

UNIVERSITEIT GENT

FACULTEIT ECONOMIE EN BEDRIJFSKUNDE

ACADEMIEJAAR 2009 – 2010

De commercialisatie van omega-3 vetzuren uit algen

Masterproef voorgedragen tot het bekomen van de graad van

Master in de Economische Wetenschappen

Arne Decorte

onder leiding van

Prof. dr. Johan Albrecht

UNIVERSITEIT GENT

FACULTEIT ECONOMIE EN BEDRIJFSKUNDE

ACADEMIEJAAR 2009 – 2010

De commercialisatie van omega-3 vetzuren uit algen

Masterproef voorgedragen tot het bekomen van de graad van
Master in de Economische Wetenschappen

Arne Decorte

onder leiding van

Prof. dr. Johan Albrecht

PERMISSION

Ondergetekende verklaart dat de inhoud van deze masterproef mag geraadpleegd en/of gereproduceerd worden, mits bronvermelding.

Arne Decorte

Woord vooraf

Graag wens ik van deze gelegenheid gebruik te maken om enkele mensen oprecht te bedanken.

Ik denk daarbij aan mijn promotor Prof. dr. Johan Albrecht voor het advies tijdens het schrijven van mijn masterproef. Ook wil ik Elien Vulsteke bedanken voor de vele inhoudelijke tips die ik van haar heb gekregen en voor het opvolgen van mijn masterproef.

Een speciaal dankwoord gaat uit naar mijn ouders en stiefouders. Het is immers dankzij mijn ouders en stiefouders dat ik de kans kreeg om te studeren en dus een goede basis te leggen voor mijn toekomst. Ik ben hun dankbaar voor zowel de financiële als de morele steun.

Tenslotte wens ik mijn vriendin Marieke van harte te bedanken voor haar onvoorwaardelijke steun tijdens het schrijven van deze masterproef.

Inhoudsopgave

WOORD VOORAF	I
INHOUDSOPGAVE	II
GEBRUIKTE AFKORTINGEN.....	IV
LIJST VAN FIGUREN.....	VI
LIJST VAN TABELLEN	VII
INLEIDING	1
1. Situering	2
1.1. Definitie van omega-3 vetzuren.....	2
1.2. Gezondheidsvoordelen	3
1.3. Dagelijks vereiste inname	6
2. Bronnen van omega-3 vetzuren	9
2.1. Vis en visolie	9
2.1.1. De markt van visolie.....	10
2.1.1.1. Aanbod.....	10
2.1.1.2. Vraag.....	11
2.1.1.3. Prijs.....	13
2.1.2. Visolie op de markt van omega-3 vetzuren.....	14
2.1.3. Controverse rond de productie van visolie.....	16
2.2. Planten en Genetic Modified Organisms	18
2.2.1. Planten.....	18
2.2.2. Genetic Modified Organisms.....	18
2.2.2.1. Markt.....	19
2.2.2.2. Voordelen.....	20
2.2.2.3. Nadelen.....	21
2.3. Algen.....	223
2.3.1. Duiding.....	23
2.3.2. De extractie van omega-3 vetzuren uit algen.....	25

2.3.2.1. De productie van algen.....	25
Open system.....	26
Gesloten systemen.....	27
2.3.2.2. De recuperatie van biomassa.....	29
2.3.2.3. De extractie en zuivering.....	29
2.3.2.4. Toepassing: de productie van EPA.....	29
3. De commercialisatie van omega-3 vetzuren uit algen.....	31
3.1. Huidige markt.....	31
3.1.1 Marktgegevens.....	31
3.1.2. Martek.....	32
3.1.2.1. <i>life'sDHA™</i>	33
3.1.2.2. DHAGold®.....	35
3.1.3. Lonza.....	35
3.2. De productiekost van omega-3 uit algen.....	38
3.3. Ontwikkelingen in de algenindustrie.....	40
3.4. Uitdagingen.....	43
3.4.1. Patenten.....	43
3.4.2. Regelgeving van gezondheidsclaims.....	46
3.4.2.1. Japan.....	47
3.4.2.2. De Europese Unie.....	48
3.4.2.3. De Verenigde Staten.....	49
3.4.2.4. Besluit met betrekking tot gezondheidsclaims.....	49
3.4.3. De marketing van omega-3 producten.....	51
ALGEMEEN BESLUIT.....	52
LIJST VAN GERAADPLEEGDE WERKEN.....	VII
BIJLAGEN	

Gebruikte afkortingen

AFC	Algal Fuels Consortium
AHA	American Heart Association
AIPLA	American Intellectual Property Law Association
ALA	Alpha-Linolenic Acid
ARA	Arachidonic Acid
CCS	Carbon Capture & Sequestration
CDC	Center for Disease Control
CHF	Confoederatio Helvetica Franc (Zwitserse frank)
CL	Clear Liquid
CSIRO	Commonwealth Scientific Industrial Research Organization
DHA	Docosahexaenoic Acid
EFSA	European Food Safety Authority
EPA	Eicosapentaenoic Acid
EU	European Union
FAO	Food and Agriculture Organisation
FDA	Food and Drug Administration
FDAMA	Food and Drug Administration Modernization and Accountability Act
FNO	Functional Nutrition Oil
FOSHU	Foods for Specified Health Use
GISSI	Gruppo Italiano per lo Studio della Sopravvivenza nell'Infarto miocardico
GMO	Genetically Modified Organism
GOED	Global Organisation for EPA & DHA Omega-3
GRAS	Generally Recognized As Safe
HDL	High Density Lipoprotein
IFFO	International Fishmeal and Fish oil Organisation
IUFoST	International Union of Food Science & Technology
LDL	Low Density Lipoprotein
LLC	Limited Liability Company
NAS	National Academy of Sciences
NIS	National Institute of Health

NLEA	Nutrition Labeling and Education Act
PCB	Polychloorbifenyyl
PUFA	Poly-Unsaturated Fatty Acid
SARDI	South Australian Research & Development Institute
USPTO	United States Patent and Trademark Office

Lijst van figuren

Figuur 1: Schematische voorstelling van de voornaamste omega-3 vetzuren	2
Figuur 2: Inname van EPA+DHA en risico op hartfalen	4
Figuur 3: Globale productie van visolie (in duizend ton)	11
Figuur 4: Bestemming van de geproduceerde visolie voor de jaren 1970, 1990 en 2010	12
Figuur 5: Prijsolutie van visolie en sojaboonolie in Nederland	13
Figuur 6: Perceptie van de veiligheid van GM voedsel in de VSA	22
Figuur 7: Globale productie van de microalg <i>Spirulina</i> tussen 1970 en 1998	24
Figuur 8: Raceway pond	27
Figuur 9: Flat panel bioreactoren.....	28
Figuur 10: Buisvormige fotobioreactoren.....	28
Figuur 11: Schematische voorstelling van de productie van EPA uit algen	30
Figuur 12: Verkoopcijfer (in miljoen USD) van Martek voor de periode 2005-2009	33
Figuur 13: Uitgaven aan R&D (in miljoen USD) van Martek voor de periode 2005-2009 ...	33
Figuur 14: Verkoopcijfer (in miljoen CHF) van Lonza voor de periode 2005-2009	36
Figuur 15: Percentage van de productiekosten van EPA uit algen in vergelijking met de totale productiekosten. Verdeeld volgens de verschillende stappen in productieproces.....	39
Figuur 16: Overzicht van de toepassingen van algen, volgens OriginOil.....	42

Lijst van tabellen

Tabel 1: Aanbevolen dagelijkse inname van EPA + DHA voor volwassenen in verschillende landen.	7
Tabel 2: Geschatte inname van EPA + DHA in verschillende landen.	7
Tabel 3: De concentratie van EPA en DHA in verschillende soorten vis	10
Tabel 4: Voorbeelden van voedingsproducten die met visolie zijn verrijkt.....	15
Tabel 5: Productiecijfers voor verschillende algensoorten.	24
Tabel 6: Overzicht van de belangrijkste open systemen.	26
Tabel 7: Aantal producten waarin <i>life'sDHA</i> TM wordt verwerkt & aantal bedrijven die <i>life'sDHA</i> in hun producten verwerken.	34
Tabel 8: Overzicht van de aanvraag bij de FDA voor het maken van een health claim	50

Inleiding

De markt van functionele voeding kende sinds midden jaren '90 een expansie. Functionele voeding is gemodificeerde voeding dat een gezondheidsvoordeel biedt ten opzichte van de traditionele voeding. Er wordt dus aan de traditionele voeding een ingrediënt toegevoegd die gezondheidsvoordelen met zich meebrengt.

Een van deze ingrediënten is dan ook de groep van omega-3 vetzuren. Verschillende studies hebben aangetoond dat omega-3 vetzuren een positieve invloed hebben op de gezondheid. Diverse bedrijven spelen hier dan ook op in en gaan op zoek naar bronnen van omega-3. De tot op heden meest gebruikte bron van omega-3 is visolie. Toch komt deze olie de in een slecht daglicht te staan wegens de mogelijke schadelijke stoffen die deze olie kan bevatten en wegens het probleem van overbevissing.

Het gevolg is dat men alternatieve bronnen van omega-3 vetzuren gaat opzoeken. Een geschikt alternatief zijn algen. Algen zijn tenslotte de primaire producent van omega-3. Volgens verschillende bronnen heeft deze algenindustrie een goed toekomstperspectief. Deze masterproef bespreekt dan ook de commercialisatie van omega-3 vetzuren uit algen.

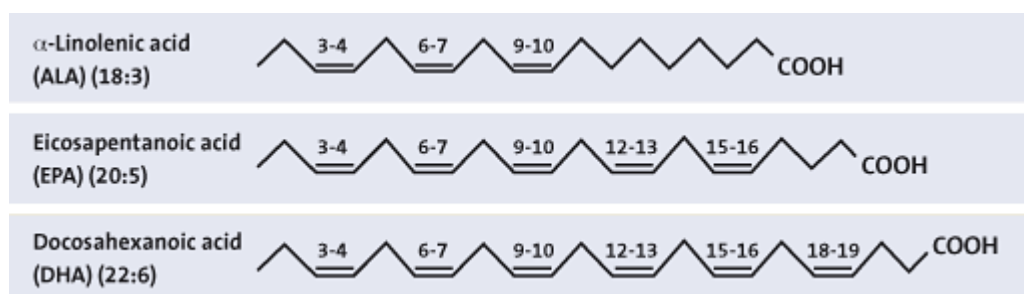
In Hoofdstuk 1 wordt uitleg gegeven over de omega-3 vetzuren en de gezondheidsvoordelen die deze stoffen met zich meebrengen. Hoofdstuk 2 geeft een overzicht van de verschillende bronnen van omega-3, namelijk visolie, planten en algen. De voor –en nadelen van deze drie bronnen van omega-3 worden besproken en er wordt een overzicht gegeven van de markt van visolie en planten. De markt van algen komt in Hoofdstuk 3 aan bod. Er wordt daarbij een overzicht gegeven van de bedrijven die omega-3 uit algen produceren. De productiekosten van omega-3 uit algen worden overlopen. Daarnaast is er nog een algemeen overzicht van de ontwikkelingen in de algenindustrie gegeven. Tenslotte wordt er gekeken naar de uitdagingen waarmee de producenten van omega-3 uit algen worden geconfronteerd, bijvoorbeeld de patenten, de regelgeving van de gezondheidsclaims en de marketing van omega-3 producten.

1. Situering

Alvorens over te gaan tot de kern van deze masterproef, wordt er eerst een korte uiteenzetting gedaan over de omega-3 vetzuren. Aangezien hoofdzakelijk de economische kant van de zaak wordt belicht, zal er eerder een beperkte chemische en biomedische uitleg worden gegeven. Deze is echter noodzakelijk om een juist beeld te scheppen van wat omega-3 vetzuren precies zijn. Dit hoofdstuk wordt als volgt ingedeeld: ten eerste wordt er een duidelijke definitie gegeven van omega-3 vetzuren. Ten tweede worden de voordelen van deze vetzuren opgesomd. Als gevolg van de hieronder besproken voordelen die omega-3 vetzuren met zich meebrengen, wordt er veel belang gehecht aan de dagelijkse inname van deze vetzuren. Deze dagelijks vereiste inname wordt in een laatste deel behandeld.

1.1. Definitie van omega-3 vetzuren

De omega-3 vetzuren danken hun naam aan de positie van de eerste dubbele binding tussen de koolstofatomen. Deze eerste dubbele binding bevindt zich namelijk bij de derde koolstofbinding vanaf de methylkant (CH₃) van de ketting gezien (vandaar dus n-3 of ω-3 vetzuren) (Holub, 2002). Omega-3 vetzuren zijn een onderdeel van de meervoudige onverzadigde vetzuren¹. De voornaamste ω-3 vetzuren zijn alpha-linolenic acid (ALA), eicosapentaenoic acid (EPA) en docosahexaenoic acid (DHA) (Fedacko et al, 2007). De schematische voorstelling van deze vetzuren is te zien in Figuur 1. ALA kan niet worden gesynthetiseerd door het menselijk lichaam, waardoor men deze dient in te nemen via de voeding. Theoretisch gezien kunnen EPA en DHA worden aangemaakt met behulp van ALA



Figuur 1: Schematische voorstelling van de voornaamste omega-3 vetzuren (MVO, 2010).

¹ In het Engels PUFA: Polyunsaturated Fatty Acids.

(deze kan dus een ‘parent’ ω -3 vetzuur worden genoemd (Shahidi, 2005)) maar wegens de inefficiënte conversie van ALA tot EPA en DHA, is het noodzakelijk om ook EPA en DHA via de voeding in te nemen (Ruxton et al., 2007).

1.2. Gezondheidsvoordelen

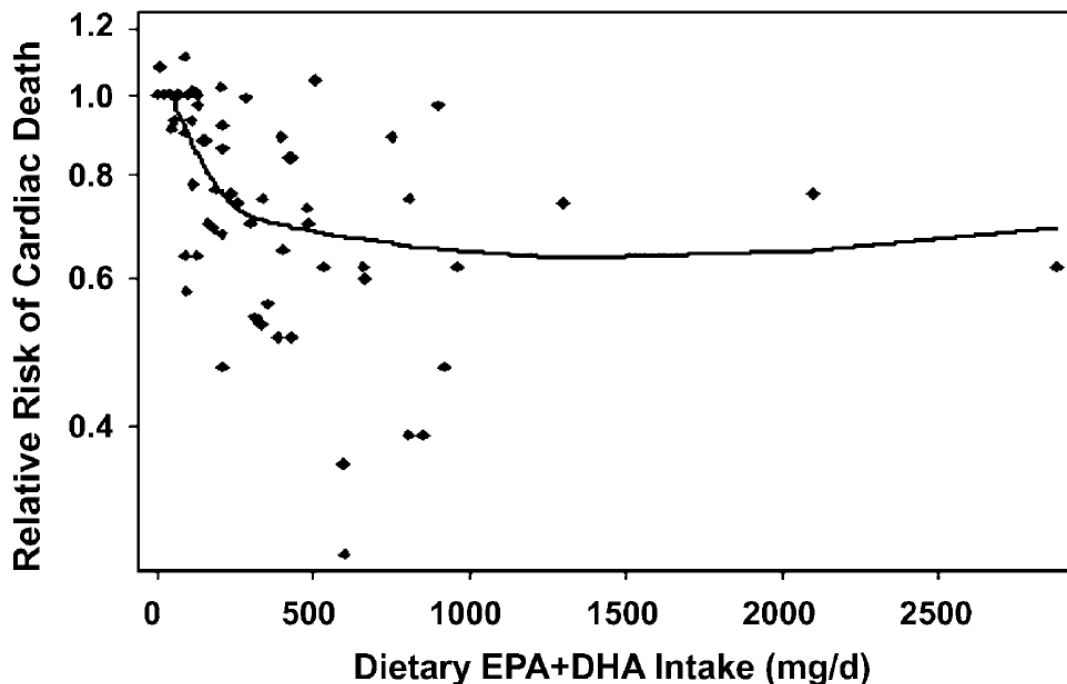
Sinds de publicatie van een studie van Bang, Dyerberg & Nielsen (1971) is het onderzoek naar de positieve effecten van omega-3 vetzuren voor het menselijk lichaam in een stroomversnelling geraakt. Immers, zij ontdekten een verband tussen het lage cijfer van coronaire hartziekten bij de Inuit en de eetgewoonten van deze bevolkingsgroep (Hooper et al, 2006; Siddiqui, Harvey & Zaloga, 2008; Kolanowski & Laufenberg, 2006). Bij verder onderzoek naar de eetgewoonten van de Inuit constateerden Bang & Dyerberg een hoge consumptie van vis en andere zeedieren die hoge concentraties ω -3 vetzuren (voornamelijk EPA en DHA) bevatten. Sindsdien zijn er steeds meer studies gepubliceerd die de invloed van ω -3 vetzuren op de menselijke gezondheid onderzoeken. Hieronder wordt een opsomming gemaakt van de gezondheidsvoordelen die omega-3 vetzuren met zich meebrengen.

Ten eerste tonen studies aan dat de consumptie van omega-3 vetzuren, EPA en DHA in het bijzonder, het risico op cardiovasculaire ziekten doet dalen (Kolanowski & Laufenberg, 2006). De American Heart Association² (AHA) stelt dat willekeurig gecontroleerde proeven hebben aangetoond dat dankzij de inname van omega-3 supplementen de kans op cardiovasculaire ziekten daalt (Brownawell et al., 2009). De *GISSI-Prevenzione Investigators*³ publiceerden in 1999 de resultaten van een onderzoek waarin men 3,5 jaar lang supplementen gaf aan 11324 patiënten die recent een hartinfarct hebben gehad (GISSI-Prevenzione Investigators, 1999). Een eerste groep kreeg omega-3 supplementen, een tweede Vitamine E, een derde groep kreeg beide en een vierde groep kreeg geen supplementen. Het voornaamste resultaat was een daling van de cardiovasculaire sterfgevallen met 30% en een reductie van het aantal sterfgevallen veroorzaakt door een hartinfarct met ongeveer 45% (Holub, 2009). Figuur 2 toont de relatie tussen de inname van EPA+DHA via de voeding en het relatieve risico op een cardiale dood (Harris et al., 2009). Het betreft hier een meta-analyse van een populatie die geen gekende hartziekten heeft. Uit deze

² De AHA is een national gezondheidsagentschap.

³ GISSI: Gruppo Italiano per lo Studio della Sopravvivenza nell'Infarto miocardico.

figuur kan worden afgeleid dat een inname van ongeveer 250 mg EPA+DHA per dag leidt tot een daling van het risico op hartfalen.



Figuur 2: Inname van EPA+DHA en risico op hartfalen (Harris et al., 2009).

Men kan zich nu de vraag stellen waarom er een negatieve relatie is tussen de inname van omega-3 vetzuren en het risico op cardiovasculaire ziekten. Fedacko et al. (2007) geven een opsomming van de oorzaken. Ten eerste wegens het positief effect op de hartslagvariabiliteit. Ten tweede wegens de anti-thrombotische eigenschap⁴ van omega-3 vetzuren. Ten derde heeft men aangetoond dat de inname van omega-3 leidt tot een significante verhoging van het HDL-cholesterol⁵ niveau. Ook deze verhoging heeft een positieve invloed op het lichaam, immers: *“Naast het belang van het LDL-cholesterol is uit verschillende observationele onderzoeken naar voren gekomen dat een laag HDL-cholesterol gepaard gaat met een hoger risico op hart- en vaatziekten.”* (Van der Wall, Van de Werf & Zijlstra, 2008, p. 10).

Ten tweede heeft men vastgesteld dat de inname van ω -3 vetzuren cruciaal is tijdens de zwangerschap, tijdens het geven van borstvoeding en gedurende de eerste kinderjaren (Brownawell et al., 2009). Er wordt immers een grote hoeveelheid meervoudige onverzadigde vetzuren in de hersenen en het netvlies opgeslagen. Een tekort aan omega-3 vetzuren, tijdens de

⁴ Dit betekent dat de omega-3 vetzuren de vorming van bloedklonters tegengaan, waardoor de kans op een trombose wordt verkleind.

⁵ HDL-cholesterol: High Density Lipoprotein-cholesterol.

zwangerschap of de eerste kinderjaren, kan dus tot gevolg hebben dat de hersenen of het zicht onvoldoende ontwikkeld worden (Harris et al., 2009, p. 807). Een toegenomen inname van omega-3 vetzuren via de voeding van de moeder heeft dus positieve gevolgen voor de ontwikkeling van de foetus (Ruxton et al., 2007). Naast het bewezen feit dat ω -3 vetzuren bijdragen tot de cognitieve ontwikkeling, heeft men ook reeds vastgesteld dat er een verband is tussen het niveau van omega-3 vetzuren in het lichaam – vooral DHA – en de cognitieve verslechtering, alsook de ziekte van Alzheimer. Een tekort aan DHA kan immers leiden tot een toename van het afsterven van neuronale cellen (Alternative Medicine Review, 2009). Alhoewel men deze relatie reeds heeft kunnen vaststellen, zijn er voorlopig te weinig studies die dieper ingaan op dit onderwerp. Maar de effecten van omega-3 op het risico op dementie is echter veelbelovend (Harris et al., 2009).

Een derde gezondheidsvoordeel is het feit dat omega-3 vetzuren kunnen worden gebruikt voor de afwending of behandeling van bepaalde types van kanker (Kolanowski & Laufenberg, 2006). Volgens de review van Berquin, Edwards & Chen tonen de experimenten op dieren aan dat omega-3 vetzuren een duidelijk beschermende werking hebben tegen darm-, prostaat- en borstkanker. Maar bij het bekijken van de studies met betrekking tot mensen, is het nog onduidelijk of de ω -3 vetzuren een beschermend effect hebben⁶ (Berquin, Edwards & Chen, 2008). Ook Harris et al. besluiten dat er geen heldere relatie bestaat tussen de inname van EPA en DHA en het risico op kanker (Harris et al., 2009).

De bovenstaande drie effecten zijn de voornaamste voordelen van omega-3 vetzuren. In de literatuur worden nog andere voordelen aangehaald (cfr. Harris et al., 2009; Simopoulos, 1999; Hooper et al., 2006; Tapiero et al., 2002; Holub, 2009; Brownawell et al., 2009; Moghadasian, 2008) maar hierop zal niet verder worden ingegaan.

⁶ Een mogelijke reden hiervoor die Berquin et al. aanhalen is het feit dat proeven met dieren beter kunnen worden gecontroleerd, terwijl de menselijke proeven veel meer afhangen van bijvoorbeeld de afkomst van de omega-3 vetzuren (soort voeding die men inneemt), de omgeving en de genetische achtergrond (Berquin, Edwards & Chen, 2008).

