economics. *Biotechnology Advances* 29:24–27.
- Starmans, D., and F. E. De Buissonjé. 2010. Maatregelen ter vermindering van fijnstofemissie uit de pluimveehouderij; inventarisatie mogelijkheden elektrostatisch filter en doekenfilter. WUR Livestock Research Rapport 356. Wageningen.
- Starmans, D. A. J., and R. W. Melse. 2011. Alternatieven voor zwavelzuur in chemische luchtwassers. Wageningen UR Livestock Research, Rapport 385.
- Wijffels, R. H., M. J. Barbosa, and M. H. M. Eppink. 2010. Microalgae for the production of bulk chemicals and biofuels. *Biofuels Bioproducts & Biorefining-Biofpr* 4(3):287-295.

Bijlage

Nutriëntenbehoefte van algen (bron: www.algae.wur.nl)

Algae need a rather limited number of *elements* for growth, that are supplied as minerals (salts), called *nutrients*. Carbon dioxide is normally *not* referred to as a nutrient.

A couple of elements – nitrogen (N) and phosphorous (P), sodium (Na), sulphur (S), potassium (K) and magnesium (Mg) are required in rather large amounts and hence are referred to as *macronutrients*. *Micronutrients* provide a number of elements that are required in very small quantities, like manganese (Mn), zinc (Zn), copper (Cu), molybdenum (Mo) and cobalt (Co). Iron (Fe), chloride (Cl), calcium (Ca) and borium (Bo) are required in intermediate quantities. *Soil extract* is sometimes included if an algae has an unknown requirement – in many cases, however, the unknown requirement is a vitamin.

Table Nutrient requirements for general microalgae. Data adapted from <http://www.ecn.nl/phyllis/>.

Element	g per g growth	Mw ¹ , g	Ratio Molar per 1 C ²
C	0.541	12	1
H	0.074	1	1.64
O	0.296	16	0.41
N	0.0822	14	0.13
S	0.005	32.1	0.0035
P	0.00182	31	0.0013
K	0.0064	39.1	0.0036
Mg	0.00139	24.3	0.0013
Ca	7.25E-07	40.1	4.01E-07
Na	0.00098	23	0.00095
Si	0.000125	28.1	9.87E-05

¹ Molar weight; ² Molar ratio, relative to carbon (C)

Diatoms furthermore need silica (Si) in large quantities for producing their cell walls.

Some microalgae have vitamin requirements – vit. B1 (Thiamin), B12 (cyanocobalamin) and vit. H (biotin) are often included in media recipes.

On top of this, the cultivation medium should have:

- a certain osmolarity, which may be regulated with salts as NaCl and MgSO₄
- a certain pH, which may be regulated with buffers or *controlled* by a pH controller.

A number of *standard media recipes* exist, such as F/2, Walne medium etc. and frequently, researchers modify them so the composition reflects the elemental composition of the cultured species. For high density cultures ($> 5 \text{ g L}^{-1}$), higher concentrations of nutrients are needed and new media have to be developed. However, it is important that all the minerals stay in solution – i.e., that no *precipitates* are formed. Otherwise, one cannot be sure that the algae have access to sufficient quantities of all the required elements!

Culture collections ([see links page](#)) provide small cultures at a certain fee (usually, € 50-100 per delivery). Usually, they also provide media recipes that have been found suitable for the species and, sometimes also ready made media.

Nutrients for heterotrophically growing algae

A number of algal species may grow in the dark on organic substances, such as glucose, acetate, glycerol or aminoacids. In addition, they require the same nutrients as the photosynthetically growing algae.



Wageningen UR Livestock Research

Edelhertweg 15, 8219 PH Lelystad T 0320 238238 F 0320 238050

E info.livestockresearch@wur.nl | www.livestockresearch.wur.nl