1.3. Dagelijks vereiste inname

Naast de onderzoeken naar de werking ervan, besteedt men ook veel aandacht aan de dagelijks vereiste inname van de omega-3 vetzuren. Over het algemeen wordt er namelijk te weinig EPA en DHA geconsumeerd. Dit wordt duidelijk indien we de aanbevolen inname van EPA en DHA vergelijken met de feitelijke inname.

In de literatuur is er een hele resem aanbevelingen met betrekking tot de inname van omega-3 vetzuren te vinden. De vereiste innamen verschillen van land tot land en zijn ook afhankelijk van de doelstelling die men tracht te bereiken (vb. het beperken van het risico op een cardiovasculaire ziekte) (Smit et al., 2009). Tabel 1 geeft de verschillende aanbevolen dagelijks innamen van EPA+DHA weer voor volwassenen. Het is opvallend dat er geen eenduidig advies bestaat. De oorzaak hiervan is dat de verschillende instituties onafhankelijk van elkaar advies geven. De minimum aanbevolen inname van EPA en DHA bedraagt 200 mg/dag, terwijl de maximum aanbevolen inname 680 mg/dag bedraagt. Indien we deze aanbevelingen vergelijken met de feitelijke inname, dan komen we tot de vaststelling dat er een verschil is tussen beiden. Tabel 2 geeft de verschillende resultaten weer van studies die de feitelijke dagelijkse inname berekenen. Een opvallend feit is dat Japan een zeer hoge inname van EPA & DHA kent (950 mg/dag). Dit is te wijten aan het voedingspatroon van de Japanners dat voornamelijk bestaat uit vis, een voorname bron van omega-3 vetzuren (Kris-Etherton et al., 2000). Daar waar Japan meer dan voldoet aan de vereiste dagelijkse innames, is het zo dat de westerse landen een tekort vertonen. In de Verenigde Staten bijvoorbeeld, bedraagt de huidige gemiddelde inname van EPA+DHA slechts minder dan 200 mg/dag (Kris-Etherton et al., 2000). Kolanowski & Laufenberg stellen vast dat in het Westerse voedingspatroon slechts 0,15 gram EPA & DHA per dag wordt opgenomen (Kolanowski & Laufenberg, 2006). Er kan dus worden besloten dat er een kloof is tussen de aanbevolen dagelijkse inname en de feitelijke dagelijkse inname. Een toename van de consumptie van omega-3 vetzuren is dan ook de enige oplossing.

Tabel 1: Aanbevolen dagelijkse inname van EPA + DHA voor volwassenen in verschillende landen (Givens & Gibbs, 2008; Kolanowski & Laufenberg, 2005).

Land	Aanbevolen inname van EPA+DHA (mg/d)	Instituten	Bron
Verenigd Koninkrijk	200	Department of Health	Givens & Gibbs, 2008
Verschillende landen	500	World Health Organization/Food and Agriculture Organization	Givens & Gibbs, 2008
Verenigd Koninkrijk	450	Scientific Advisory Committee on Nutrition/Committee on Toxicity	Givens & Gibbs, 2008
Verschillende landen	500	International Society for the Study of Fatty Acids and Lipids	Givens & Gibbs, 2008
VSA	270	Institute of Medicine	Givens & Gibbs, 2008
België	680	Belgian Health Council	Givens & Gibbs, 2008
Nederland	200	Health Council	Kolanowski & Laufenberg, 2005
Europa	200	European Academy of Nutritional Sciences	Kolanowski & Laufenberg, 2005

Tabel 2: Geschatte inname van EPA + DHA in verschillende landen (Givens & Gibbs, 2008).

Land	Specificatie	Inname van EPA+DHA (mg/d)
Verenigd Koninkrijk	Volwassenen, 19-64 jaar, gemiddelde	244
Verenigd Koninkrijk	Vrouwen, 19-24 jaar, gemiddelde	109
België	Vrouwen, 18-39 jaar, gemiddelde	209
België	Vrouwen, 18-39 jaar, mediaan	50
België	Kinderen, 4-6,5 jaar, gemiddelde	75
Frankrijk	Vrouwen, 45-63 jaar	344
Australië	Volwassenen	143
Noord-Amerika	Volwassenen	200
Midden-Europa	Volwassenen	250
Noord-Europa	Volwassenen	590
Japan	Volwassenen	950

In de literatuur wordt ook veel belang gehecht aan de verhouding van omega-6 vetzuren ten opzichte van omega-3 vetzuren, namelijk de omega-6/omega-3 ratio: *“The scientific evidence is strong for decreasing the omega-6 intake and increasing the omega-3 intake to improve health*

throughout the life cycle” (Simopoulos, 2002, p. 374). De reden hiervoor is dat een toename van omega-6 vetzuren in het lichaam tot een minder efficiënte omzetting van ALA in EPA en DHA zou leiden, wegens competitie voor dezelfde omzettingenzymen (Kris-Etherton et al., 2000).

Een lagere ratio leidt dus tot een toename van de conversie van ALA tot EPA en DHA (Givens & Gibbs, 2008). Volgens Simopoulos (2002) bedraagt de omega-6/omega-3 ratio in de westerse landen tussen 15/1 en 16,7/1. Deze ligt zeer hoog indien ze wordt vergeleken met de aanbevolen ratio. Sommigen beweren dat de ratio 4/1 dient te bedragen (Kolanowski & Laufenberg, 2006). Anderen zetten de ratio op 2,3/1 (Kris-Etherton et al., 2000). Maar er zijn ook tegenstanders die het gebruik van de omega-6/omega-3 ratio afraden. Volgens hen doet deze ratio de aandacht verschuiven, weg van het belangrijkste probleem: de omega-3 consumptie dient toe te nemen (Givens & Gibbs, 2008). Volgens Smit et al. is het gebruik van zo'n ratio onnodig: *“Based on both evidence and conceptual limitations, there is no compelling scientific rationale for the continued recommendation of a specific ratio of n-6 to n-3 fatty acids.”* (Smit, Mozaffarian & Willet, 2009, p. 46). In de literatuur is er dus nog geen duidelijkheid omtrent het gebruik van deze ratio.

Dit neemt niet weg dat er een tweevoudig besluit kan worden genomen met betrekking tot de omega-3 vetzuren. Ten eerste brengen de omega-3 vetzuren gezondheidsvoordelen met zich mee. Ten tweede ligt de gemiddelde consumptie van de omega-3 vetzuren in de westerse landen te laag en dient er dus te worden overgegaan tot een toename van de inname van deze vetzuren.

2. Bronnen van omega-3 vetzuren

In het vorige hoofdstuk werd reeds aangegeven dat er in het westerse dieet een tekort is aan omega-3 vetzuren. Een toename van de consumptie van omega-3 vetzuren is dus de enige oplossing indien men de aanbevolen inname wil bereiken. Het is dus interessant om de verschillende bronnen van omega-3 vetzuren te bespreken. De belangrijkste bronnen van omega-3 zijn de organismen in de zee die zich rechtstreeks of onrechtstreeks voeden met fytoplankton⁷, namelijk vissen en algen (Rubio-Rodriguez et al., 2010). EPA en DHA kan immers enkel worden opgenomen via vis en andere voedingsproducten uit de zee (Moghadasian, 2008). Daarom zijn vis en algen de 2 voornaamste bronnen die hier worden besproken. Naast vis en algen bevatten ook planten bepaalde omega-3 vetzuren. Alhoewel planten van nature uit een lagere concentratie omega-3 vetzuren bevatten dan bijvoorbeeld visolie, is het reeds mogelijk om planten genetisch te manipuleren zodat ze meer omega-3 kunnen synthetiseren. Dit hoofdstuk behandelt dus de volgende drie voornaamste bronnen: vis en de daaruit afgeleide visolie, (genetisch gemanipuleerde) planten en tenslotte algen.

2.1. Vis en visolie

Vis, en dan vooral vette vis is de voornaamste natuurlijke voedingsbron van EPA en DHA. Tabel 3 geeft de verschillende soorten vis en de daarmee corresponderende concentratie van DHA en EPA weer. Vissoorten zoals makreel, zeebaarbeel, sardines en zalm bevatten de hoogste concentratie EPA en DHA. Om de inname van deze omega-3 vetzuren te verhogen, is het dus aan te raden om, ten eerste, de consumptie van dergelijke vissoorten op te voeren (Givens & Gibbs, 2008). Een tweede mogelijkheid bestaat erin om visolie te extraheren uit verschillende vissoorten. De visolie kan dan enerzijds als supplement worden ingenomen in de vorm van bijvoorbeeld capsules. Anderzijds kunnen andere voedingsmiddelen worden verrijkt met visolie. Deze verrijking kan dan zowel gebeuren bij menselijke voeding als bij dierlijke voeding. In beide gevallen resulteert deze verrijking door visolie (rechtstreeks via menselijke voeding of onrechtstreeks via dierlijke voeding) in een verhoogde concentratie van EPA en DHA in het menselijk lichaam.

In deze paragraaf wordt een overzicht gegeven van de markt van visolie. Deze markt heeft tot nu toe het grootste aandeel wat betreft het aanbod van omega-3 vetzuren en bepaalt tot op heden grotendeels de prijs van EPA en DHA (Kolanowski & Laufenberg, 2006). Naast het

⁷ Fytoplankton is immers de primaire producent van omega-3 vetzuren.

marktoverzicht worden ook de argumenten besproken waarom men op zoek is naar alternatieve bronnen van omega-3 vetzuren. Er is immers een controverse ontstaan rond het gebruik van visolie.

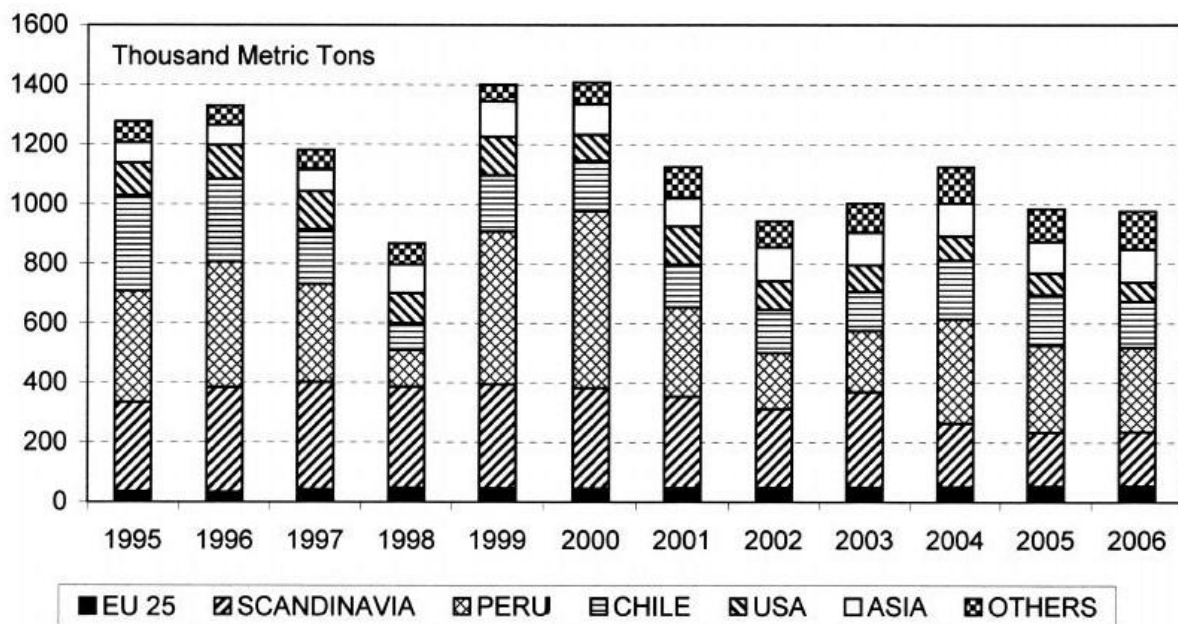
Tabel 3: De concentratie van EPA en DHA in verschillende soorten vis (Rubio-Rodriguez et al., 2010).

Vissoort	EPA (g/100 g vis)	DHA (g/ 100 g vis)
Makreel	1,10	2,56
Zeebarbeel	0,91	1,66
Sardine	0,62	1,12
Zalm	0,50	1,00
Tonijn	0,24	0,98
Ansjovis	0,14	0,80
Zeebrasem	0,12	0,61
Kabeljauw	0,23	0,47
Heek	0,10	0,54
Zeepaling	0,15	0,43
Zwaardvis	0,15	0,30

2.1.1. De markt van visolie

2.1.1.1. Aanbod

Voor de productie van visolie en vismeel wordt er ongeveer 20 % van de wereldvisvangst benut. De andere 80 % van de visvangst dient dan voor de verkoop van verse, ingeblikte of diepgevroren vis. Hoewel er ruim 30 landen zijn die visolie produceren, is het grootste deel van de productie geconcentreerd in een klein aantal landen (Bimbo, 2007). Figuur 3 geeft de globale productie van visolie weer voor de periode 1995-2006. Met Scandinavië bedoelt men hier Denemarken en Zweden. Deze landen zijn dan uiteraard niet opgenomen in de cijfers van de EU. Op de figuur is te zien dat de productie van visolie tussen het jaar 1995 en 2006 varieerde tussen 900000 ton en 1400000 ton. In 2006 was Peru de belangrijkste producent. Daarna volgden Denemarken, Zweden, Chili en de VSA. In het jaar 1998 was er een significante daling van de wereldproductie op te merken. Ook in 2002 was dit het geval. De opvallende dalingen waren te wijten aan de El Niños in Zuid-Amerika. Deze leidden tot de opwarming van het oceaانwater en hadden een sterke daling van de visvangst tot gevolg (Jackson, 2009). Figuur 3 bewijst dit ook, aangezien vooral Peru aan productie heeft moeten inboeten. Het aanbod van visolie is dus sterk afhankelijk van de weersomstandigheden. Als gevolg is de prijs van visolie niet zo stabiel. Daarom is men op zoek naar andere bronnen van omega-3 die een stabiel aanbod kunnen garanderen.



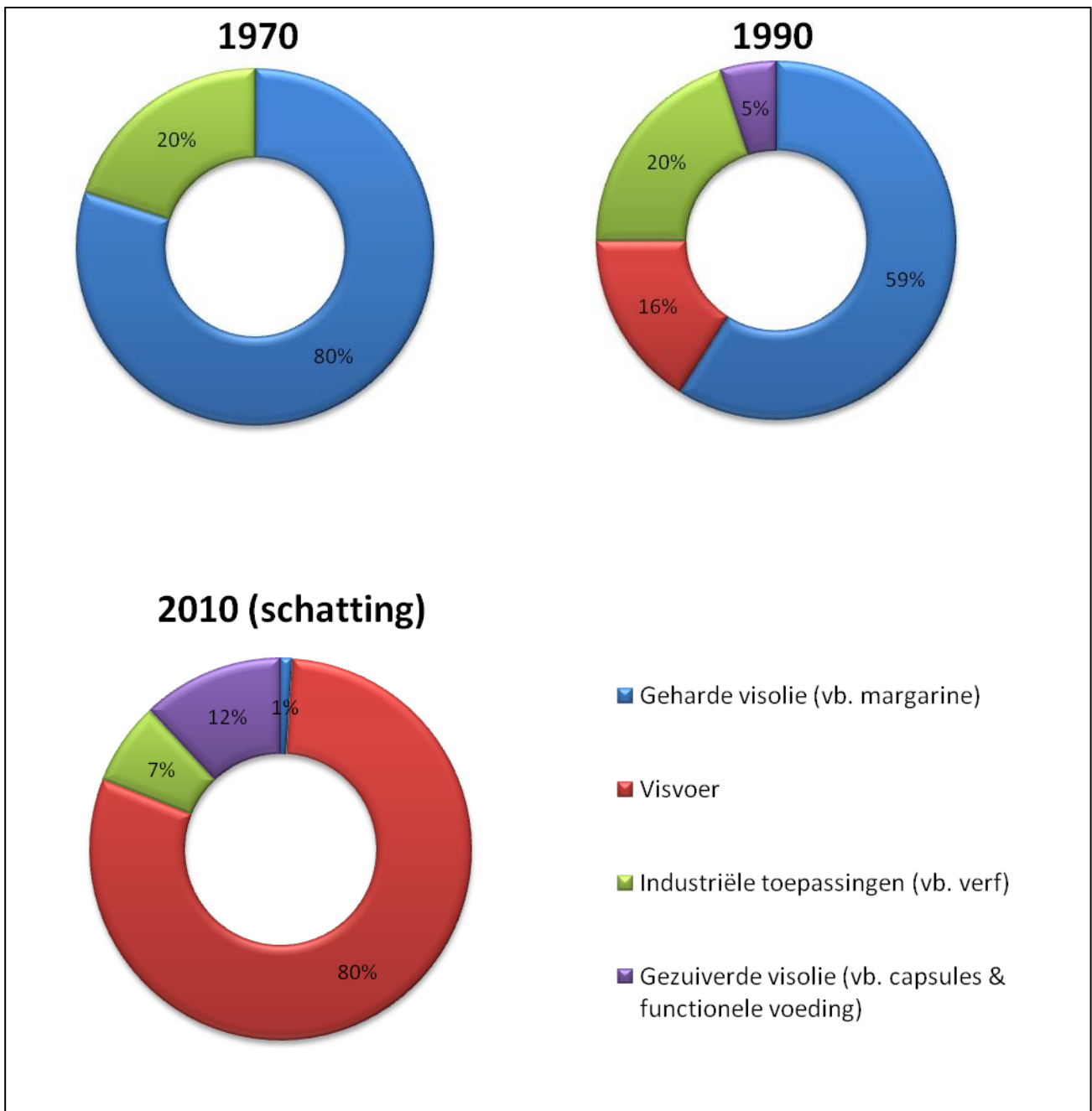
Figuur 3: Globale productie van visolie (in duizend ton) (Bimbo, 2007).

2.1.1.2. Vraag

De laatste 40 jaar zijn er grondige wijzigingen gebeurd met betrekking tot de bestemming van geproduceerde visolie. Figuur 4 beschrijft de vraag naar visolie voor respectievelijk de jaren 1970, 1990 en 2010. De gegevens voor het jaar 2010 zijn een schatting.

In 1970 bestond de vraag naar visolie slechts uit twee segmenten. Het grootste deel (80%) werd omgevormd tot geharde visolie en gebruikte men voor de productie van margarine. De andere 20 % diende voor industriële toepassingen, zoals verven en looistof. Vanaf 1970 werd de visteelt gekenmerkt door een expansie. Het gevolg was een stijging van de vraag naar visvoer in de vorm van visolie (Jackson, 2009).

Tussen 1970 en 1990 ontstonden er twee nieuwe vraagsegmenten. Een eerste nieuw segment was het gebruik van visolie voor visvoer, wegens de uitbreiding van de visteelt. In 1990 werd 16% van de geproduceerde visolie gebruikt als visvoer. Het tweede bijkomende segment was de vraag naar visolie voor directe menselijke consumptie (bijvoorbeeld capsules of functionele voeding). Dit marktdeel ontstond als gevolg van het toenemend besef dat omega-3 vetzuren positieve



Figuur 4: Bestemming van de geproduceerde visolie voor de jaren 1970, 1990 en 2010 (Jackson, 2010).

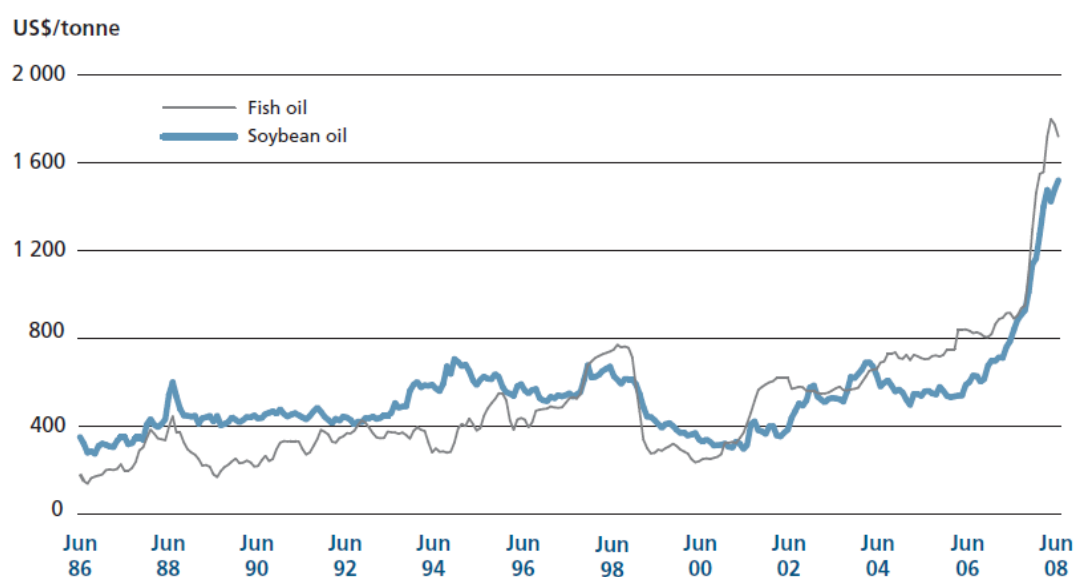
invloeden hebben op het menselijk lichaam. In 1990 werd 5% van de totale visolieproductie gebruikt voor de menselijke consumptie. De geharde visolie voor de productie van margarine kende een daling van 80 % in 1970 tot 59 % in 1990. Het gebruik van visolie voor industriële doeleinden bleef tussen 1970 en 1990 constant.

Tijdens de jaren '90 werd geharde visolie vervangen door plantaardige oliën voor de productie van margarine (Jackson, 2009). Dit resulteerde in een significante afname van het marktsegment van geharde visolie. In figuur 4 is te zien dat deze vraag gereduceerd is tot amper 1 % voor het

jaar 2010. De vraag naar visolie die bestemd is voor visvoer, daarentegen, kende een toename van 64 %. Het geschatte marktaandeel in 2010 van visolie bestemd voor visvoer zal dan 80 % bedragen. Visolie voor industriële toepassingen zal dalen tot 7 %. De geschatte vraag naar visolie voor menselijke consumptie zou in 2010 ongeveer 12 % bedragen.

2.1.1.3. Prijs

Het is uiteraard zo dat de prijs van een goed wordt bepaald door de vraag naar en het aanbod van het desbetreffend goed. Hierboven werd reeds gezegd dat 80% van de geproduceerde visolie gebruikt wordt voor de productie van visvoer. Dit betekent dus dat de vraag naar visolie hoofdzakelijk bepaald wordt door de vraag naar visvoer. De vraag naar visvoer bepaalt dus grotendeels de prijs van visolie. Er dient hierbij te worden vermeld dat er, naast visolie, ook plantaardige oliën (sojaboonolie bijvoorbeeld) kunnen worden gebruikt voor de productie van visvoer (Jackson, 2009). Visolie en plantaardige oliën zijn dus substitutiegoederen. Het gevolg hiervan is dat ook de prijs van plantaardige oliën bepalend is voor de prijs van visolie. Veronderstel bijvoorbeeld een prijsstijging van sojaboonolie. Het gevolg is dat de producenten van visvoer op zoek gaan naar andere input dan sojaboonolie. De vraag naar het alternatieve product (visolie) zal dus stijgen, alsook de prijs. De prijs van visolie en plantaardige oliën zijn dus onderling afhankelijk. Vandaar ook de voorstelling van zowel de prijs van visolie als de prijs van sojaboonolie in Figuur 5. Deze figuur toont de prijsevolutie van visolie en sojaboonolie



Figuur 5: Prijsevolutie van visolie en sojaboonolie in Nederland (FAO, 2008)

tussen 1986 en 2008 in Nederland (in USD/ton). De prijs van visolie bleef relatief stabiel en onder de prijs van sojaboonolie tot het jaar 1996. Vanaf het jaar 2000 kende de visolieprijs een sterke toename. In juli 2008 piekte de prijs op 1815 USD/ton, maar vanaf dan daalde deze, samen met de plantaardige olieprijs (FAO, 2008).

2.1.2. Visolie en de markt van omega-3

Visolie is de grootste bron voor de commercialisatie van omega-3 vetzuren (Kolanowski & Laufenberg, 2006; Fedačko et al., 2007). Volgens Frost & Sullivan wordt 85 % van het totale marktvolume van omega-3 vetzuren uit visolie gehaald. Dit betekent dus dat de visolie de prijs van omega-3 vetzuren bepaalt. Het gevolg is ook dat de hierboven besproken determinanten van de prijs van visolie, zoals de prijs van plantaardige oliën en de vraag naar visvoer, ook bepalend zijn voor de prijs van omega-3.

Er zijn een groot aantal producten op de markt die rijk zijn aan omega-3. Deze kunnen ingedeeld worden in twee categorieën. Ten eerste zijn er de capsules die gezuiverde visolie bevatten. Deze zijn overal te verkrijgen in voedingswinkels en apotheken (Kolanowski & Laufenberg, 2006). De tweede categorie bevat alle voedingsproducten die verrijkt zijn met gezuiverde visolie. Het kan gaan om vlees en gevogelte, brood en gebak, eieren, melk en zuivelproducten, pasta, frisdrank, enzovoort (Moghadasian, 2008; Givens & Gibbs, 2008). Tabel 4 geeft een overzicht van de verschillende voedingsproducten die reeds worden verrijkt met visolie en de bedrijven die deze voedingsproducten verrijken. Merk op dat deze tabel slechts een gedeeltelijk overzicht geeft van de globale omvang van de markt. De belangrijkste leveranciers van omega-3 uit visolie zijn onder andere Ocean Nutrition, Lipid Nutrition, DSM, Croda, Epax, Cognis en GC Rieber (Heller, 2010).

Tabel 4: Voorbeelden van voedingsproducten die met visolie zijn verrijkt (Kolanowski & Laufenberg, 2006).

Type of product	Examples from the market
Bread and bakery products	Nimble Heartbeat (British Bakeries, UK) Nutribread (William Jackson Bakery, UK) Omega bread, sponge cakes, biscuits (Functional Nutrition, UK) Omega-3-bread and omega-3-rolls (VK Mühlen, Germany) Diamant Vital omega-3 Kruste (Diamant Mühle, Germany) Wellness Aktifit-Brot (Ruf Lebensmittelwerke, Germany) Leva omega-3-bread (Pagen, Sweden) F Plus fortified biscuits (Cuetara, Spain) Omega bread (Piekarnia Parkowa Wroclaw, Poland), TipTop Up sliced bread and muffins (TipTop bakeries, Australia) Hi Q DHA bread (Bunge Defiance, Australia), DHA-bread and DHA table rolls (Yamazaki Baking, Japan)
Milk and dairy products	Omega-3 milk (Parmalat, USA) Lactel omega-3 milk (Lactalis Besnier Bridel, France) Mleko omega-3 – UHT milk (SM Sudowa, Poland) Lauki omega+ skim milk (Candia, Spain) Especial omega-3 milk (Mimosa, Portugal) Plus omega-3-latte and omega-3-yogurt (Parmalat, Italy) Omi-3 yoghurt (SM Siedlce, Poland) Omi-3 processed quark (OSM Ostrolka, Poland)
Spreadable fats	Gaio Spread (MD foods, Scandinavia) Omega fat spread (Fjordland, Norway) Vitaquell omega-3 (Vitaquell, UK) Heartwatch omega reduced fat spread (Functional Nutrition, UK) Vigor Omega Vitta (Vigor, Brazil) Dos Alamos Margarina (Grasco, Chile)
Eggs and egg products	DHA Gold eggs (OmegaTech, USA) Gold Circle Farms eggs (NutraSweet Kelco, USA) Eggs Plus (Pilgrim's Pride, USA) Ovo3 eggs (Maia Agrolimentare, Italy) Oro omega-3 eggs (Unione Cascine Valpadana, Italy) Columbus eggs (Belovo, Netherlands) Eiplus eggs (Eifrisch, Germany) Minicol omega pasteurized eggs (Wammala Food, Finland)
Meat and poultry products	Strasburg sausage (Hans, Australia) Omega-3 Jamon Cocido cooked ham breast (Carnicas Serrano, Spain) Terra y Mar turkey breast (Carnicas Serrano, Spain) Omega cool burger (Pals, Norway) Mega Off frozen chicken pieces enriched (Off Tene, Israel)
Juices and soft drinks	Tidal Wave Superfood Juice (Naked Juice CA, USA) Supajus DHA rich orange drink (The Natural Fruit & Beverage Co., UK) My way wellness drink (Designer Foods, Germany) Timlic – orange nectar (Bauman-Fruits, Switzerland) Chikara Mizu soft drinks (Kirin Breweries, Japan)

2.1.3. Controverse rond de productie van visolie

Niettemin is het vooral visolie die wordt gebruikt voor de commercialisatie van de omega-3 vetzuren (85 %), is er toch een grote discussie rond de duurzaamheid van de visolieproductie (Givens & Gibbs, 2008). Volgens de tegenstanders van de productie van visolie doen er zich immers twee ernstige problemen voor. Ten eerste is er het probleem van overbevissing. Een tweede probleem is het feit dat oliën van bepaalde vissoorten schadelijke stoffen kunnen bevatten (Ruxton & Derbyshire, 2009).

Volgens sommigen is de *duurzaamheid van visserijen* in gevaar wegens de continue expansie van de markt van visolie en de markt van omega-3 supplementen. Maar volgens Ismail & Rice (2010) leidt de productie van visolie niet tot overbevissing en komt de duurzaamheid van de visserijen zeker niet in het gedrang. De redenen hiervoor zijn volgens Ismail & Rice (2010) en Jackson (2009) de volgende. Ten eerste heeft de FAO⁸ in het jaar 1995 de “*Code of Conduct for Responsible Fisheries*” geïmplementeerd. De algemene principes van deze gedragscode stellen onder andere dat: “*States should prevent overfishing and excess fishing capacity and should implement management measures to ensure that fishing effort is commensurate with the productive capacity of the fishery resources and their sustainable utilization*” (FAO: Code of Conduct for Responsible Fisheries, 1995, p. 5). Welnu, volgens Jackson (2009) komt het merendeel van de geproduceerde visolie uit die landen die deze gedragscode ondertekenden. De ‘Code of Conduct’ schrijft ook voor dat de jaarlijkse hoeveelheid vis die mag gevangen worden, bepaald wordt door de hoeveelheid vis die beschikbaar is en dus niet door de vraag naar visolie (Ismail & Rice, 2010). Derhalve kan, theoretisch gezien, een expansie van de visoliemarkt niet automatisch leiden tot overbevissing. Een tweede argument die het probleem van overbevissing minimaliseert, is dat de markt van omega-3 slechts een klein segment is van de globale productie van visolie (cfr. Figuur 4). Een uitbreiding van de omega-3 markt zal dus, zolang de productie van omega-3 uit visolie een klein segment blijft, geen significante impact hebben op de vraag naar visolie en dus slechts een beperkte invloed uitoefenen op de overbevissing. Tegenstanders van de productie van visolie gebruiken het argument dat men visolie nodig heeft om de vissen te voederen, en om visolie te produceren heeft men vissen nodig. Dit leidt tot een toename van de benodigde hoeveelheid visolie en dus een toename van de visvangst. Het gebruik van visolie voor visvoer kan dan een bepaald plafond bereiken, waardoor de prijs van visolie zal stijgen.

⁸ Food and Agriculture Organisation (van de United Nations)

Ook de expansieve markt van visolie gebruikt voor de voeding leidt tot een prijsstijging (Bimbo, 2007). Deze prijsstijging van visolie zal uiteindelijk leiden tot een toename van de prijs van omega-3. Dit kan dan de omega-3 producenten een incentive geven om op zoek te gaan naar alternatieve bronnen van omega-3 vetzuren.

Het tweede discussiepunt betreft de *schadelijke stoffen* die vissen (en dus visolie) kunnen bevatten. Het betreft hier vooral zeevissen zoals zalm, makreel, tonijn, sardine, ansjovis. Deze vissoorten kunnen besmet worden met enerzijds zware metalen zoals koper of kwik, anderzijds met giftige organische verbindingen zoals PCB's⁹ of dioxine (Rubio-Rodríguez et al., 2010). In maart 2010 startten in Californië enkele milieuorganisaties een rechtszaak tegen vijf producenten van omega-3 supplementen geëxtraheerd uit visolie. De milieuorganisaties testten de supplementen op PCB's en constateerden dat sommige van die supplementen tien maal meer PCB's bevatten dan wettelijk toegelaten in Californië (Gumz, 2010). De producenten reageerden hierop door te wijzen op het feit dat hun supplementen wel degelijk voldoen aan de vereiste standaarden en dus ook aan de maximaal toegelaten concentratie van PCB's. Het is nu wachten op een uitspraak van de rechter, maar deze zaak komt uiteraard de producenten niet ten goede. Volgens de IFFO¹⁰ weegt het nadeel van een beperkte concentratie PCB's in vis en visolie niet op tegen het voordeel dat men verkrijgt bij de inname van omega-3 vetzuren. Ze beweren dat de PCB inname door bijvoorbeeld twee maal per week zalm te eten over een tijdspanne van 70 jaar, slechts 6 extra gevallen van kanker veroorzaakt op een bevolking van 100000 mensen. Terwijl het eten van deze zalm belet dat er 7000 sterfgevallen zijn ten gevolge van hartziektes (IFFO, 2008). Er dient hierbij wel een kanttekening worden gemaakt. De IFFO vertegenwoordigt de visolie-industrie, dus er kan sprake zijn van een belangenconflict.

De twee toegelichte problemen hebben een duidelijke impact op de markt van omega-3. Niettegenstaande er geen eenduidig besluit kan worden gemaakt of visolie wel degelijk leidt tot overbevissing en of deze (te veel) schadelijke stoffen bevat, kan er wel geconcludeerd worden dat deze discussies de producenten van omega-3 uit visolie in een slecht daglicht stellen. Dit heeft negatieve gevolgen voor de reputatie van de industrie. Het zet de mensen aan tot een wijziging van de consumptie: van omega-3 supplementen uit visolie naar omega-3 supplementen uit alternatieve bronnen. Producenten van omega-3 vetzuren uit andere bronnen (zoals planten of algen) kunnen van deze situatie profiteren en hun producten promoten. Deze situatie doet zich in

⁹ Polychloorbifenyyl

¹⁰ International Fishmeal and Fish oil Organisation: vertegenwoordigt de vismeel- en visolie-industrie.

werkelijkheid reeds voor: er komen nieuwe spelers op de markt die omega-3 vetzuren uit andere bronnen halen.

2.2. Planten en Genetic Modified Organisms

2.2.1. Planten

De discussie omtrent de duurzaamheid van visserijen (supra, p. 16) en het besef dat er een verhoging van de inname van omega-3 vetzuren vereist is, leidt tot de conclusie dat enkel visolie als bron van omega-3 onvoldoende is. Men is er zich van bewust dat alternatieve bronnen dienen aangewend te worden (Moghadasian, 2008). Vandaar dat men zich ook gericht heeft op plantaardige bronnen van omega-3. Verschillende plantaardige voedingsbronnen zoals sojabonen, okkernoten en koolzaadolie bevatten een hoge concentratie aan een bepaald omega-3 vetzuur, namelijk ALA¹¹. Maar het is vooral lijnzaadolie die een zeer hoge concentratie ALA bevat: 50 tot 60 % van deze olie bestaat uit ALA (Harris et al., 2009). Volgens Frost & Sullivan is lijnzaadolie tot op heden de grootste plantaardige bron van omega-3. Ze schatten het marktaandeel van lijnzaadolie in 2007 op ongeveer 13 % van de globale markt van omega-3. De bedrijven die omega-3 uit lijnzaad extraheren zijn onder andere Pizzey's Nutritionals, Bioriginal, Degussa, Biodroga, Barleans en Arista Industries (Heller, 2008).

2.2.2. Genetic Modified Organisms

De conversie van ALA tot DHA in het menselijk lichaam verloopt echter niet efficiënt (supra, p. 3). Dit betekent dat, hoewel bepaalde plantaardige voedingsstoffen een hoge concentratie ALA bevatten, de plantaardige voedingsstoffen een minder hoogwaardige bron van omega-3 zijn dan bijvoorbeeld vis of visolie. De laatste jaren is er dan ook veel onderzoek gedaan naar genetisch gemodificeerde planten¹² als bron van omega-3 vetzuren (zie bijvoorbeeld Napier (2006); of voor een review: Robert (2006)). Hoewel bepaalde plantensoorten geen EPA en/of DHA kunnen synthetiseren, kan men, met behulp van genetische modificatie, aan deze planten een gen toevoegen die instaat voor de synthese van omega-3 vetzuren. Er is dan een verhoogde productie van ALA door planten, zodanig dat mensen meer EPA en DHA kunnen omzetten door de

¹¹ Alpha-linolenic Acid

¹² Ook GMO's genaamd: Genetically-Modified Organisms. Hoewel dit een ruimere term is dan genetische gemodificeerde planten, zullen beide termen door elkaar worden gebruikt.

verhoogde inname van ALA (Kris-Etherton et al., 2003; Bimbo, 2007; Robert, 2006). Zoals eerder gezegd (supra, p. 9) zijn algen, naast vis, de belangrijkste bron van omega-3 vetzuren. Vandaar dat men onder andere de genen van algen gebruikt om planten te modificeren (Bimbo, 2007). Zo'n genetisch gemodificeerde plant is in staat om omega-3 vetzuren op te slaan. Uit de plant kan dan olie geëxtraheerd worden die rijk is aan omega-3 (Robert, 2006). Voorbeelden van dergelijke oliën zijn lijnzaadolie en sojaolie.

2.2.2.1. Markt

Dergelijke gemodificeerde producten zijn tot op heden nog niet beschikbaar. Veel bedrijven zijn echter volop bezig met intensief onderzoek naar genetisch gemodificeerde planten met een hoge concentratie aan omega-3 vetzuren. Hieronder volgen enkele voorbeelden van bedrijven die met dergelijke onderzoeken bezig zijn.

Monsanto is een multinational dat zaden (van bijvoorbeeld mais, katoen, sojabonen) produceert en verkoopt aan de landbouwsector. De bedoeling is dat deze zaden een hoger rendement leveren voor de landbouwer. Dit bedrijf is ook een koploper wat betreft genetische modificatie van planten. Monsanto tracht verschillende genetische eigenschappen te identificeren en transplanteert deze genetische eigenschappen in de zaden van planten. Rond het jaar 2012 zou Monsanto een sojaboon op de markt brengen die de relevante genen van algen bevatten. Uit deze sojabonen kan dan sojaboonolie worden geëxtraheerd die rijk is aan SDA, ook wel SDA sojaboonolie genaamd (The Economist, 2009; Bimbo, 2007). SDA (Stearidonic Acid) is een omega-3 vetzuur dat in het lichaam omgezet wordt in EPA. De conversie van SDA in EPA gebeurt veel efficiënter dan de conversie van ALA in EPA (Bimbo, 2007), vandaar dat de uitvinding van SDA sojaboonolie zeer belangrijk is. Volgens Monsanto bevat deze nieuwe olie tussen 15 en 30 % SDA, terwijl de conventionele sojaboonolie 0 % SDA bevat (Food Product Design, 2009). Monsanto werkte samen met Solae LLC om dit product te vervaardigen. Solae LLC (opgestart in 2003 en operationeel in meer dan 80 landen) is een joint venture die innovatieve technologieën ontwikkelt in de voedselindustrie. De Food and Drug Administration (FDA)¹³ certificeerde in november 2009 de sojaboonolie van Monsanto en Solae LLC met “Generally Recognized As Safe” (GRAS) (Grimmer, 2009). Dit betekent dat het desbetreffende voedingsmiddel ‘veilig’ is en dat er dus geen restricties worden opgelegd met betrekking tot de

¹³ Dit is een agentschap van de *U.S. Department of Health*. Dit agentschap is verantwoordelijk voor de bescherming van de openbare gezondheid.

consumptie van het product. De SDA sojaboonolie kan hierdoor aan een hele reeks voedsel worden toegevoegd, zoals ontbijtgranen, brood, pasta, sausen, vlees, melkproducten,... Maar zoals hierboven vermeld, komt dit product slechts in 2012 of 2013 op de markt.

Er zijn nog andere bedrijven die zich verdiepen in de genetische modificatie van planten als alternatieve bron van omega-3. Martek werkt samen met SemBioSys Genetics Inc.¹⁴ om saffloerolie te produceren die rijk is aan omega-3 (Bimbo, 2007). Volgens Henry Linsert, de CEO van Martek is het vooral de bedoeling om de productiekost van DHA te verlagen (PR Newswire, 2003). DuPont gebruikt genetisch gemodificeerde sojabonen als bron van omega-3 (Powell, 2007). Ook BASF houdt zich bezig met de ontwikkeling van een plantaardige olie (lijnzaadolie) die rijk is aan omega-3. Volgens dit bedrijf wordt het product binnen de komende twee jaar gecommercialiseerd (Bimbo, 2007).

2.2.2.2. Voordelen

De reden waarom de bedrijven intensief investeren in onderzoek naar omega-3 vetzuren uit GMO's, is omdat productie van omega-3 uit genetisch gemanipuleerde planten bepaalde voordelen met zich meebrengen. Ten eerste leidt een verschuiving van de productie van omega-3 uit visolie naar omega-3 uit genetisch gemodificeerde planten tot een daling van de vraag naar visolie. Dit is positief voor de *duurzaamheid* van de visserijen. Hoewel, er is reeds gezegd dat de vraag naar omega-3 uit visolie slechts een kleine impact heeft op de visvoorraden (Supra, p....). Daarom kan de toename van onderzoek naar omega-3 uit GMO's eerder een reactie zijn van de bedrijven op de perceptie van de consument (namelijk dat omega-3 uit visolie leidt tot overbevissing). Een tweede voordeel is dat de komst van deze alternatieve bron van omega-3 tot een toename van het aanbod van omega-3 leidt en dus tot een daling van prijs van omega-3. Immers, zoals figuur 7 toont, was de prijs van visolie (en dus van omega-3 vetzuren) medio 2008 zeer hoog: ongeveer 1800 USD per ton. De neiging tot *prijzdaling* werd ook bevestigd door de CEO van Martek: "*Martek looks forward to working with SemBioSys to lower the costs of DHA production through the use of plants*" (Henry Linsert, uit PR Newswire, 2003). Ten derde hebben plantaardige bronnen van omega-3 een *rendementsvoordeel* ten opzichte van omega-3 uit visolie. Volgens Bimbo (2007) bevat 1 hectare genetisch gemodificeerde sojaboonolie evenveel omega-3 als 22500 zalmen.

¹⁴ SemBioSys Genetics is een bedrijf dat, met behulp van hun biotechnologie, farmaceutische producten en voedingsproducten produceert.

Uit de drie bovenstaande voordelen kan men dus concluderen dat het onderzoek naar omega-3 uit genetisch gemodificeerde planten een reactie is op de toenemende vraag naar omega-3 vetzuren en een afnemend aanbod van de visvoorraden (Moghadasian, 2008). Het biedt ook een antwoord op de hoge prijs van omega-3 uit visolie en op de vraag naar een hoger rendement van omega-3 vetzuren (Bimbo, 2007).

2.2.2.3. Nadelen

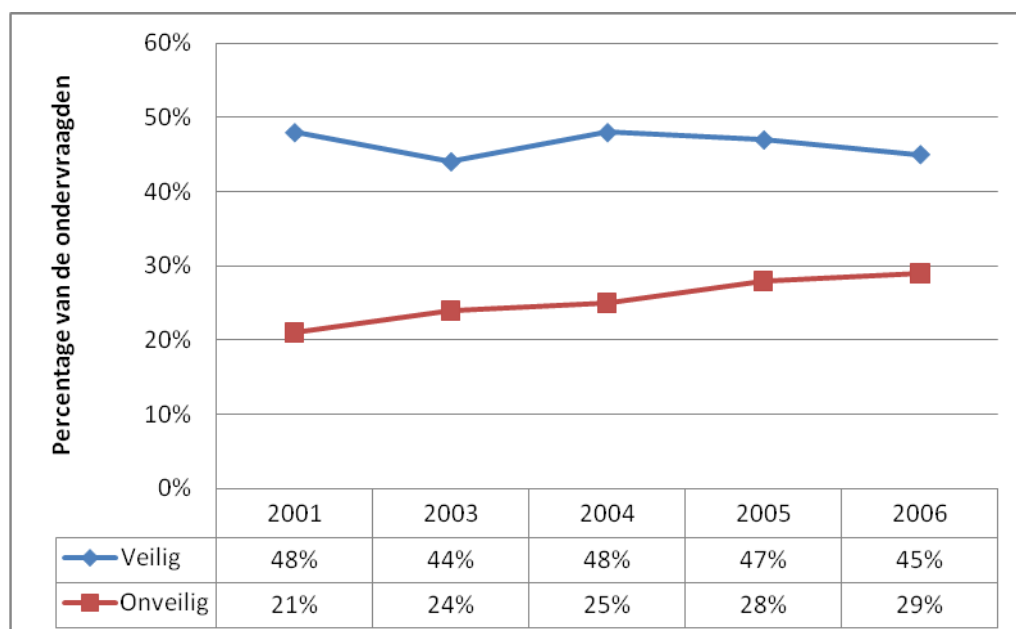
De markt van GMO's is redelijk nieuw en kent waarschijnlijk nog een behoorlijke groeimarge. Toch staan de producenten voor bepaalde hindernissen die de groei van de markt kunnen belemmeren. Verschillende bevolkingsgroepen (zoals milieuactivisten, religieuze organisaties, wetenschappers en belangengroepen) maken zich immers zorgen over de toepassingen van genetische modificatie (Whitman, 2000).

Er zijn twee belangrijke categorieën van kritiek. Een eerste kritiek is het gevaar voor het *milieu*. Genetische modificatie kan de andere organismen onrechtstreeks schaden of de effectiviteit van pesticiden reduceren. Ook kunnen bepaalde genen van gemodificeerde planten overslaan op niet-gemodificeerde planten (Whitman, 2000). Een gevolg van dit laatste probleem is bijvoorbeeld dat Monsanto verschillende boeren tracht te vervolgen omdat deze boeren genetisch gemodificeerde planten kweken die eigendom zijn van Monsanto, terwijl ze geen licentiegelden betalen. Deze boeren menen dat ze onschuldig zijn, want dit is enkel en alleen het gevolg van zaden die overwaaien van genetisch gemodificeerde planten (Whitman, 2000). Ten tweede is er ook een potentieel 'gevaar' voor de menselijke *gezondheid* omdat genetische modificatie nieuwe allergieën kan creëren (Whitman, 2000).

Dit leidt er toe dat de opinie van de consumenten ten opzichte van GMO's niet bepaald positief is. De toepassing van genetisch gemodificeerde planten in de landbouw is nog niet goed aanvaard in bepaalde delen van de wereld, en dan vooral in Europa (Rubio-Rodríguez et al., 2010). De consumenten staan weigerachtig tegenover de GMO-producten, er is een vorm van 'market resistance' (Powell, 2007). Figuur 8 toont een enquête, uitgevoerd door PIFB¹⁵, met betrekking tot de algemene opvatting van de consument ten opzichte van GM voedsel. Op deze figuur is te zien dat in 2001 21% van de Amerikaanse consumenten het GM voedsel als onveilig

¹⁵ Pew Initiative on Food and Biotechnology

relatief onveilig beschouwt. In 2006 gaat het om 29% van de Amerikaanse consumenten. Dit betekent dus dat het aandeel van de consumenten die genetisch gemodificeerd voedsel als onveilig beschouwen, is toegenomen. Het percentage van de Amerikaanse consumenten die GM-voedsel als veilig beschouwen, is licht gedaald: van 48% in 2001 naar 45% in 2006. Deze figuur toont aan dat de consumenten de markt van GMO's niet volledig vertrouwen. Het is dus aan de producenten om de consumenten ervan te overtuigen om genetisch gemodificeerd voedsel te aanvaarden. Een recente ontwikkeling kan positief zijn voor de algemene aanvaarding van GM-voedsel door de publieke opinie, namelijk de GRAS certificatie door de FDA van de sojaboonolie van Monsanto en Solae. Deze erkenning van de FDA kan de consumenten ervan overtuigen dat de productie van GM-voedsel over het algemeen veilig is (Drimmer, 2009).



Figuur 6: Perceptie van de veiligheid van GM voedsel in de VSA (PIFB uit Powell, 2007)

2.3. Algen

Een derde belangrijke bron van omega-3 vetzuren zijn algen. In dit deel wordt eerst uitgelegd wat algen precies zijn. Daarna worden de productiemethoden van omega-3 uit algen beschreven. Het commerciële aspect (zoals de markt van omega-3 uit algen, de bedrijven die omega-3 uit algen produceren) wordt echter hier niet besproken, maar is voorbehouden voor een apart hoofdstuk.

2.3.1. Duiding

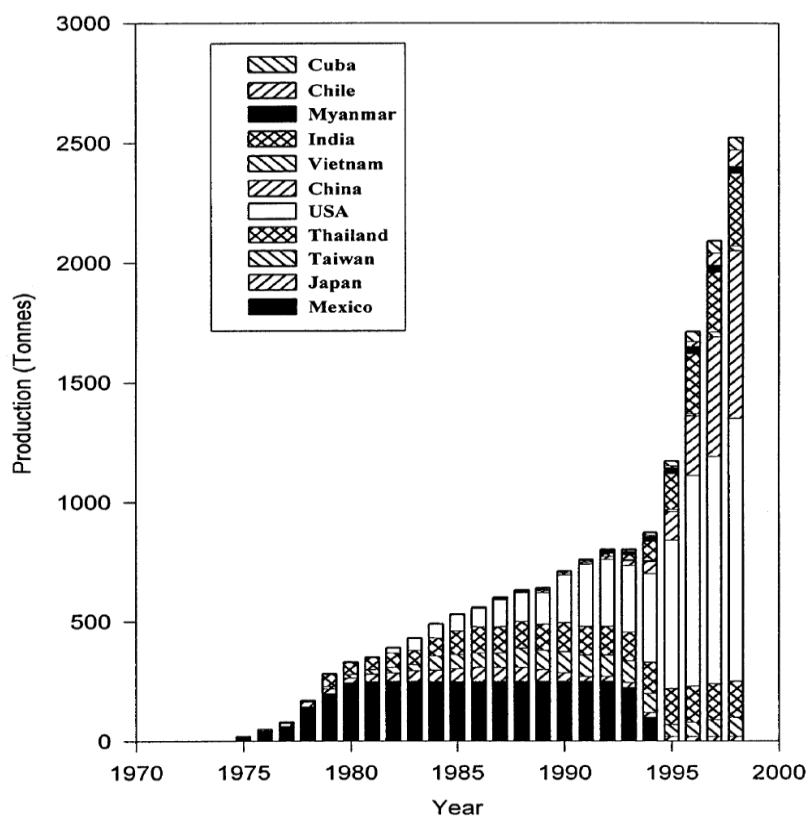
De term algen vertegenwoordigt een grote groep van verschillende organismen die zich in verscheidene takken van het plantenrijk bevinden. Algen zijn organismen zonder wortel, stengel of bladeren en bestaan uit een zeer primitief voortplantingssysteem (Oilgae, 2010). Ze komen voor in alle oppervlaktewaters. Er zijn talrijke soorten algen die elk hun eigen kenmerken (zoals groeisnelheid, grootte¹⁶, nutriëntgehalte) hebben (STOWA, 2010). Algen kunnen over het algemeen worden opgedeeld in twee grote groepen: *microalgen* en *macroalgen* (of ook wel zeewieren genoemd). Microalgen zijn eencellige algen, terwijl de meercellige algen onder de categorie macroalgen vallen (Oilgae, 2007). Het zijn enkel de microalgen die worden gebruikt voor de productie van omega-3 vetzuren uit algen. Daarom worden macroalgen hier niet behandeld.

Men schat dat er wereldwijd 50 000 soorten microalgen bestaan, maar tot op heden zijn er slechts 30 000 bestudeerd en geanalyseerd (Mata, Martins & Caetano, 2010). Microalgen zijn de primaire bron van omega-3 vetzuren¹⁷, een groot aantal soorten microalgen bevatten dus een hoge concentratie van omega-3 vetzuren (Apt & Behrens, 1999). Om een idee te geven van de hoge concentraties omega-3 vetzuren in microalgen, geeft Bijlage 2 een overzicht van verschillende soorten microalgen en de bijhorende concentratie van EPA en DHA. Deze hoge concentratie leidt ertoe dat microalgen zeer geschikt zijn voor de extractie van omega-3. Daarnaast bevatten microalgen nog andere stoffen met een hoge voedingswaarde zoals bijvoorbeeld proteïnen of vitamine A (Spolaore et al., 2006). Het gevolg is dat de geoogste microalgen vooral worden gebruikt als voedingssupplementen, als additief in menselijke voeding, of als additief in diervoeding (Spolaore et al., 2006). De productie van microalgen is de laatste decennia fors toegenomen. Dit wordt bewezen door Figuur 7, die de productie van de

¹⁶ Algen kunnen zowel microscopisch klein zijn als zeer groot (tot 50 m) (Oilgae, 2007).

¹⁷ Hier kan de link gelegd worden naar vis als bron van omega-3 vetzuren: vissen nemen de microalgen op in hun lichaam, waardoor bepaalde vissoorten dus ook een hoge concentratie omega-3 vetzuren bevatten.

algensoort *Spirulina* weergeeft voor de verschillende landen. In 1978 werd er ongeveer 180 ton *Spirulina* geproduceerd. In 1998 bedroeg de productie al meer dan 2500 ton. Er is dus een algemene trend van groei in de algenproductie. De belangrijkste soorten van microalgen die wereldwijd worden geproduceerd zijn *Spirulina*, *Chlorella*, *Dunaliella*, *Nostoc* en *Aphanizomenon*. Tabel 5 geeft deze soorten weer, samen met de overeenkomende productiecijfers. De commerciële aspecten van omega-3 vetzuren uit algen worden verder behandeld in een volgend hoofdstuk.



Figuur 7: Globale productie van de microalg *Spirulina* tussen 1970 en 1998 (Borowitzka, 1999).

Tabel 5: Productiecijfers voor verschillende algensoorten (Pulz & Gross, 2004).

Algensoort	Productie (ton/jaar)
<i>Spirulina</i>	3000
<i>Chlorella</i>	2000
<i>Dunaliella</i>	1200
<i>Nostoc</i>	600
<i>Aphanizomenon</i>	500

Bij de bespreking van visolie als bron van omega-3 werd de controverse rond het gebruik van visolie vermeld. Het ging daarbij om het probleem van overbevissing. Dit probleem kan worden opgelost door de productie van omega-3 uit visolie te verschuiven naar de productie van omega-3 uit algen (Rubio-Rodríguez et al., 2010). Het eerste voordeel van het gebruik van algen is dus dat deze, in tegenstelling tot het gebruik van visolie, geen invloed hebben op de visvoorraden. Een tweede voordeel betreft de geur van de algenolie: in tegenstelling tot visolie brengt algenolie geen onaangename geur met zich mee (Pulz & Gross, 2004). Ten derde is de kans dat algenolie schadelijke stoffen bevat lager dan de kans dat visolie schadelijke stoffen bevat (Pulz & Gross, 2004). Er kan dus besloten worden dat de extractie van omega-3 uit algen bepaalde voordelen met zich meebrengen. De nadelen die zich voordoen bij omega-3 uit visolie verdwijnen geheel of gedeeltelijk indien men de productie verschuift naar omega-3 uit algen. Het gevolg is dat de omega-3 productie uit algen veel toekomstperspectieven biedt.

2.3.2. De extractie van omega-3 vetzuren uit algen

Het proces dat omega-3 uit algen extraheert, bestaat over het algemeen uit drie belangrijke stappen. De eerste stap is het kweken van algen. Ten tweede wordt de biomassa uit de algen gerecupereerd. In de laatste stap gaat men de geprefereerde stof uit de biomassa opconcentreren. Hier wordt er getracht een algemeen overzicht van de verschillende stappen te geven. Het is noodzakelijk te vermelden dat de hieronder beschreven procedure kan variëren naargelang de stof die dient te worden geëxtraheerd, of naargelang de algen die worden gebruikt. Dit deel is gebaseerd op Molina Grima et al. (2003), Borowitzka (1999), STOWA (2010), Wen & Chen (2003), Eriksen (2008) en Wijffels (2007).

2.3.2.1. De productie van algen

Algen kunnen gekweekt worden enerzijds in een open systeem en anderzijds in een gesloten systeem. Voor de commerciële productie van algen wordt er hoofdzakelijk gebruik gemaakt van open systemen. De reden hiervoor is dat open systemen minder duur zijn dan gesloten systemen. De hogere kost van gesloten systemen heeft de commerciële applicatie van dergelijke systemen weerhouden.

Open systemen

Bij open systemen wordt voor de kweek van algen gebruik gemaakt van zonlicht en andere natuurelementen. Hierdoor ligt de energiekost voor de productie een pak lager dan in het geval van gesloten systemen¹⁸. Naast het kostenvoordeel dat open systemen hebben in vergelijking met gesloten systemen, hebben open systemen echter enkele beperkingen. Ten eerste is het moeilijk om de algen in optimale omstandigheden te kweken. De algenproductie hangt immers af van verschillende factoren zoals lichtinval, temperatuur, neerslag, enz. Deze factoren zijn echter moeilijk te beheersen in open systemen. Ten tweede kan de groei van de gewenste algen worden verstoord door de aantasting van andere algen die in de open systemen ontwikkeld worden. Hierdoor ligt de feitelijke productiviteit van algen in open systemen een stuk lager dan de theoretische productiviteit. Het gevolg van deze beperkingen is dat er slechts een gering aantal soorten algen kunnen worden gekweekt in open systemen.

Er zijn verschillende soorten open systemen. Welk systeem er precies wordt gekozen is afhankelijk van de eigenschappen van de gekweekte algen, het klimaat in de regio en de kosten van land en water. De vier belangrijkste open systemen die tot op heden worden gebruikt voor commerciële productie worden weergegeven in Tabel 6. Het meest economische systeem is de 'raceway pond'.

Tabel 6: Overzicht van de belangrijkste open systemen (Borowitzka, 1999).

Kweekstelsel	Algensoort	Locatie
Tanks	Verschillende soorten	Wereldwijd
Grote open vijvers	Dunaliella salina	Australië
Cirkelvormige vijvers met draaiende arm	Chlorella spp.	Taiwan, Japan
Raceway pond'	Chlorella spp., Spirulina spp.	Japan, Taiwan, VSA, Thailand
	Dunaliella salina	China, India, Vietnam, Chili, VSA, Israël

¹⁸ Volgens de literatuur zijn er meer gesloten systemen die gebruik maken van zonlicht dan gesloten systemen die gebruik maken van kunstlicht. Maar doordat in gesloten systemen andere factoren zoals temperatuur handmatig worden geregeld, ligt de energiekost van open systemen nog steeds lager.



Figuur 8: Raceway pond

De ‘raceway pond’ (Figuur 8) is een open, ondiepe vijver in de vorm van een racebaan. Deze is voorzien van een peddelsysteem. Hierdoor komen de algen regelmatig aan het wateroppervlak, waardoor ze worden blootgesteld aan het zonlicht. Dit zonlicht is noodzakelijk om de algen te laten groeien. De ‘raceway pond’ is tot nu toe de enige installatie die de algen op grote schaal kan produceren.

Dit is te danken aan de lage investeringskost die met de installatie van de ‘raceway pond’ gepaard gaat. Naast de ‘raceway pond’ zijn er nog de tanks, de grote open vijvers en de cirkelvormige vijvers met draaiende arm.

Gesloten systemen

De beperkingen van de open systemen komen in het algemeen niet voor bij de gesloten systemen. De verschillende factoren zoals temperatuur, lichtinval en zuurtegraad van het water kunnen immers beter geregeld worden dan in het geval van open systemen. Het probleem van ongewenste algen die de gewenste geproduceerde algensoort verdringen (supra, p. 26), doet zich niet voor bij gesloten systemen. Als gevolg kunnen er met behulp van gesloten systemen meer algensoorten worden gekweekt en is het mogelijk om de algen in een groter aantal regio's te produceren. Doordat de bepalende factoren beter worden beheerst, is er ook een consistentere kwaliteit van de algen. Maar deze gesloten systemen brengen ook nadelen met zich mee. De installatie brengt een hoge kapitaalkost met zich mee, waardoor de gesloten systemen veelal niet worden uitgebreid (er is dus geen *scale-up*).

De productie van algen in gesloten systemen kan enerzijds gebeuren aan de hand van fotoautotrofe¹⁹ kweek in fotobioreactoren en anderzijds aan de hand van heterotrofe²⁰ kweek.

¹⁹ Definitie van autotroof volgens de Van Dale: “*in staat zichzelf uit anorganische stoffen op te bouwen*”. In het geval van fotoautotrofe kweek maken de algen dus gebruik van licht om energie op te bouwen. Dit proces wordt fotosynthese genoemd.

²⁰ Definitie van heterotroof volgens de Van Dale: “*voor zijn ontwikkeling organische stof nodig hebbend*”.

In het geval van de fotoautotrofe kweek van algen, wordt licht gebruikt als energiebron voor de algen. De belangrijkste toepassingen zijn de ‘flat panel’ bioreactoren (Figuur 9) en de buisvormige fotobioreactoren (Figuur 10). De bedoeling van deze installaties is om de algen zoveel mogelijk in contact te laten komen met licht. De ‘flat panel’ reactoren zijn rechthoekige doorzichtige bakken met een dikte van slechts 1 tot 5 cm. De buisvormige reactoren bestaan uit lange doorzichtige buizen met een lengte van 10 tot 200 m en een dikte van 3 tot 6 cm. De kweekvloeistof wordt met behulp van een luchtpomp door de buizen gepompt.



Figuur 9: Flat panel bioreactoren



Figuur 10: Buisvormige fotobioreactoren

In het geval van heterotrofe systemen wordt er geen gebruik gemaakt van licht als energiebron voor de algen. Hier wordt energie gehaald uit organische koolstofbronnen zoals suikers of organische zuren. Er is al aangetoond dat de heterotrofe kweek van algen een effectieve en haalbare methode is voor de productie van EPA uit algen. Dit wordt ook aangetoond door het feit dat Martek Inc. reeds gebruikt maakt van deze methode om omega-3 vetzuren te produceren. De productiviteit van heterotrofe systemen ligt immers veel hoger dan de productiviteit van fotoautotrofe systemen. Het gebruik van deze methode kan echter niet toegepast worden voor alle soorten algen. Ook kan de chemische samenstelling van de algen gewijzigd worden indien men de heterotrofe methode gebruikt.

2.3.2.2. De recuperatie van de biomassa

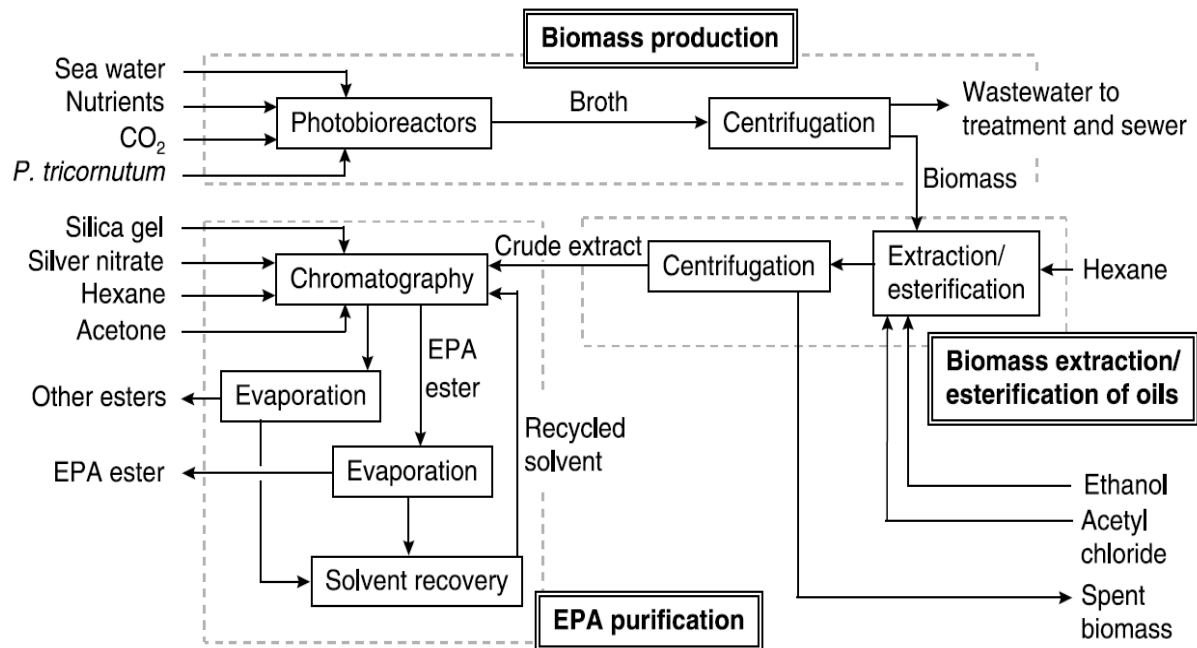
Na de productie van de algen dient men over te gaan tot de oogst of de recuperatie van de biomassa. Er zijn verschillende methodes om de algen te recupereren. Ook hier geldt terug de opmerking dat de methodes kunnen verschillen naargelang de soorten algen die worden geproduceerd en naargelang de productiemethode van de algen. Een eerste stap in de recuperatie van de biomassa, is een initiële verwijdering van water door de algen te laten samenklitten (d.i. vlokvorming of flocculatie). Deze vlokken drijven dan op het wateroppervlak, waardoor men de geconcentreerde biomassa uit het water kan scheppen. Flocculatie vereenvoudigt dus het proces van recuperatie door alle algen samen te brengen tot een grote substantie. De tweede stap is de effectieve oogst van de algen. Een eerste methode is *centrifugatie*. Door de centrifugale kracht wordt de algenmassa van de rest van de vloeistof gescheiden. Dit proces is efficient, maar is erg energie-intensief. Ten tweede kan er gebruik gemaakt worden van *filtratie*. Filtratie is een goede methode voor algen die groot genoeg zijn. Maar in het geval van kleine algen is deze methode zeer inefficiënt.

2.3.2.3. De extractie en zuivering

In de laatste stap extraheert men de benodigde stof uit de biomassa van algen. Daarna zuivert men de extractie om dan hoogwaardige omega-3 vetzuren te bekomen.

2.3.2.4. Toepassing: de productie van EPA

Deze paragraaf is overgenomen uit Molina Grima et al. (2003). Na de theoretische uitleg over de productie van omega-3 vetzuren uit algen, wordt de praktische toepassing bekeken. De Universiteit van Almería heeft een soortgelijk proces in de praktijk gebracht. Hun proefproject bestond uit de productie van EPA uit de microalg *P. tricornutum*. Figuur 11 stelt het proces schematisch voor. Er zijn drie belangrijke stappen te onderscheiden. Een eerste stap is de productie en recuperatie van de biomassa. De productie gebeurt met behulp van fotobioreactoren. De recuperatie van de biomassa gebeurt door middel van centrifugatie. Nadat de algenbiomassa verkregen is, gaat men over naar de tweede stap. In de tweede stap wordt de ruwe EPA in de vorm van olie geëxtraheerd en gecentrifugeerd. De derde stap is een zuivering van het ruwe extract. Na de zuivering wordt er een EPA-olie verkregen met een zuiverheid van 96%.



Figuur 11: Schematische voorstelling van de productie van EPA uit algen (Molina Grima et al., 2003).

3. De commercialisatie van omega-3 vetzuren uit algen

Dit hoofdstuk begint met een overzicht van de huidige markt van omega-3 vetzuren uit algen. De bedrijven die omega-3 uit algen produceren, worden daarbij besproken. Daarna wordt er gekeken naar de kostprijs van omega-3 uit algen en wordt deze vergeleken met omega-3 uit visolie. De recente ontwikkelingen in de algenindustrie worden ook besproken. Ten slotte wordt er een overzicht gegeven van de uitdagingen waarmee de omega-3 producenten geconfronteerd worden.

3.1. Huidige markt

3.1.1. Marktgegevens

Weinig gegevens zijn bekend omtrent de markt van omega-3 vetzuren. Hieronder volgt een korte samenvatting van de marktcijfers. Deze gegevens zijn overgenomen uit NutraIngredients (2008) en zijn van toepassing voor het jaar 2008.

Volgens Frost & Sullivan bedraagt de marktwaarde van omega-3 algenolie in de Europese Unie ongeveer 56 miljoen USD. De marktwaarde in de Verenigde Staten bedraagt 83 miljoen USD. Dit leidt tot een totaal van ongeveer \$ 139 miljoen. Maar volgens de GOED²¹ zijn deze cijfers een onderschatting van de globale markt.

De prijs varieert tussen 85 USD en 180 USD per kilogram en is vooral afhankelijk van de soort toepassing die wordt gebruikt. Men verwacht dat de prijs relatief stabiel zal blijven omdat er voorlopig twee grote producenten zijn.

De markt van omega-3 vetzuren uit algen wordt tot op heden gedomineerd door slechts 2 bedrijven: Martek Biosciences Corporation (VSA) en Lonza Group AG (Zwitserland). In wat volgt, wordt er een overzicht gegeven van deze twee bedrijven. De informatie over de bedrijven zijn, tenzij anders aangeduid, overgenomen van hun website.

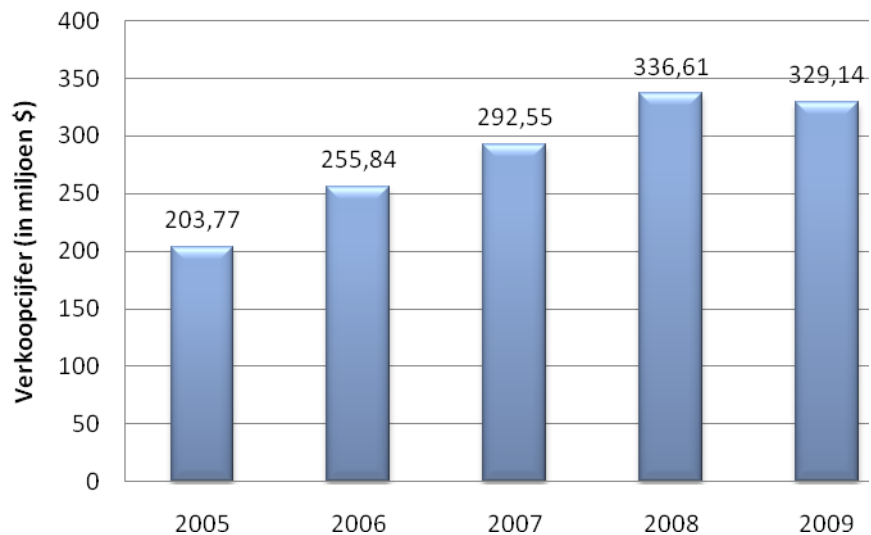
²¹ Global Organisation for EPA & DHA Omega-3.

3.1.2. Martek

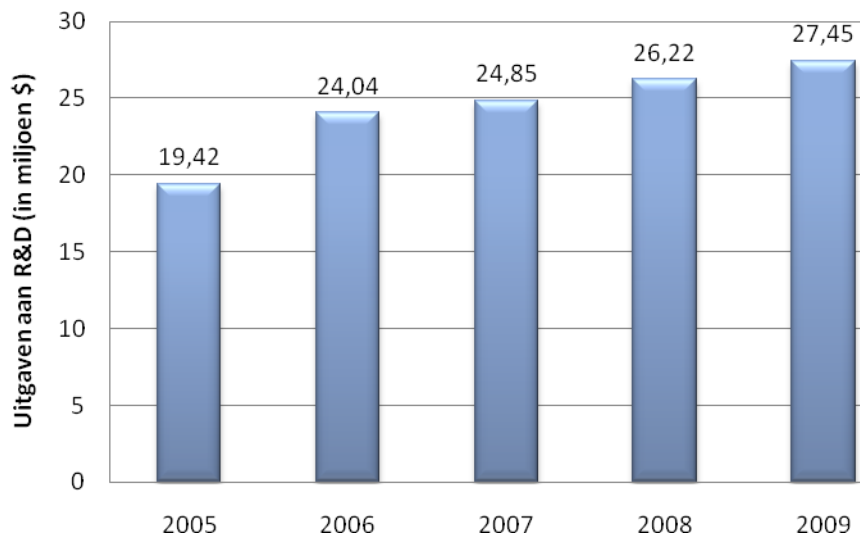
Martek Biosciences Corporation werd opgericht in 1985 en de hoofdzetel is gevestigd in Maryland, Verenigde Staten. Verschillende wetenschappers die werkzaam waren bij Martin Marietta²² kregen de opdracht om een studie uit te voeren die de voordelen van algen voor lange termijn ruimtevluchten in kaart moest brengen. Ze kwamen tot de vaststelling dat men met algen diverse toepassingen kon ontwikkelen die bevorderend waren voor de menselijke gezondheid. Deze wetenschappers besloten zich af te scheuren van het bedrijf en zich te verdiepen in de gezondheidsvoordelen van de algen. Martek is dus een spin-off van Martin Marietta. Martek kan worden beschouwd als de pionier van onderzoek en ontwikkeling naar producten uit algen.

Martek is sinds 1993 een beursgenoteerd bedrijf (Genoteerd in de NASDAQ als MATK). Hun producten worden verdeeld over meer dan 75 landen (Martek Annual Report, 2009). Figuur 12 toont het verkoopcijfer vanaf 2005 tot en met 2009. Tot en met 2008 was er een blijvende toename van de opbrengsten uit verkoop. Het verkoopcijfer bedroeg in 2009 ongeveer 329 miljoen USD. Dit is een daling van ongeveer \$ 37 miljoen ten opzichte van het jaar 2008. Figuur 13 toont de uitgaven voor Research & Development van het jaar 2006 tot 2009. De totale uitgaven aan R&D nemen elk jaar toe. In 2009 bedroegen de uitgaven aan R&D 27,45 miljoen USD. Martek schat de uitgaven voor Research & Development in het jaar 2010 op zo'n 30 miljoen USD (Martek Annual Report, 2009). Deze blijvende investering in onderzoek en ontwikkeling heeft in de loop der jaren twee zeer belangrijke producten uit algen opgeleverd, namelijk *life'sDHA*TM en DHA Gold®. Deze producten worden hieronder besproken.

²² Amerikaans bedrijf dat materiaal vervaardigt voor het leger en de ruimtevaart. In 1995 gefusioneerd met Lockheed tot Lockheed-Martin.



Figuur 12: Verkoopcijfer (in miljoen USD) van Martek voor de periode 2005-2009 (Martek Annual Report, 2009).



Figuur 13: Uitgaven aan R&D (in miljoen USD) van Martek voor de periode 2005-2009 (Martek Annual Report).

3.1.2.1. *Life'sDHA™*

Martek Biosciences produceert DHA uit de algensoort *Cryptocodinium cohnii*. Eerst worden de algen gecultiveerd, daarna gebeurt er een proces van extractie en zuivering. Het resultaat levert een olie op die rijk is aan DHA. Deze olie bevat tussen 40 en 50 % DHA (Spolaore et al., 2006). Dit product wordt verkocht onder de naam *life'sDHA™*.

*Life'sDHA*TM wordt aan de man gebracht via voedingssupplementen die Martek zelf verdeelt, ofwel via ondernemingen die voedselproducten vervaardigen waarin *life'sDHA*TM wordt verwerkt (Spolaore et al., 2006). De producten die de DHA-olie bevatten, kunnen worden opgedeeld in vier categorieën: Voedsel en dranken, prenatale supplementen, babyvoeding en gewone voedingssupplementen. Een overzicht van alle producten waarin *life'sDHA*TM wordt verwerkt, is te vinden in Bijlage 1. Tabel 7 toont de hoeveelheid verschillende producten die *life'sDHA* bevatten, verdeeld over de vier categorieën. Het aantal bedrijven die de DHA-olie in hun producten verwerken, wordt ook weergegeven.

Tabel 7: Aantal producten waarin *life'sDHA*TM wordt verwerkt & aantal bedrijven die *life'sDHA* in hun producten verwerken (eigen berekening).

	Aantal producten	Aantal bedrijven
Voedsel en dranken	52	43
Babyvoeding	5	5
Voedingssupplementen	34	22
Prenatale voeding	22	15

In totaal zijn er tot op heden 78 bedrijven die *life'sDHA*TM in 113 producten verwerken. De meeste producten bevinden zich in de categorie *voedsel en dranken*. In deze categorie worden er 52 producten met *life'sDHA*TM verkocht. Voorbeelden zijn ABC Infant Yogurt, Minute Maid Enhanced Pomegranate Blueberry Juice en Wellness Hamburger. De *voedingssupplementen* hebben ook een groot aandeel in de globale markt van *life'sDHA*TM: 34 producten uit 22 bedrijven. Martek zelf bevindt zich tussen deze bedrijven. Ze verkopen immers *life'sDHA*TM 200 mg softgel en *life'sDHA*TM Kids 100 mg softgel rechtstreeks aan de consument. Andere voorbeelden van voedingssupplementen zijn Golden Health DHA Gold, CVS Life Fitness *life'sDHA*- Energy Multivitamin en Spectrum's Vegetarian DHA. De derde categorie is *prenatale voeding*. Onder deze categorie vallen bijvoorbeeld Annum Materna, Pregnum en Walgreen's Prenatal + DHA. Een laatste categorie betreft de *babyvoeding*. Er is in de tabel af te lezen dat Martek slechts 5 bedrijven met *life'sDHA*TM bevoorraadt voor de productie van babyvoeding. Dit neemt niet weg dat Martek in de VSA bijna 100% van de producenten van babyvoeding bevoorraadt en ongeveer 75 % van de producenten wereldwijd (Martek Annual Report, 2009). In totaal leveren ze aan 35 babyvoedingproducenten. Deze marktmacht hebben ze te danken aan een ander product, namelijk *life'sARA*TM. Dit product bevat arachidonic acid (ARA), een omega-

6 vetzuur. Dit product wordt enkel en alleen gebruikt voor babyvoeding. Voor een volledig overzicht van producten die *life'sDHA*TM bevatten, wordt er nogmaals naar Bijlage 1 verwezen.

3.1.2.2. *DHAGold*®

Hoewel OmegaTech oorspronkelijk de grootste concurrent was van Martek op vlak van olie geëxtraheerd uit algen, heeft Martek sinds 2002 deze concurrent volledig in handen (Ward & Singh, 2005). OmegaTech is sindsdien een dochteronderneming van Martek. Dit bedrijf cultiveert een algensoort, *Schizochytrium* genaamd. Uit deze algensoort extraheert men algenolie die dan wordt verwerkt tot een poeder die een bepaalde concentratie DHA bevat. Dit wordt verkocht onder de merknaam DHA Gold®. Het product wordt gebruikt als additief in dierenvoeding (Spolaore et al., 2006).

DHA Gold® is te verkrijgen in drie varianten:

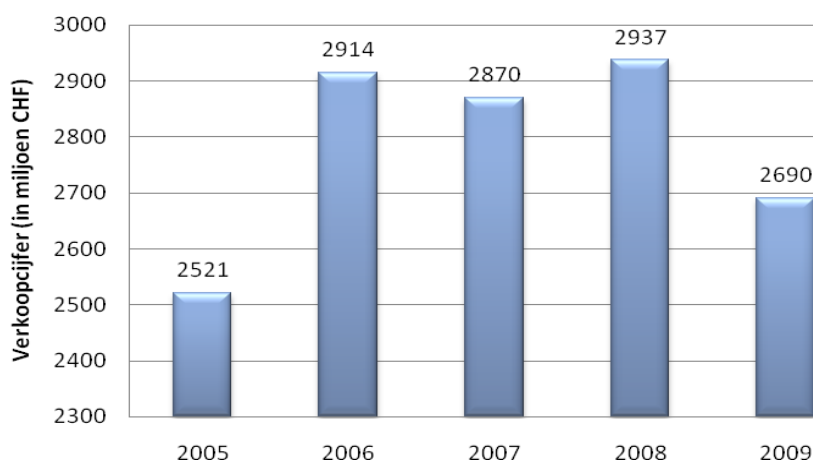
- DHA Gold® S17-B: bevat minimaal 17% DHA en wordt aangeraden voor verwerking in voeding voor huisdieren.
- DHA Gold® Original: bevat minimaal 18% DHA en wordt aangeraden voor verwerking in voeding voor gevogelte, varkens en runderen.
- DHA Gold® C15-P: bevat minimaal 15% DHA en wordt aangeraden voor verwerking in dierenvoeding.

3.1.3. Lonza

Dit bedrijf werd opgericht in het jaar 1897 en was oorspronkelijk gevestigd in Valais, Zwitserland. De hoofdzetel van Lonza bevindt zich nu in Bazel, Zwitserland. Het bedrijf is een van 's werelds grootste leveranciers van de farmaceutische industrie, gezondheidsindustrie en de biowetenschappelijke industrie. De onderneming is een wereldleider op het vlak van productie van farmaceutische ingrediënten. Ook is ze een belangrijke leverancier van chemische en biotechnologische ingrediënten van de voedingsindustrie. Lonza Group AG staat genoteerd op de beurs van Zwitserland, de SIX Swiss Exchange (symbool: LONN).

Het bedrijf is opgedeeld in drie divisies: Bioscience, Custom Manufacturing en Life Science Ingredients. In de afdeling *Bioscience* worden biowetenschappelijke toepassingen gemaakt en geleverd aan klanten in de farmaceutische en biotechnologische sector. Voorbeelden van dergelijke toepassingen zijn producten voor onderzoek naar cel- en moleculaire biologie of diensten voor toegepast onderzoek. In de *Custom Manufacturing* afdeling levert Lonza ingrediënten aangepast aan de noden van de klant. Deze ingrediënten worden dan verwerkt in bijvoorbeeld medicijnen. In de derde afdeling, *Life Science Ingredients*, worden onder andere producten gemaakt voor toepassingen in de voedingsindustrie. Het is dan ook in deze afdeling dat men zich bezighoudt met de productie van DHA uit algen. Lonza is een bedrijf dat zich bezighoudt met de vervaardiging van zeer uiteenlopende producten. Dit betekent dat de productie van DHA uit algen slechts een zeer klein segment uitmaakt van het totale productengamma.

Figuur 14 geeft een overzicht van de verkoopcijfers vanaf 2005 tot en met 2009. In het jaar 2009 bedroeg de totale opbrengst uit de verkoop ongeveer 2690 miljoen Zwitserse Frank. Omgerekend in euro is dit ongeveer 1793 miljoen euro. Vergelijken met het jaar 2008, liggen de verkoopcijfers in 2009 zo'n 247 miljoen CHF lager (of 175,65 miljoen euro). Zoals boven reeds vermeld, is de extractie van DHA uit algen slechts een zeer klein segment in vergelijking met andere activiteiten van Lonza. Dit leidt ertoe dat er geen concreet beeld kan geschept worden van de verkoop van algenproducten. Toch weten we dat de algenproducten onder de afdeling Life Science Ingredients valt. De verkoopwaarde van de producten uit de afdeling van Life Science Ingredients bedraagt 1038 miljoen CHF (Lonza Annual Report, 2009). Dit is 38,6 % van het volledige verkoopbedrag.



Figuur 14: Verkoopcijfer (in miljoen CHF) van Lonza voor de periode 2005-2009 (Lonza Annual Report, 2009).

Lonza verkoopt de DHA-olie die uit algen is geëxtraheerd onder de naam DHAid™. De microalgen (soort: *Ulkenia* sp.) worden gecultiveerd in fermentatievaten. Daarna wordt de algenmassa gedroogd. Ten slotte gebeurt er een zuivering van de biomassa, tot men algenolie bekommt. DHAid™ wordt over de markt verdeeld in 3 verschillende vormen (Freitas, 2008):

- LonzaDHA FNO (Functional Nutrition Oil): dit is een olie waarvan minstens 40 % van de totale vetzuren bestaat uit DHA. Deze DHA-olie is bedoeld om voedselproducten te verrijken.
- LonzaDHA CL (Clear Liquid): minstens 43 % van de totale vetzuren bestaat uit DHA. LonzaDHA CL is speciaal ontwikkeld om te verwerken in voedingssupplementen, maar kan ook gebruikt worden voor andere voedseltoepassingen (zoals voedselverrijking).
- LonzaDHA Dry: dit is een poeder die minstens 10% DHA bevat. Dit product is ontwikkeld met de bedoeling dat men DHA kan mixen met droge voeding, zoals voedingsdrankjes in poedervorm.

Informatie omtrent de afnemers van bovenstaande producten is evenwel niet beschikbaar.

3.2. De productiekost van omega-3 uit algen

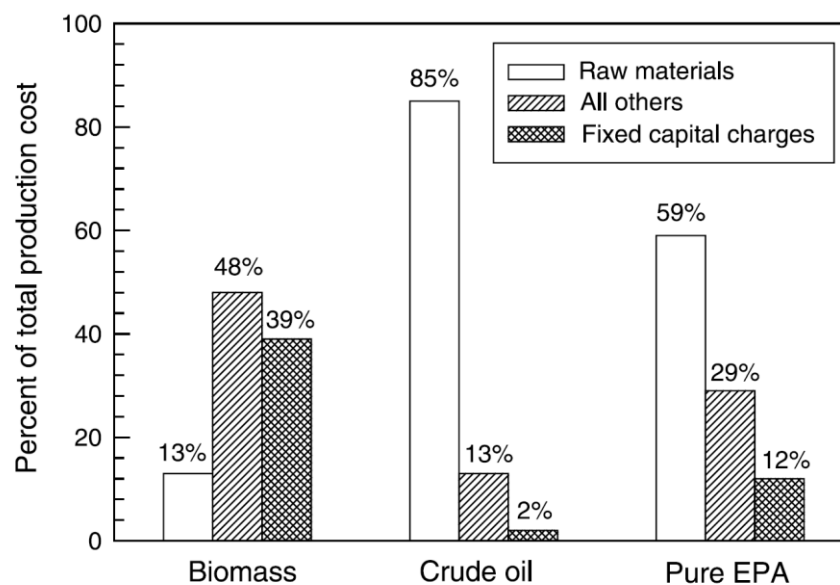
De bedrijven die omega-3 vetzuren uit algen vermarkten, geven geen gedetailleerde cijfers vrij van de productiekosten van omega-3 vetzuren. Daarom baseren we ons op een studie van Molina Grima et al. (2003). Alle resultaten die in deze paragraaf worden vermeld, komen dus van Molina et al. (2003). Zij hebben een systeem opgesteld die 430 kg EPA (96 % zuiver) kan produceren. Aan hand van dit productieproces berekenden ze de verschillende kosten die gepaard gaan met deze productie. Het productieproces werd opgesplitst in drie delen. Ten eerste de productie van de biomassa, dan de productie van de ruwe algenolie en als laatste de zuivering tot 96% zuivere EPA. De productie van 26,2 ton biomassa werd herleid 2620 kg ruwe algenolie, waarvan men tenslotte 430 kg EPA kon bekomen. Ook de kosten werden in deze categorieën onderverdeeld. Bijlage 3 geeft een volledig overzicht van alle kostenberekeningen. Hier worden enkel de resultaten weergegeven. Figuur 15 toont voor elke stap in het productieproces de kosten die gemaakt zijn in procent van de totale kosten van de desbetreffende stap (met *all others* wordt o.a. bedoeld: arbeidskosten, onderhoud, belastingen).

De kost voor de *productie van de biomassa* bedraagt \$ 32,16 per kg. De investeringen bedragen 39% van de totale kosten voor de productie van biomassa, terwijl 48% van de totale kosten dienen voor de vergoedingen van arbeid en dergelijke. De eerste stap kan dus beschouwd worden als zeer arbeidsintensief. Ook dient men rekening te houden met een serieuze investering.

De kost voor de *verwerking tot ruwe algenolie* bedraagt \$ 396,52 per kg. De grootste kosten zijn de uitgaven voor grondstoffen: 85 % van de totale kosten komen van de kosten voor de ruwe biomassa. Investerings en arbeidskosten blijven relatief laag in vergelijking met de grondstofkosten.

De kost voor de *zuivering tot EPA* bedraagt \$ 4602 per kg. De kosten voor ruwe grondstoffen liggen terug hoog: 59 % van de totale kosten. Dit komt door de hoge aankoopkost van de ruwe algenolie. Kosten voor arbeid en dergelijke bedragen 29 % van de totale productiekosten.

Het valt onmiddellijk op dat de kosten voor de productie van 96 % zuivere EPA zeer hoog liggen. We trachten deze cijfers te vergelijken met de kosten voor de productie van omega-3 vetzuren uit visolie. De prijs van visolie bepaalt immers de prijs van omega-3. Maar er is weinig informatie te vinden omtrent de gedetailleerde productiekosten van omega-3 uit visolie. Volgens Molina Grima et al. (2003) dient de productiekost van EPA uit algen met 80 % te dalen om ze competitief te maken met EPA uit visolie. Uit een onderzoek van Belarbi, Molina Grima & Chisti (2000) blijkt dat, indien de EPA uit algen competitief wilt zijn met EPA uit visolie, de prijs van de algenbiomassa niet meer mag bedragen dan \$ 5 per kilogram. In de studie van Molina Grima et al. (2003) bedraagt de prijs van de algenbiomassa \$ 32,16 per kilogram. Dit betekent dus dat productiekost veel te hoog ligt. Er dient echter opgemerkt te worden dat deze studies dateren van 2000 en 2003. De productiviteit van algenbiomassa kan de laatste jaren toegenomen zijn. Ook betreft het hier enkel een analyse van EPA uit algen, en niet van DHA uit algen.



Figuur 15: Percentage van de productiekosten van EPA uit algen in vergelijking met de totale productiekosten. Verdeeld volgens de verschillende stappen in productieproces (Molina Grima et al., 2003)

3.3. Ontwikkelingen in de algenindustrie

Naast de hierboven besproken bedrijven die zich specifiek toeleggen op de productie van omega-3 vetzuren uit algen, zijn er bedrijven die zich willen toeleggen op de productie van biobrandstoffen uit algen. De laatste jaren is er reeds veel onderzoek verricht naar de mogelijkheden om biobrandstoffen te produceren uit algen. Meer dan 50 bedrijven en 20 universiteiten zijn bezig met onderzoek naar het potentieel van algen (Edwards, 2009). Ongeveer 98 % van de algenindustrie concentreert zich op de productie van biobrandstoffen uit algen. Tot op heden is de effectieve productie echter zeer gering, met minder dan honderd vaten algenolie (Edwards, 2009). Nochtans is voor eenzelfde oppervlakte het productievolume van biobrandstoffen uit algen ongeveer tien maal groter dan het productievolume van de traditionele biobrandstoffen (ECOS, 2009). Volgens Raffaello Garofalo (Executive Director van de European Algae Biomass Association) zou het tien tot vijftien jaar duren eer de overgang gemaakt is (van productie in laboratoria) naar de productie op industriële schaal (Kovalyova, 2009). De productiekost van biobrandstoffen uit algen ligt tot op heden nog veel te hoog, namelijk tussen tien en dertig maal hoger dan de kosten voor de productie van andere biobrandstoffen (Kovalyova, 2009). Dit leidt ertoe dat de producenten van biobrandstoffen uit algen tot op heden niet kunnen concurreren met de traditionele biobrandstofproducenten.

Het huidige probleem is dus een te hoge productiekost voor biobrandstoffen uit algen. Productie van biobrandstoffen uit algen kan duurzaam, kostenefficiënt en zelfs winstgevend worden indien men deze productie combineert met andere toepassingen, zoals het reinigen van afvalwater of het isoleren van emissiegassen (vb. CO₂) (Mata et al., 2010). Dit is een *eerste ontwikkeling* in de algenindustrie die wordt besproken.

Emissiegassen als voedingsbron voor algen. Een studie van Zeiler et al. (1995) heeft aangetoond dat emissiegassen (met een hoge concentratie aan CO₂ en zwavel) kunnen gebruikt worden als voedingsbron voor de algen. Door middel van het proces van fotosynthese, zetten algen immers CO₂ om in energie. Men kan dus de uitgestoten gassen opvangen en gebruiken voor de productie van algen. Een voorbeeld van dergelijke toepassing is het Australisch bedrijf *MBD Energy Ltd.* (OriginOil Inc., 2010). Dit bedrijf is gespecialiseerd in Bio CCS (Carbon Capture & Sequestration²³). Enkele maanden geleden heeft dit bedrijf twee gepatenteerde

²³ Een proces waarbij de uitstoot van koolstofdioxide wordt opgevangen en wordt opgeslagen.

algenproductiesystemen aangekocht van OriginOil²⁴ (Quantum Fracturing™ en Single Step Extraction™). De bedoeling is om de emissiegassen die men opgevangen heeft, te gebruiken voor het cultiveren van algen. Deze algen kunnen dan worden gebruikt voor de productie van biobrandstoffen of omega-3 vetzuren. Men benut dus een opportuniteit door algen te produceren als nevenactiviteit. Het gevolg hiervan is dat op termijn de productiekosten voor algen kunnen dalen indien andere bedrijven volgen.

Afvalwater als voedingsbron voor algen. Bepaalde stoffen aanwezig in afvalwater (stikstof en fosfor) kunnen worden gebruikt als energiebron voor algen (Mata et al., 2010). De voorwaarde is wel dat het afvalwater geen zware metalen bevat. De combinatie van algenproductie en zuivering van afvalwater blijkt volgens Mata et al. (2010) een veelbelovende bedrijvigheid te zijn.

Met behulp van bovenstaande goedkope voedingsbronnen voor algen kan men de productiviteitskost van algen laten dalen. Dergelijke innovaties komen ook de producenten van omega-3 vetzuren en biobrandstoffen uit algen ten goede (Kovalyova, 2009). Zij kunnen immers profiteren van de goedkopere productieprocessen die op de markt komen.

Een tweede ontwikkeling in de algenindustrie is het fenomeen van samenwerking tussen onderzoekers en bedrijven of tussen bedrijven onderling. We geven hier twee voorbeelden.

Een eerste is een samenwerking tussen bedrijven, overheid en een universiteit. *Algal Fuels Consortium* (AFC) bestaat uit Sancon Recycling Pty Ltd, de overheid van Zuid-Australië, South Australian Research & Development Institute (SARDI), Flinders University, Commonwealth Scientific Industrial Research Organization (CSIRO) en Flinders Partners. AFC ontwikkelt systemen om algen te produceren op grote schaal. Nu is het consortium bezig met het opzetten van een kleinschalige bioraffinaderij die biobrandstoffen produceert. Daarnaast is het de bedoeling dat men hoogwaardige bijproducten produceert, zoals omega-3 vetzuren (Sancon Inc., 2009). Het tweede voorbeeld betreft de samenwerking tussen *BP en Martek*. BP heeft sinds augustus 2009 een samenwerkingsovereenkomst met Martek. BP maakt gebruik van de expertise van Martek voor de ontwikkeling van biobrandstoffen uit algen. De bedoeling is dat Martek en BP samen een rendabele biobrandstof maken met behulp van een fermentatieproces. De intellectuele eigendom die ontwikkeld wordt door Martek tijdens de samenwerkingsovereenkomst (van augustus 2009 tot minstens eind 2011) komt in het bezit van BP, en Martek krijgt in ruil een exclusiviteitscontract voor de commercialisatie van toepassingen in de voedingssector, cosmetica of farmaceutische sector. Ten slotte dient elk bedrijf een

²⁴ Ontwikkelt en verkoopt gepatenteerde systemen om algen op grote schaal te produceren.

bepaalde som te betalen indien men de technologie van het ander bedrijf wenst te commercialiseren (Martek Annual Report, 2009). Deze vorm van samenwerking is voordelig voor beide partijen. BP maakt gebruik van de gepatenteerde installaties en productieprocessen van Martek. Indien er, naast de biobrandstof, bepaalde hoogwaardige bijproducten kunnen worden geproduceerd, dan kan Martek deze overnemen en ze vermarkten.

Een laatste ontwikkeling betreft de bijproducten van biobrandstoffen uit algen. *OriginOil, Inc.*, bijvoorbeeld, is een bedrijf dat onlangs een nieuwe methode heeft ontwikkeld om biobrandstof te produceren uit algen. Het nieuwe productieproces van OriginOil laat toe om efficiënt biobrandstoffen te produceren en is rendabel. De olie die geproduceerd wordt, kan worden gebruikt voor bijvoorbeeld diesel, benzine, vliegtuigbrandstof of kunststoffen. De algenmassa die overblijft na de productie van biobrandstof, kan volgens OriginOil worden gebruikt voor ‘groene toepassingen’. Figuur 15 (OriginOil Inc., 2008) geeft de verschillende toepassingen weer die volgens OriginOil kunnen gebruikt worden bij algen. De biomassa kan, om de prijs van de biobrandstof uit algen te drukken, gebruikt worden voor toepassingen in de voedsel- of voedersector. Denk bijvoorbeeld aan de omega-3 vetzuren die uit deze biomassa kan worden geëxtraheerd.



Figuur 16: Overzicht van de toepassingen van algen, volgens OriginOil (OriginOil Inc., 2008).

3.4. Uitdagingen

De algenindustrie, en vooral de productie van omega-3 uit algen, is in volle ontwikkeling. Verschillende bedrijven investeren in onderzoek naar en ontwikkeling van algen. Het is immers een industrie met veel potentieel. Toch kunnen verschillende bedrijven weigerachtig staan tegenover de productie van omega-3 uit algen en de verrijking van voedsel met omega-3, want er zijn enkele uitdagingen waarmee de omega-3 industrie wordt geconfronteerd. De uitdagingen die hieronder worden beschreven zijn de patenten, de regelgeving van gezondheidsclaims en de marketing van voeding verrijkt met omega-3.

3.4.1. Patenten

Een patent van een bepaalde uitvinding is een vorm van intellectuele eigendom en verleent eigendomsrecht aan de uitvinder (USPTO²⁵, 2005). Hiermee wordt bedoeld dat de houder van een patent het recht heeft om anderen uit te sluiten van de productie, het gebruik en het verkopen van de uitvinding. Een patent verleent dus niet het recht om een bepaald product te produceren of te verkopen, maar verleent het recht om anderen uit te sluiten van deze productie of verkoop (USPTO, 2005). Daartegenover staat er een verplichting die de aanvrager van het patent dient na te leven. Deze verplichting houdt in dat men de uitgevonden technologie of het uitgevonden product dient openbaar te maken.

Het belangrijkste oogmerk van patenten is bedrijven stimuleren om te *innoveren*. Men beloont de uitvinders voor het verrichten van twee handelingen die ze zonder patenten nooit zouden gedaan hebben. Namelijk in de eerste plaats iets uitvinden, en in de tweede plaats de informatie met betrekking tot deze uitvinding openbaar maken (Fromer, 2009). De beloning die men hiervoor in de plaats krijgt, is dat het patent een tijdelijk en beperkt monopolie verleent aan de innovator. Het gevolg is dat degene die normaal weigerachtig staat tot het ontwikkelen van nieuwe technologieën (bijvoorbeeld omdat de kost van Research & Development zeer hoog ligt, of omdat men weet dat concurrenten deze technologie zullen imiteren) toch wordt aangezet tot innovatie (Fromer, 2009). Economisch gezien leiden patenten dus tot een trade-off: in ruil voor een bepaalde periode van marktexclusiviteit verleent de uitvinder informatie over het product of

²⁵ United States Patent and Trademark Office.

de productiemethode, zodanig dat andere bedrijven kunnen voortbouwen op de verworven kennis (Linton, Stone & Wise, 2008).

In de literatuur wordt er echter ook vermeld dat patenten een tegenwerkend effect kunnen creëren, namelijk dat ze innovatie eerder zouden afremmen.

Een *eerste* punt van kritiek is dat, volgens Edwards (2009), het gebruik van intellectuele eigendommen in de algenindustrie tot een *ondermijning van de samenwerking* tussen wetenschappers en/of bedrijven leidt. Hij voegt er nog aan toe dat verschillende bedrijven gedoemd zijn dezelfde productiefouten te blijven maken omdat de kennis wordt opgesloten in de vorm van intellectuele eigendommen (Edwards, 2009). Het gevolg is, volgens Edwards, dat sommige bedrijven hierdoor falen een rendabel productieproces op te stellen. Naar mijn mening heeft de bovenstaande auteur het niet volledig bij het rechte eind. Indien een bedrijf een patent heeft op een bepaald productieproces, dan dient hij deze openbaar te maken. De kennis wordt dus niet opgesloten, zoals Edwards vermeldde. Het is wel zo dat in de periode voorafgaand aan het patenteren de kennis geheim blijft (bijvoorbeeld door een geheimhoudingsverklaring) tot er effectief een patent is verkregen. Maar, zoals reeds vermeld, zijn patenten precies ingevoerd met de bedoeling informatie openbaar te maken (Fromer, 2009).

Een *tweede* kritiek op de patenten is het fenomeen van '*The tragedy of the anticommons*' (Heller & Eisenberg, 1998). Dit begrip verwijst naar het feit dat bepaalde middelen onderbenut worden doordat verschillende beheerders van patenten anderen uitsluiten van het gebruik van die middelen, terwijl niemand het privilege heeft die middelen te benutten (Heller & Eisenberg, 1998). Toegepast op de biotechnologische sector, en dus ook de algenindustrie, houdt dit het volgende in. Stel dat men verschillende productieprocessen nodig heeft om 1 bepaald goed te produceren. Indien verschillende bedrijven elk een patent hebben op elk een verschillend productieproces, dan is het niet mogelijk om het gewenste product te commercialiseren. De bedrijven blokkeren dan immers elkaars innovatie, waardoor er zich een onderbenutting voordoet (Heller & Eisenberg, 1998). Dit fenomeen kan zich voordoen in sectoren waar het innovatief proces sequentieel en cumulatief is (Linton, Stone & Wise, 2008). Empirische studies tonen echter aan dat het 'anticommons-effect' zich in de realiteit niet of in beperkte mate voordoet (Adelman & DeAngelis, 2007; Walsh, Cho & Cohen, 2005). In tegendeel, bedrijven en universiteiten zoeken samen naar oplossingen om toch onderzoek te kunnen uitvoeren in streng gepatenteerde sectoren (Linton, Stone & Wise, 2008).

Een *derde* punt van kritiek is de *hoge kost van de rechtsprocedures* die bedrijven aangaan indien er een inbreuk op hun patent is vastgesteld. Volgens de American Intellectual Property Law Association (AIPLA) kunnen de kosten van zo'n rechtsprocedure oplopen tot 1,5 miljoen USD voor elk van de partijen (Wang, Shih & Chuang, 2010). Martek ligt echter boven het gemiddelde niveau van gerechtskosten. In 2007 bedroegen de gerechtskosten ongeveer 2,3 miljoen USD. In 2008 lagen deze een pak minder, namelijk 1,6 miljoen USD. In het jaar 2009 liepen de kosten echter op tot 4,3 miljoen USD (Martek Annual Report, 2009). De kans wordt zeer groot geacht dat Martek in de komende jaren zich steeds meer zal moeten verdedigen tegen inbreuken op hun patenten en intellectuele eigendommen, waardoor de gerechtskosten zullen blijven oplopen (Martek Annual Report, 2009). Het is inderdaad zo dat deze kosten hoog liggen. Maar men kan hierbij de volgende bedenking maken: in het geval het bedrijf geen patenten heeft, weegt de winst uit het wegvallen van de gerechtskosten dan wel op tegen het verlies als gevolg van de lagere omzet en de lagere winstmarges? In het geval van Martek gaat deze redenering niet op, aangezien dit bedrijf een kleine gerechtskost heeft in vergelijking met de verkoopcijfers en aangezien ze een zeer groot aantal patenten in bezit heeft. Martek heeft immers wereldwijd ongeveer 350 patenten in bezit en er zijn ongeveer 500 patenten aangevraagd die nog moeten worden afgehandeld (Martek Annual Report, 2009). Het is dus aan te raden dat Martek blijft procederen tegen bedrijven die inbreuk plegen op hun patenten.

De bovenstaande punten van kritiek kunnen toch grotendeels worden weerlegd, zoals hierboven reeds is gedaan. Naast de weerlegging van bovenstaande kritieken, vindt men in de literatuur veel onderzoeken die het positief economisch effect van de patenten affirmeren.

Ten eerste stelt men dat gepatenteerde uitvindingen een positief effect hebben op de performantie en de waarde van het bedrijf (Wang, Shi & Chuang, 2010).

Ten tweede leidt het gebruik van patenten tot een bevordering van het investeren in de biotechnologie (Linton, Stone & Wise, 2008). Patenten zijn immers een goede maatstaf om de technologie van een bedrijf te evalueren en om de kans op commercieel succes na te gaan (Lerner, 1994). Een studie van Linton, Stone & Wise (2008) onderzocht de invloed van patenten op de ontwikkeling van de opkomende biotechnologische industrieën. De omega-3 markt valt hier dus ook onder. De conclusie was dat de bedrijven patenten als een van de minst belangrijke hindernissen beschouwen voor nieuwe investeringen in Research & Development of voor verdere commercialisatie van industriële biotechnologische producten (Linton, Stone & Wise, 2008).

Er kan dus worden besloten dat patenten geen hinderpaal vormen voor de ontwikkeling van nieuwe productieprocessen. Integendeel, het systeem van patenten leidt tot een verdere innovatie van de markt van omega-3. Dit betekent niet dat de bedrijven niet voor uitdagingen zullen komen te staan eens de patenten zullen vervallen.

Bekijken we eens het geval van Martek. De patenten die Martek nu bezit, vervallen tussen 2009 en 2026. Eind 2011 en in 2014 vervallen belangrijke patenten in verband met de productie van babyvoeding die DHA bevat. Het vervallen van deze patenten leidt ertoe dat, wetende dat een aantal bedrijven en universiteiten zich toeleggen op onderzoek naar toepassingen van productie van algen (Edwards, 2009), iedereen gebruik kan maken van hun technologie en dit maakt dus plaats voor nieuwe spelers op de markt. Het is dan aan Martek om hun klanten ervan te overtuigen niet over te stappen naar de concurrentie. Toename van de concurrentie zal dus ook leiden tot een daling van de marktprijs van omega-3 olie. Deze prijsdaling heeft tot gevolg dat de winstmarges op de producten Martek zullen dalen. Het is dan aan Martek om continue te investeren in Research & Development, zodanig dat er voortdurend rendabele productieprocessen voorhanden zijn die Martek dan eventueel kan patenteren.

3.4.2. Regelgeving van gezondheidsclaims

Functionele voeding wordt gedefinieerd als gemodificeerde voeding of een ingrediënt dat een gezondheidsvoordeel biedt ten opzichte van de niet-gemodificeerde, traditionele voeding (Powell, 2007). Deze voeding onderscheidt zich dus van de traditionele voeding door de fysiologische voordelen die de functionele voeding met zich meebrengt (Arvanitoyannis & Van Houwelingen-Koukaliaroglou, 2005). De voeding die verrijkt is met omega-3 vetzuren uit algen vallen ook onder de categorie functionele voeding. Zoals besproken in hoofdstuk 1 leidt de inname van omega-3 vetzuren immers tot verschillende gezondheidsvoordelen.

De producenten van functionele voeding trachten zich te distantiëren van andere bedrijven (die normale voeding produceren) door de nadruk te leggen op de gezondheidsvoordelen van hun product. Op het etiket van een bepaald functioneel voedingsproduct staan er dan ook gezondheidsclaims en/of voedingsclaims. Een gezondheidsclaim zegt iets over de relatie tussen een specifiek voedselbestanddeel en een ziekte of een gezondheidsgerelateerde eigenschap (Arvanitoyannis & van Houwelingen-Koukaliaroglou, 2005), terwijl een voedingsclaim informatie geeft over de samenstelling van het product. Deze claims dienen de consument ervan te overtuigen dat de dergelijke functionele voeding een meerwaarde biedt. Producenten van

functionele voeding dienen echter voorzichtig om te springen met claims. Producten waarvan het gezondheidsvoordeel niet of onvoldoende wetenschappelijk getest is of waarvan de gezondheidsclaims incorrect zijn of overdreven worden, zijn uit den boze (Arvanitoyannis & van Houwelingen-Koukaliaroglou, 2005). Zonder regelgeving van gezondheidsclaims zou eender welke producent kunnen spreken over een gezondheidsvoordeel van hun product, zonder dat ze bewijzen dienen voor te leggen. Dit kan leiden tot misbruik van het begrip functionele voeding en tot verkeerde productinformatie voor de consument. Dergelijke dubieuze functionele voeding leidt tot een vorm van kwakzalverij (Arvanitoyannis & van Houwelingen-Koukaliaroglou, 2005). Daarom is het aan de overheid om op te treden als regulator. De overheid dient de producenten bepaalde regels op te leggen zodat de consument goede en volledige informatie kan verkrijgen over het product.

Dit hoofdstuk behandelt de huidige regelgeving van functionele voeding in zowel Japan, de Europese Unie als de Verenigde Staten van Amerika. Deze regelgeving geldt bijgevolg ook voor voedingsproducten die verrijkt worden met omega-3 vetzuren.

3.4.2.1. Japan

De reden waarom Japan ook wordt besproken, is omdat dit land in 1991 als eerste een procedure implementeerde voor de goedkeuring en marketing van functionele voeding (IUFoST²⁶, 2009). De verkoop van functionele voeding wordt strikt geregeld door de Nutrition Improvement Act. De Japan Health Food and Nutrition Food Association moet richtlijnen geven aan de voedselbedrijven die een product als functionele voeding willen laten doorgaan (Arvanitoyannis & van Houwelingen-Koukaliaroglou, 2005). Het is dan aan het ministerie van gezondheid en welzijn om voedingsmiddelen als 'Foods for Specified Health Use' (FOSHU) te certificeren. FOSHU is een verzamelwoord voor alle functionele voeding. Deze FOSHU worden ingedeeld in verschillende categorieën, afhankelijk van welke invloed ze hebben op de gezondheid (IUFoST, 2009). Gezondheidsclaims mogen dan enkel en alleen worden toegepast op deze 'Foods for Specified Health Use'. Andere voedingsmiddelen mogen geen gebruik maken van gezondheidsclaims.

²⁶ International Union of Food Science & Technology: beschrijven zichzelf als een globale wetenschappelijke organisatie die meer dan 200.000 wetenschappers vertegenwoordigt uit meer dan 65 landen.

3.4.2.2. De Europese Unie

In december 2006 heeft het Europees Parlement de ‘Health and Nutrition Claims Legislation’ (1924/2006) goedgekeurd (Bech-Larsen & Scholderer, 2007). Er was immers nood aan een algemene Europese regelgeving. De verschillende regels die handelen over gezondheids- en voedingsclaims tussen de Europese landen kunnen leiden tot de belemmering van vrij verkeer van goederen en dus oneerlijke concurrentie tussen deze landen veroorzaken (European Parliament and the Council of the EU, 2006). Naast de nood aan harmonisering, dienden de consumenten ook beschermd te worden. De laatste jaren was er namelijk een algemene toename van voedingsproducten met gezondheids- en voedingsclaims. Om consumenten te beschermen en van voldoende informatie te voorzien, dienen deze producten veilig te zijn en voorzien te worden van voldoende informatie op het etiket (European Parliament and the Council of the EU, 2006).

De nieuwe regelgeving heeft betrekking op alle voedings- en gezondheidsclaims, inclusief:

- Commerciële communicatie zoals labels, presentatie en reclamecampagnes
- Handelsmerken en andere merknamen die kunnen beschouwd worden als voedings- of gezondheidsclaims.

(European Parliament and the Council of the EU, 2006)

De belangrijkste elementen in deze nieuwe regelgeving voor voedings- en gezondheidsclaims zijn de volgende. Ten eerste wordt er door de EFSA²⁷ een lijst opgesteld met de goedgekeurde gezondheidsclaims (Bech-Larsen & Scholderer, 2007). Op die lijst komen alle gezondheidsclaims waarvan degelijk bewezen is dat de inname van een bepaalde soort voedingsstof effectief gezondheidsvoordelen met zich meebrengt. Daarnaast zijn er ook nog de ‘novel health claims’, of vrij vertaald de ongekennde gezondheidsclaims. Met betrekking tot deze ‘ongekende’ gezondheidsclaims, dient men eerst een wetenschappelijke evaluatie te maken van het desbetreffende voedingsmiddel of –bestanddeel. Enkel de gezondheidsclaims waarvan voldoende bewijs is, worden door de EFSA toegelaten (Bech-Larsen & Scholderer, 2007). Een tweede belangrijk element betreft regelgeving van gezondheidsclaims waarvan er geen of onvoldoende bewijs is of waarvan de betekenis niet zinvol is. Gezondheidsclaims die niet bewezen zijn, mogen niet getoond worden op het etiket of mogen niet worden gebruikt als reclame (Bech-Larsen & Scholderer, 2007).

²⁷ European Food Safety Authority

3.4.2.3. De Verenigde Staten

In de Verenigde Staten is de term functionele voeding nog niet wettelijk erkend. Dit belet niet dat er bepaalde regels bestaan betreffende gezondheidsclaims. In 1990 werd de ‘Nutrition Labeling and Education Act’ (NLEA) geïmplementeerd, met als gevolg dat het toegelaten werd om gezondheidsclaims aan te duiden op het etiket. De voorwaarden zijn evenwel dat men betrouwbaar wetenschappelijk bewijs dient voor te leggen en dat de claims moeten worden goedgekeurd door de FDA (Arvanitoyannis & van Houwelingen-Koukaliaroglou, 2005). Tabel 8 geeft een overzicht van wat een bedrijf allemaal dient in te dienen bij de FDA om een bepaalde gezondheidsclaim te kunnen maken over hun product. Er is veel kritiek geweest op deze bureaucratische rompslomp. Het gevolg van deze kritiek is dat men dit proces vereenvoudigd heeft in 1997 met behulp van de ‘FDA Modernization and Accountability Act’ (FDAMA). Deze stelt dat de FDA verplicht is gezondheidsclaims toe te laten indien officiële agentschappen (zoals Centers for Disease Control (CDC), National Academy of Sciences (NAS) of National Institutes of Health (NIH)) een bepaalde studie hierover hebben uitgegeven en bewezen hebben dat de gezondheidsclaims degelijk gegrond zijn (Unnevehr & Hasler, 2000). De FDA wou nog een stapje verder gaan en de consumenten beter informeren over de voeding die ze aankopen. Daarom richtten ze in 2003 de Consumer Health Information for Better Nutrition Initiative op. Dit initiatief heeft twee belangrijke doelstellingen. Ten eerste is het de bedoeling dat de producenten van voeding de incentive hebben om claims te maken over hun product die gebaseerd zijn op wetenschappelijke studies. De tweede doelstelling is vermijden dat er valse of misleidende claims op het etiket worden gezet. Men tracht dit te vermijden door de producenten te vervolgen die dergelijke praktijken uitvoeren (Rose, 2008).

3.4.2.4. Besluit met betrekking tot de gezondheidsclaims

Uit de bovenstaande uiteenzetting van de regelgeving kan men besluiten dat er geen eenduidige regels bestaan met betrekking tot gezondheidsclaims. Wereldwijd zijn de verschillen in bepalingen nog altijd groot. Dit kan tot moeilijkheden leiden voor de producenten van functionele voeding. Het kan bijvoorbeeld zijn dat een gezondheidsclaim die toegelaten wordt in de Verenigde Staten niet wordt aanvaard in de Europese Unie. Dit leidt ertoe dat de producenten niet op alle markten wereldwijd kunnen opereren.

Een andere moeilijkheid voor de producenten bestaat erin dat de wetgeving strikt is. Er dienen zeer grondige wetenschappelijke studies uitgevoerd te worden vooraleer de gezondheidsclaims

Tabel 8: Overzicht van de aanvraag bij de FDA voor het maken van een health claim (Arvanitoyannis & van Houwelingen-Koukaliaroglou, 2005).

A. Preliminary requirements
● A complete explanation of how the substance has been authorized for use in the food supply (e.g., if it is a food additive)
B. Summary of scientific data
● Evidence of “significant scientific agreement” among experts about the health claim
● Target population and public health benefit to be derived
● Optimum levels of consumption, potential adverse effects for any segments of population
● Other nutrition and health factors that could interact with substance or food component of interest
● Potential changes in food and nutrient consumption if claim were made
C. Analytical data
● Amount of substance in foods which bear the claim
● Use AOAC methods or, if not available, submit data on assay used and its validity
D. Model health claim
● Brief statement of diet/health effect
● Statement of how substance helps consumer in context of total diet
E. Attachments
● Computer literature searches
● Copies of all articles cited
● Information on adverse consequences to any segment of population

worden toegelaten. Dit betekent dat omega-3 producerende bedrijven intensief moeten investeren in onderzoek en ontwikkeling. Martek, bijvoorbeeld, diende enkele jaren geleden een aanvraag in bij de EFSA om een gezondheidsclaim te mogen maken in verband met DHA en de ontwikkeling van de hersenen en ogen. De aanvraag was onderbouwd met een wetenschappelijke studie. Toch werd in 2008 deze gezondheidsclaim verworpen (Starling, 2008). Dit bewijst nogmaals dat bedrijven niet zomaar gezondheidsclaims kunnen maken en functionele voeding op de markt kunnen brengen. Hoewel dit een drempel vormt voor de bedrijven die toegang willen hebben tot de markt van functionele voeding, komt deze strikte regelgeving de consumenten ten goede. Het is ten slotte van belang dat er correcte informatie in verband met voeding wordt verleend aan de consument.

3.4.3. De marketing van omega-3 producten

Een andere uitdaging betreft de marketing van functionele voeding en van omega-3-verrijkte producten in het bijzonder. Volgens Menrad (2003) ligt het percentage van de hoeveelheid producten die geen marktsucces hebben (*product failure*) veel hoger in de sector van de functionele voeding dan in de traditionele voedingsmarkt. Dit wegens de grotere uitdagingen die gepaard gaan met de ontwikkeling en marketing van functionele voeding.

Een eerste belangrijke factor die het succes bepaalt van het product is de meerprijs van de functionele voeding ten opzichte van de traditionele voeding. Consumenten zijn bereid slechts een beperkte meerprijs te betalen voor functionele voeding (Menrad, 2003). Een hogere meerprijs wordt enkel getolereerd indien de functionele voeding een goed bewezen gezondheidsvoordeel heeft (Menrad, 2003). De vraag naar functionele voeding is dus afhankelijk van de meerprijs die men dient te betalen. Het is aan de producent om een evenwichtige keuze te maken tussen enerzijds de kostprijs en anderzijds de gezondheidsvoordelen.

Een tweede belangrijke factor betreft het bewustzijn van de consument (Arvanitoyannis & van Houwelingen-Koukaliaroglou, 2005). De producenten willen de consumenten bewust maken van het feit dat functionele voeding belangrijk is voor de gezondheid. Dit doen ze onder andere aan de hand van gezondheidsclaims, zoals reeds besproken. Toch is het bewust maken van de consument niet voldoende voor marktsucces. Ook al weet de consument dat functionele voeding goed is voor de gezondheid, hij zal daarom niet onmiddellijk afstappen van de traditionele merken die hij normaal koopt (Menrad, 2003). Ten derde is het belangrijk dat de functionele voeding zeer dicht aanleunt bij de conventionele voeding, bijvoorbeeld qua smaak. Hierdoor zal de consument vlugger geneigd zijn om zijn traditionele voedingsgewoontes naast zich neer te leggen en over te schakelen op functionele voeding (Menrad, 2003)

Er kan dus besloten worden dat de verkoop van functionele voeding een succes wordt indien: de meerprijs niet te hoog ligt, de consumenten zich bewust zijn van het gezondheidsvoordeel en indien de functionele voeding dicht aanleunt bij de traditionele voeding.

Algemeen besluit

Omega-3 vetzuren hebben een positieve invloed op het menselijk lichaam. Een verhoogde inname van omega-3 leidt tot een daling van het risico op cardiovasculaire ziekten en is cruciaal voor de ontwikkeling van de hersenen en het netvlies. Omega-3 wordt ook toegepast voor de behandeling van bepaalde soorten kanker. De westerse bevolking neemt te weinig omega-3 vetzuren op in hun lichaam. De dagelijks aanbevolen inname van omega-3 ligt een stuk hoger dan de effectieve inname. Bedrijven spelen hierop in door producten aan te bieden die verrijkt worden met omega-3 vetzuren. Dergelijke producten vallen onder de categorie functionele voeding.

Er zijn drie belangrijke bronnen van omega-3 vetzuren: visolie, planten en algen. Visolie is tot op heden de belangrijkste bron van omega-3. 85% van het totale aanbod van omega-3 wordt gehaald uit visolie. Deze olie bepaalt dan ook de prijs van omega-3. Belangrijke leveranciers van omega-3 uit visolie zijn Ocean Nutrition, Lipid Nutrition en DSM. Maar er zijn ook enkele nadelen verbonden aan visolie. Visolie kan schadelijke stoffen bevatten en de productie van visolie brengt de visvoorraden in gevaar. Het gevolg is dat diverse bedrijven op zoek gaan naar alternatieven. Een eerste alternatief zijn planten en Genetic Modified Organisms. De planten kunnen zodanig genetisch gemanipuleerd worden, dat ze een hogere concentratie van omega-3 vetzuren aanmaken. Deze markt is nog in volle expansie. Bedrijven zoals Monsanto en Solae LLC zijn volop bezig met het commercialiseren van dergelijke genetisch gemodificeerde planten.

Het tweede alternatief voor visolie zijn algen. Algen bevatten een hoge concentratie omega-3 vetzuren en de nadelen die besproken werden bij visolie doen zich bij de algen niet voor. Vooral microalgen worden gebruikt om omega-3 te produceren. Microalgen zijn eencellige algen. Er wordt geschat dat er ongeveer 50.000 soorten microalgen bestaan, terwijl er nog maar 30.000 effectief onderzocht zijn. De productie van omega-3 uit algen gebeurt in drie stappen. Eerst worden de algen gecultiveerd, daarna gebeurt de recuperatie van de biomassa en tenslotte wordt de omega-3 uit de biomassa geëxtraheerd. Er zijn weinig cijfers bekend omtrent de productiekost van omega-3 uit algen. Volgens een studie liggen de productiekosten nog zeer hoog vergeleken met de productiekost van omega-3 uit visolie. De productiekosten van omega-3 uit algen dienen 80% te dalen om competitief te zijn met omega-3 uit visolie. Er dient evenwel opgemerkt te worden dat deze studie reeds zeven jaar oud is. Efficiëntere productieprocessen kunnen

misschien al bestaan. Verder onderzoek naar de kostenefficiëntie van deze productieprocessen is dan ook aan te raden.

De globale marktwaarde van omega-3 uit algen wordt geschat op ongeveer \$ 139 miljoen en neemt elk jaar toe. De twee grote spelers op de markt van omega-3 uit algen zijn Martek (VSA) en Lonza (Zwitserland). *Life'sDHA™* is het belangrijkste op algen gebaseerde product van Martek. 78 voedingsbedrijven verwerken dit product in hun voedingsmiddelen. De andere grote speler, namelijk Lonza, verkoopt haar omega-3 uit algen onder de naam LonzaDHA. Het aantal aanbieders van omega-3 uit algen is dus tot op heden beperkt. Een oorzaak hiervan kunnen de patenten zijn van Martek en Lonza. Deze patenten verbieden andere bedrijven productieprocessen van Martek en Lonza te gebruiken. Van zodra deze patenten vervallen, kunnen nieuwe spelers op de markt treden.

Er doen zich ook nieuwe ontwikkelingen voor in de algenindustrie. Het gaat hier bijvoorbeeld om de productie van biobrandstoffen uit algen. Deze biobrandstoffen kunnen echter nog niet concurreren met de traditionele biobrandstoffen. Er wordt geschat dat biobrandstoffen uit algen slechts binnen 10 jaar op de markt zullen komen. Om deze productiemethodes rendabeler te maken, kan men bijvoorbeeld de bijproducten van de algenproductie vermarkten aan andere bedrijven. Een andere ontwikkeling betreft de productie van algen gecombineerd met water- of luchtzuivering.

De markt van omega-3, en dus ook de markt van functionele voeding, staat voor een aantal uitdagingen. Er dient voldoende geïnvesteerd te worden in R&D, zodat men bepaalde productieprocessen kan ontwikkelen en deze ook kan patenteren. Indien dit niet gebeurt, bestaat het gevaar erin dat bedrijven niet kunnen toetreden tot de markt. Een andere uitdaging betreft de regelgeving met betrekking tot het maken van gezondheidsclaims. In de laatste twee decennia is er namelijk wereldwijd een striktere regeling ingevoerd. Ten slotte dienen de bedrijven de consumenten ervan te overtuigen dat producten verrijkt met omega-3 een positieve invloed hebben.

De markt van omega-3 zal de komende jaren nog altijd uitbreiden. Ook de algenindustrie kent een blijvende expansie. Voor de bedrijven die omega-3 uit algen produceren, ziet de toekomst er dus rooskleurig uit. Men dient evenwel rekening te houden dat een voortdurende investering in onderzoek en ontwikkeling noodzakelijk is om het productieproces nog rendabeler te maken.

Lijst van geraadpleegde werken

- Adelman D., DeAngelis K.L., 2007, Patent Metrics: The mismeasure of innovation in the biotech patent debate, *Texas Law Review*, juni 2007, Vol. 85, Nr. 7, pp. 1677-1744.
- Apt K.E., Behrens P.W., 1999, Commercial developments in microalgal biotechnology, *Journal of Phycology*, Vol. 35, pp. 215-226.
- Arvanitoyannis I.S., Van Houwelingen-Koukaliaroglou M., 2005, Functional Foods: a survey of health claims, pros and cons, and current legislation, *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, Vol. 45, pp. 385-404.
- Bang H.O., Dyerberg J., 1980, Lipid metabolism and ischemic heart disease in Greenland Eskimos. In: Draper HH, editor. *Advances in nutrition research*. New York: Plenum Publishing; 1980, pp. 1-22.
- Bang H.O., Dyerberg J., Nielsen A.B., 1971, Plasma lipid and lipoprotein pattern in Greenlandic West-Coast Eskimos. *The Lancet*, Vol. 297, Nr. 7710, pp. 1143-1146.
- Bech-Larsen T., Scholderer J., 2007, Functional foods in Europe: consumer research, market experiences and regulatory aspects, *Trends in Food Science & Technology*, Vol. 18, pp. 231-234.
- Belarbi E.H., Molina E., Chisti Y., 2000, A process for high yield and scaleable recovery of high purity eicosapentaenoic acid esters from microalgae and fish oil, *Enzyme and Microbial Technology*, Vol. 26, pp. 516-529.
- Berquin I.M., Edwards I.J., Chen Y.Q., 2008, Multi-targeted therapy of cancer by omega-3 fatty acids, *Cancer Letters*, Vol. 269, pp. 363-377.
- Bimbo A.P., 2007, Current and future sources of raw materials for the long-chain omega-3 fatty acid market, *Lipid Technology*, Vol. 19, Nr. 8, pp. 176-179.
- Borowitzka M.A., 1999, Commercial production of microalgae: ponds, tanks, tubes and fermenters, *Journal of Biotechnology*, Vol. 70, pp. 313-321.
- Brownawell A.M., Harris W.S., Hibbeln J.R., Klurfeld D.M., Newton I., Yates A., 2009, Assessing the environment for regulatory change for eicosapentaenoic acid and docosahexaenoic acid nutrition labeling, *Nutrition Reviews*, Vol. 67, Nr. 7, pp. 391-397.
- Drimmer G., 2009, Omega-3 Soybean oil closer to commercial reality for Monsanto and Solae, URL: <<http://www.glggroup.com/News/Omega-3-Soybean-Oil-Closer-To-Commercial-Reality-For-Monsanto-and-Solae-44523.html>>. (07/03/2010).
- ECOS, 2009, In Brief: Biodiesel from algae: plant gets a boost, oktober-november 2009, Vol.151, p.8.
- Edwards M., 2009, The Algal Industry Survey, Centre for Management Technology, februari 2009, 29p.

Eriksen N.T., 2008, The technology of microalgal culturing, *Biotechnology Letters*, Vol. 30, pp. 1525-1536.

European Parliament and the Council of the EU, 2006, Regulation (EC) No 1924/2006 of the European Parliament and the Council of 20 December 2006 on nutrition and health claims made on food, *Official Journal of the European Union*, 30/12/2006, L 404/9 – L 404/25.

FAO, 1995, Code of Conduct for Responsible Fisheries, FAO, Rome, Italië, 41 p.

FAO, 2008, The state of world fisheries and aquaculture Part 1: World review of fisheries and aquaculture, FAO, Rome, Italië, 84 p.

Fedačko J., Pella D., Mechírová V., Horvath P., Rybár R., Varjassyová P., Vargová V., 2007, n-3 PUFA's: From dietary supplements to medicines, *Pathophysiology*, Vol. 14, pp. 127-132.

Food Product Design, 2009, SDA Omega-3 Soybean oil now GRAS, URL: <<http://www.foodproductdesign.com/news/2009/10/sda-omega-3-soybean-oil-now-gras.aspx>>. (05/03/2010).

Freitas U., 2008, Vegetarian DHA is good for you, *Innovations in Food Technology*, mei 2008, 2 p.

Fromer J.C., 2009, Patent Disclosure, *Iowa Law Review*, Vol. 94, pp. 539-606.

GISSI-Prevenzione Investigators, 1999, Dietary supplementation with n-3 polyunsaturated fatty acids and vitamin E after myocardial infarction: results of the GISSI-Prevenzione trial., *The Lancet*, Vol. 354, pp. 447–55.

Givens D.I., Gibbs, R.A., 2008, Current intakes of EPA and DHA in European populations and the potential of animal-derived foods to increase them, *Proceedings of the Nutrition Society*, Vol. 67, pp. 273-280.

Gumz J., 2010, Lawsuit claims PCBs found in 10 fish oil supplements: product labeling sought, URL: <http://www.mercurynews.com/ci_14501591?source=most_viewed&nclick_check=1>. (01/03/2010).

Harris W., Mozaffarian D., Lefevre M., Toner C., Colombo J., Cunnane S., Holden J., Klurfeld D., Morris M., Whelan J., 2009, Towards establishing Dietary Reference Intakes for Eicosapentaenoic and Docosahexaenoic Acids, *The Journal of Nutrition*, Vol. 139, pp. 804-819.

Heller L., 2008, Supply: Where Omega-3 comes from, URL: < <http://www.nutraingredients-usa.com/On-your-radar/Omega-3/Supply-Where-omega-3-comes-from>>. (27/02/2010).

Heller M.A. & Eisenberg R.S., 1998, Can patents deter innovation? The anticommons in biomedical research, *Science*, Vol. 280, mei 1998, pp. 698-701.

Holub B.J., 2002, Clinical nutrition: 4. Omega-3 fatty acids in cardiovascular care, *Canadian Medical Association Journal*, Vol. 166, Nr. 5, pp. 608-615.

Holub B.J., 2009, Docosaehaenoic acid (DHA) and cardiovascular disease factors, Prostaglandins, Leukotrienes and Essential Fatty Acids, Vol. 81, pp. 199-204.

Hooper L., Thompson R.L., Harrison R.A., Summerbell C.D., Ness A.R., Moore H.J., Worthington H.V., Durrington P.N., Higgins J.P.T., Capps N.E., Riemersma R.A., Ebrahim S.B.J., Smith G.D., 2006, Risks and benefits of omega 3 fats for mortality, cardiovascular disease and cancer: systematic review, British Medical Journal, maart 2006, 9 p.

IFFO, 2008, The healthiest omega-3s EPA & DHA are found mainly in fish oil and fish meal, Hertfordshire, United Kingdom, 20 p.

Ismail A., Rice H., 2010, Fish oil & sustainability: a true story: media outlets continue to float concerns regarding the increasing demand of omega 3s and the negative impact on sustainability, but there's more to the story, Nutraceuticals World, 1 maart 2010.

IUFoST, 2009, Functional Foods, IUFoST Scientific Information Bulletin, June 2009, 9 p.

Jackson A., 2009, The continuing demand for sustainable fishmeal and fish oil in aquaculture diets, International Aquafeed, september-oktober 2009, pp. 32-37.

Kolanowski W., Laufenberg G., 2006, Enrichment of food products with polyunsaturated acids by fish oil addition, European Food Research & Technology, Vol. 222, pp. 472-477.

Kovalyova S., 2009, European body sees algae fuel industry in 10-15 years, Press release, Reuters, URL: <<http://www.reuters.com/article/idUSTRE5526HY20090603>>. (03/05/2010).

Kris-Etherton P.M., Harris W.S., Appel L.J., 2003, Fish consumption, fish oil, omega-3 fatty acids and cardiovascular disease, Arteriosclerosis Thrombosis and Vascular Biology, Vol. 23, pp. 20-30.

Lerner J., 1994, The importance of patent scope: an empirical analysis, Journal of Economics, zomer 1994, Vol.25, Nr.4, pp.319-333.

Linton K., Stone P. & Wise J., 2008, Patenting trends & innovation in industrial biotechnology, Industrial Biotechnology, Vol. 4, No. 4, pp. 367-390.

Lonza Group AG, 2009, Annual Report, 122 p.

.
Martek Biosciences Corporation, 2009, Annual Report, 124p.

Mata T.M., Martins A.A., Caetano N.S., 2010, Microalgae for biodiesel production and other applications: A review, Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol. 14, pp. 217-232.

Moghadasian M.H., 2008, Advances in dietary enrichment with n-3 fatty acids, Critical reviews in Food Science and Nutrition, Vol. 48, Nr. 5, pp. 402-410.

Molina Grima E., Belarbi E.-H., Ación Fernández F.G., Robles Medina A., Yusuf Chisti, 2003, Recovery of microalgal biomass and metabolites: process options and economics, Biotechnology Advances, Vol. 20, pp. 491-515.

Monograph, 2009, Docosahexaenoic Acid (DHA), *Alternative Medicine Review*, Volume 4, pp. 391-399.

MVO, 2010, Omega-3 vetzuren: samenstelling, werking en bronnen, URL: <www.vettefeiten.nl/images/watisvet-1.gif>. (19/02/2010).

Napier J.A., 2006, The production of n-3 long-chain polyunsaturated fatty acids in transgenic plants, *European Journal of Lipid Science and Technology*, Vol. 108, Issue 11, pp. 965-972.

Oilgae, 2007, Algae basics: about algae, URL: <<http://www.oilgae.com/algae/algae.html>>. (28/03/2010).

OriginOil Inc., 2008, Typical uses of Algae oil and biomass, URL: <<http://www.originoil.com/applications/overview.html>>. (10/05/2010).

OriginOil Inc., 2010, Key customers, URL: <<http://www.originoil.com/about-us/partners/key-customers.html>>. (12/05/2010).

Powell K., 2007, Functional Foods from biotech – an unappetizing prospect?, *Nature Biotechnology*, mei 2007, Vol. 25, Nr. 5, pp. 525-531.

PR Newswire, 2003, SemBioSys executes development agreement with Martek Biosciences, URL: <http://newsroom.martek.com/index.php?s=press_releases&item=16&printable>. (12/04/2010).

Robert S.S., 2006, Production of Eicosapentaenoic and Docosahexaenoic Acid-Containing Oils in Transgenic Land Plants for Human and Aquaculture Nutrition, *Marine Biotechnology*, April 2006, Vol. 8, pp. 103-109.

Rose D., 2008, Consumer Health Information and Better Nutrition, *Life Alert*, URL: <<http://www.lifealert.net/articles/HealthInfo.html>>. (10/05/2010).

Rubio-Rodríguez N., Beltrán S., Jaime I., de Diego S.M., Sanz M.T., Carballido J.R., 2010, Production of omega-3 polyunsaturated fatty acid concentrates: A review, *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, Vol. 11, pp.1-12.

Ruxton C.H.S., Derbyshire E., 2009, Latest evidence on omega-3 fatty acids and health, *Nutrition & Food Science*, Vol. 39, Nr. 4, pp. 423-438.

Ruxton C.H.S., Reed S.C., Simpson M.J.A., Millington K.J., 2007, The health benefits of omega-3 polyunsaturated fatty acids: a review of the evidence, *Journal of Human Nutrition and Dietetics*, Vol.20, Issue 3, pp. 275-285.

Sancon Inc., 2009, Algal Fuels Consortium (AFC) won \$2.724M in Australia Government's Development Grant, URL: <<http://www.sanconinc.com/pdf/August%2020,%202009.pdf>>. (08/05/2010).

Shahidi F., 2005, Omega-3 fatty acids: Chemistry and nutritional significance, *FoodTech International*, URL: <<http://www.foodtech-international.com/papers/omega-3.htm>>. (15/03/2010).

Siddiqui, Harvey & Zaloga, 2008, Modulation of enzymatic activities by n-3 polyunsaturated fatty acids to support cardiovascular health, *Journal of Nutritional Biochemistry*, Vol. 19, pp. 417-437.

Simopoulos A.P., 1999, Essential fatty acids in health and chronic disease, *American Journal for Clinical nutrition*, Vol. 70, pp. 560-569.

Simopoulos A.P., 2002, The importance of the ratio of omega-6/omega-3 essential fatty acids, *Biomed Pharmacother*, Vol. 56, pp. 365-379.

Smit L.A., Mozaffarian D., Willet W., 2009, Review of fat and fatty acids requirements and criteria for developing dietary guidelines, *Annals of Nutrition & Metabolism*, Vol. 55, pp.44-55.

Spolaore P., Joannis-Cassan C., Duran E., Isambert A., 2006, Review: Commercial Applications of Microalgae, *Journal of Bioscience and Bioengineering*, Vol. 101, Nr.2, pp. 87-96.

Starling S., 2008, Martek responds to rejected omega-3 health claim, *NutraIngredients-USA*, URL: <<http://www.nutraingredients-usa.com/Regulation/Martek-responds-to-rejected-omega-3-health-claim>>. (12/05/2010).

STOWA, 2010, Effluentpolishing met algentechnologie, rapportnr. 2009-w08, 128p.

Tapiero H., Nguyen B.G., Couvreur P., Tew K.D., 2002, Polyunsaturated fatty acids and eicosanoids in human health and pathologies, *Biomedicine & Pharmacotherapy*, Vol. 56, pp. 215-222.

The Economist, 2009, The parable of the sower, 21/11/2009, Vol. 393, Issue 8658, 6p.

Unnevehr L.J. & Hasler C., 2000, Health claims and labeling regulation: how will consumers learn about functional foods?, *AgBioForum*, Vol.3, Nr.1, pp. 10-13.

USPTO, 2005, General information concerning patents: what are patents?, URL: <<http://www.uspto.gov/web/offices/pac/doc/general/#ptsc>>. (14/05/2010).

Van der Wal E.E., Van de Werf F., Zijlstra F, 2008, *Cardiologie*, Bohn Stafleu van Loghum, Houten, 2^{de} herziene druk, 522 p.

Walsh J.P., Cho C., Cohen W.M., 2005, View from the bench: patents and material transfers, *Science*, September 2005, Vol. 309, Nr. 5743, pp. 2002-2003.

Wang Y.-H., Shih K.-H., Chuang Y.-H., 2010, Market Behavior of patent infringement litigation, *African Journal of Business Management*, April 2010, Vol. 4, Nr. 4, pp. 390-395.

Ward O.P., Singh A., 2005, Omega-3/6 fatty acids: Alternative sources of production, *Process Biochemistry*, Vol. 40, pp. 3627-3652.

Wen Z.-Y., Chen F., 2003, Heterotrophic production of eicosapentaenoic acid by microalgae, *Biotechnology Advances*, Vol. 23, pp. 273-294.

Whitman D.B., 2000, Genetically Modified Foods: Harmful or helpful?, CSA, Discovery Guide, April 2000, 13 p.

Wijffels R.H., 2007, Potential of sponges and microalgae for marine biotechnology, Trends in Biotechnology, Vol. 26, Nr.1, pp. 26-31.

Zeiler K.G., Heacox D.A., Toon S.T., Kadam K.L., Brown L.M., 1995, Use of microalgae for assimilation and utilization of carbon dioxide from fossil fuel-fired power plant flue gas, Energy Conversion and Management, Vol. 36, pp. 707-712.

Bijlage 1: Overzicht van de producten die *life'sDHA™* bevatten

(overgenomen van de website www.martek.com)

Product	Bedrijf
<i>Voedsel en dranken</i>	
ABC Infant Yogurt	Central Lechera Asturiana
Beechnut Cereal	Beech-Nut
Beechnut Jars	Beech-Nut
Beechnut Toddler Beverages	Beech-Nut
Bon appetit Children's Juice Beverage	Bon Appetit
Cabot reduced fat cheddar cheese with Omega-3 DHA	Cabot Creamery
Challenge Spreadable Butter	Challenge Dairy
Crisco Puritan Canola Oil	J.M Smucker Company
Dempster's Smart Bread	Dempster
Dr. Dave's mega-O Truffle	Dr. Dave's
Essential for Kids Chocolate Milk with DHA omega-3 & Calcium	Shamrock Farms
Essential for Kids Milk with DHA omega-3 & Calcium	Shamrock Farms
Essential for Life Milk with omega-3	Shamrock Farms
Farm Pride Omega-3 Eggs	Farm Pride
ToBe Healthy Sauces	Francesco Rinaldi
Fujisan Fresh Sushi	Fuji Foods Products, Inc.
Glenny's Marshmallow Treats	Glenny's
Gold Circle Farms®	Hidden Villa
Happy Bellies Organic baby food	HappyBaby
Horizon Organic®	WhiteWave Foods
Junior Horlicks	GlaxoSmithKline
Kids-Pro Nutrition Drink	British Biologicals
Marks & Spencer Omega-3 Eggs	Marks & Spencer
Minute Maid ® Enhanced Pomegrenate Blueberry Juice	Coca-Cola Company
Mission Life Balance Flour Tortillas	Mission
Mother's Horlicks	GlaxoSmithKline
Natrel Omega-3 DHA	Agropur
Oakdell Farm Omega-3 Eggs	Oakdell Farm
Omega To Go Drink Mix	To Go Brands
Oroweat 9 Grain Bread with <i>life'sDHA</i>	Bimbo Bakeries
Pediasure Children's Beverage	Abbott Laboratories
Plum Organics	Plum Organics
Pompeian OlivExtra Plus	Pompeian
Priegola Simbi Omega-3	Ganaderia Priegola
Pura Kids	National Foods
Quiznos Dressing & Sauces	Quiznos
Sara Lee Soft & Smooth Plus	Sara Lee Food & Beverage

Silk Soymilk	WhiteWave
Silk Fortified Soy Beverage Plus Omega-3 DHA	WhiteWave
So Good Soy Milk	Soyaworld
Star Fine Foods Extra Virgin Olive Oil	Star Fine Foods
Stremicks Heritage Foods Organic Milk	Stremicks Heritage Foods
Stremicks Heritage Foods 8th Continent Soymilk Complete	Stremicks Heritage Foods
Tounyu	Marusan-Al Co.
Vaalia My First Yoghurt	Parmalat Australia
Vaalia Yoghurt for Toddlers	Parmalat Australia
	Vemma Nutrition
Vemma NEXT	Company
Via Biona ORAC ChocBloc	Vitamin Shop Direct
Wellness Hamburger	Dalco Food B.V.
Xocai MEGA Chocolate Bar	MXI Corp.
Yo on the Go	Whitney's Foods, Inc.
ZenSoy Soy on the Go	Zensoy
<i>Prenatale voeding</i>	
Annum Materna	Fonterra
Be Nice Prenatal Drink Mix	BeNice
Belly Bar Chews	Nutrabella
Belly Bar Nutrition bars	Nutrabella
Belly Bar Shakes	Nutrabella
CitraNatal Assure	Mission Pharmacal
CitraNatal DHA	Mission Pharmacal
CitrNatal Prenatal 90+DHA	Mission Pharmacal
CVS Lif Fitness <i>life'sDHA</i>	CVS
CVS Women's Prenatal + DHA	CVS
CVS-DHA prenatal Supplement	CVS
	Meade Johnson
Expecta	Nutritionals
Gestalys DHA	PharmaNutra
Gesticare DHA	Azur Pharma
Gravigil DHA	Instituto Ganassini
Natelle Plus with DHA	Azur Pharma
	Alavan Pharmaceutical
PreferaOB+DHA	LLC
Pregnium	Walmart
PRO-PL Protein Supplement	British Biologicals
Spectrum's Prenatal DHA	Hain Celestial Group
Vitafof OB+DHA	Everett Laboratories
Walgreen's Prenatal + DHA	Walgreen's
<i>Voeding voor zuigelingen</i>	
Earth's Best Organic Soy with DHA & ARA	Hain Celestial Group
Enfamil LIPIL	Meade Johnson

Nestle Good Start Suprem with DHA & ARA	Nestle USA
Similac Advance	Abbott Nutrition
Ultra Bright Beginnings Lipids	PBM Products, LLC
Voedingssupplementen	
<i>life'sDHA</i> 200mg softgel	Martek Biosciences
<i>life'sDHA Kids 100 mg softgel</i>	Martek Biosciences
Basset's Soft & Chewy Omega-3 DHA	Bassett's
Nature's Goodness Baby Food	Bay Valley Foods
Buona Olia	Steve Jones
Cerebrum Supplements	Healthspan
CVS Life Fitness <i>life'sDHA</i> - 50+ Multivitamin	CVS
CVS Life Fitness <i>life'sDHA</i> - Energy Multivitamin	CVS
CVS Life Fitness <i>life'sDHA</i> - Complete Multivitamin	CVS
CVS Life Fitness Plant-pure Double Strength DHA	CVS
Deva Vegan Omega-3 DHA	Deva
DHA Richoil	DMF
Dr. Fuhman's DHA Purity	Dr. Fuhrman
Golden Health DHA Gold	Golden Health
Haliborange Omega-3 for infants	Sevens Seas
Nan-Omega-3	BioPharma
Nature's Way Neuromins	Nature's Way
O-Mega-Zen	NuTru
Oilsmart Flax/DHA Blend Supplements	Renew Life
	Research Based
	Supplement
Omega-3 First	FitoForm
Omega-3 Vegetal	Source Omega
Pure One	Hain Celestial Group
Spectrum's Chewable Children's DHA	Hain Celestial Group
Spectrum's Flax Oil With DHA	Hain Celestial Group
Spectrum's Toddler DHA	Hain Celestial Group
Spectrum's Vegetarian DHA	Hain Celestial Group
Udo's Choice DHA Oil Blend	Udo's Choice
Walgreen's Finest Natural - DHA Complete	Walgreen's
Walgreen's Finest Natural Men's 50+ Advanced	Walgreen's
Walgreen's Finest Natural Men's Multi	Walgreen's
Walgreen's Finest Natural Triple Strength	Walgreen's
Walgreen's Finest Natural Women's 50 + Advanced	Walgreen's
Walgreen's Finest Natural Women's Multi	Walgreen's
Yummi Bears Organics	Hero Nutritionals

Bijlage 2: Overzicht van de microalgen en hun overeenkomstige concentratie van EPA en DHA

(Wen & Chen, 2003)

Microalgen	EPA (in % van de totale meervoudige onverzadigde vetzuren)	DHA (in % van de totale meervoudige onverzadigde vetzuren)
Chrysophyceae		
<i>Monochrysis lutheri</i>	19	-
<i>Pseudopedinella sp.</i>	27	-
<i>Coccolithus huxleyi</i>	17	-
<i>Cricosphaera carterae</i>	20	-
<i>C. elongata</i>	28	-
<i>Isochrysis galbana</i>	15	7,5
Eustigmatophyceae		
<i>Monodus subterraneus</i>	32,9	-
<i>Nannochloropsis sp.</i>	35	-
<i>Nannochloris sp.</i>	27	-
<i>N.salina</i>	15	-
Chlorophyceae		
<i>Chlorella minutissima</i>	45	-
Prasinophyceae		
<i>Hetermastrix rotunda</i>	28	7
Cryptophyceae		
<i>Chromonas sp.</i>	12	6,6
<i>Cryptomonas maculata</i>	17	-
<i>Cryptomonas sp.</i>	16	10
<i>Rhodomonas sp.</i>	8,7	4,6

Bijlage 3: Overzicht van de productiekosten van EPA uit algen (Molina Grima et al., 2003)

Major equipment list and costs for algal biomass production

Item	Delivered cost (\$)	No. of units	Total cost	% of MEC
1. Photobioreactors (0.8 m ³)	3524	75	264,300	30.0
2. Centrifuge (24 bowl, solids discharge, s.s., 2.99 m ³ /h)	123,949	2	247,898	28.1
3. Medium filter unit (5.99 m ³ /h)	18,014	1	18,014	2.0
4. Medium feed pumps (0.04 m ³ /h)	349	75	26,175	3.0
5. Medium preparation tank (19.96 m ³)	34,814	3	104,442	11.9
6. Harvest broth storage tank (19.96 m ³)	34,814	3	104,442	11.9
7. Centrifuge feed pumps (2.99 m ³ /h)	841	2	1682	0.2
8. Air compressors (240 m ³ /h)	26,103	3	78,309	8.9
9. Harvest biomass conveyer belts	7100	2	14,200	1.6
10. Seawater pump station (5.99 m ³ /h)	13,661	1	13,661	1.6
11. Carbon dioxide supply station (27.4 kg/h)	3006	1	3006	0.3
12. Weighing station	2366	1	2366	0.3
13. Biomass silos (0.07 m ³)	1370	2	2740	0.3
Total MEC (\$)			881,235	

Total and annual fixed capital for biomass production

Item	Cost (\$)	% of A
1. Major purchased equipment (MEC)	881,235	29.2
2. Installation costs (at 0.3 MEC)	264,371	8.8
3. Instrumentation and control (at 0.1 MEC)	88,124	2.9
4. Piping (at 0.3 MEC)	264,371	8.8
5. Electrical (at 0.1 MEC)	88,124	2.9
6. Buildings (at 0.3 MEC)	264,371	8.8
7. Yard improvements (at 0.1 MEC)	88,124	2.9
8. Service facilities (at 0.2 MEC)	176,247	5.8
9. Land (at 0.06 MEC)	52,874	1.8
10. Engineering and supervision (at 0.25 MEC)	220,309	7.3
11. Construction expenses (at 0.1 $\sum$ items 1–9)	216,784	7.2
12. Contractor's fee (at 0.05 $\sum$ items 1–9)	108,392	3.6
13. Contingency (at 0.06 total fixed capital investment)	180,888	6.0
Total fixed capital investment, A (\$)	3,014,803	96.0
Item	Cost (\$)	% of B
Depreciation (at ($\sum$ items 1–8, 10–13)/10 years)	284,134	85.6
Property tax (at 0.01 depreciation)	2841	0.9
Insurance (at 0.006 depreciation)	1705	0.5
Debt service (none, 100% equity capital)	0	0.0
Purchase tax ((at 0.16 of items 1–12)/10)	43,413	13.1
Total fixed capital per year, B (\$)	332,093	

Direct costs of biomass production

Raw materials	Total quantity (kg)	Cost (\$)	% of C
1. Culture medium (at \$0.5883/kg)	65,500	38,534	34.9
2. Carbon dioxide (at \$0.4706/kg)	96,940	45,620	41.3
3. Media filters (at \$70.59/unit)	210 units	14,824	13.4
4. Air filters (at \$94.12/unit)	105 units	9883	9.0
5. Other consumables (at \$117.65/kg)	13	1529	1.4
Total raw materials cost, C (\$)		110,390	
Utilities	Total quantity	Cost (\$)	% of D
6. Cooling water (included in pumping station)	408,196	0	0
7. Power (at \$0.05883/kW h)	99,822 kW h	5873	100
Total, D (\$)		5873	
Others	Total quantity	Cost (\$)	% of E
8. Labor (at \$16/h, 1 shift)	3 persons	140,160	35.6
9. Supervision (at 0.2 labor)		28,032	7.1
10. Payroll charges (at 0.25 (labor + supervision))		42,048	10.7
11. Maintenance (at 0.04 MEC)		35,249	8.9
12. Operating supplies (at 0.004 C)		442	0.1
13. General plant overheads (at 0.55 (labor + supervision + maintenance))		111,893	28.4
14. Tax (at 0.16 items 1–7, 11 and 12)		24,312	6.2
15. Contingency (at 0.05 items 1–7)		5813	1.5
16. Marketing (not included)		0	0.0
17. Wastewater treatment (at \$0.59/m ³)	10,480 m ³	6183	1.6
Total, E (\$)		394,133	
Total production cost, F (B (Table 4) + C + D + E) (\$)		842,488	
Unit cost of producing biomass (\$/kg)		32.16	

Major equipment list and costs for production of crude esterified algal oil

Item	Delivered cost (\$)	No. of units	Total cost	% of MEC
1. Ethanol tank (1.5 m ³ , carbon steel)	2404	1	2404	4.6
2. Acetyl chloride tank (1 m ³ , carbon steel)	1881	1	1881	3.6
3. Reactor (2 m ³ , 66 psig, jacketed)	5242	1	5242	10.0
4. Hexane storage tanks (60 m ³)	11,613	2	23,226	44.3
5. Holding tank (2.5 m ³ , carbon steel)	3434	1	3434	6.5
6. Evaporator (50 ft ²)	14,622	1	14,622	27.9
7. Condenser (shell and tube, 5 m ²)	1678	1	1678	3.2
Total MEC (\$)			52,487	

Total and annual fixed capital for production of crude esterified algal oil

Item	Cost (\$)	% of <i>A</i>
1. Major purchased equipment (MEC)	52,487	24.9
2. Installation costs (at 0.4 MEC)	20,995	10.0
3. Instrumentation and control (at 0.15 MEC)	7873	3.7
4. Piping (at 0.4 MEC)	20,995	10.0
5. Electrical (at 0.1 MEC)	5249	2.5
6. Buildings (at 0.45 MEC)	23,619	11.2
7. Yard improvements (at 0.12 MEC)	6298	3.0
8. Service facilities (at 0.2 MEC)	10,497	5.0
9. Land (at 0.06 MEC)	3149	1.5
10. Engineering and supervision (at 0.3 MEC)	15,746	7.5
11. Construction expenses (at 0.1 $\sum$ items 1–9)	15,116	7.2
12. Contractor's fee (at 0.05 $\sum$ items 1–9)	7558	3.6
13. Contingency (at 0.08 total fixed capital investment)	16,852	8.0
Total fixed capital investment, <i>A</i> (\$)	210,648	98.0

Item	Cost (\$)	% of <i>B</i>
Depreciation (at ($\sum$ items 1–8, 10–13)/10 years)	20,329	85.8
Property tax (at 0.01 depreciation)	203	0.9
Insurance (at 0.006 depreciation)	122	0.5
Debt service (none, 100% equity capital)	0	0.0
Purchase tax ((at 0.16 of items 1–12)/10)	3033	12.8
Total fixed capital per year, <i>B</i> (\$)	23,687	

Direct production costs of crude esterified algal oil

Raw materials	Total quantity	Cost (\$)	% of <i>C</i>
1. Algal biomass, kg (at \$32.16/kg)	26,200	842,592	95.0
2. Ethanol, m ³ (at \$784.70/m ³)	33	25,895	2.9
3. Acetyl chloride, m ³ (at \$1533/m ³)	7	10,731	1.2
4. Hexane, m ³ (at \$364.7/m ³)	20	7294	0.8
Total raw materials cost, <i>C</i> (\$)		886,512	

Utilities	Total quantity	Cost (\$)	% of <i>D</i>
5. Cooling water, m ³ (\$0.0294/m ³)	5790	170.226	43.2
6. Steam, kg (at \$0.0049/kg)	39,300	192.57	48.9
7. Power, kW h (at \$0.05883/kW h)	524	31	7.8
Total, <i>D</i> (\$)		394	

Others	Total quantity	Cost (\$)	% of <i>E</i>
8. Labor (at \$16/h, 1 shift)	1 person	46,720	36.4
9. Supervision (at 0.2 labor)		9344	7.3
10. Payroll charges (at 0.25 (labor+supervision))		14,016	10.9
11. Maintenance (at 0.04 MEC)		2099	1.6
12. Operating supplies (at 0.004 <i>C</i>)		3546	2.8
13. General plant overheads (at 0.55 (labor+supervision+maintenance))		31,990	24.9
14. Tax (at 0.16 $\sum$ items 2–7, 11 and 12)		7993	6.2
15. Contingency (at 0.1 $\sum$ items 2–7)		4431	3.5
16. Marketing (not included)		0	0.0
17. Spent biomass (kg) disposal (at \$350/ton)	23,318	8161	6.4
Total, <i>E</i> (\$)		128,302	

Total production cost, <i>F</i> (<i>B</i> (Table 7)+<i>C</i>+<i>D</i>+<i>E</i>) (\$)	1,038,894
Unit cost of producing esterified oil (\$/kg)	396.52

Major equipment list and costs for producing purified EPA

Item	Delivered cost (\$)	No. of units	Total cost	% of MEC
1. Ethanol tank (1.5 m ³ , carbon steel)	2404	1	2404	0.5
2. Acetyl chloride tank (1 m ³ , carbon steel)	1881	1	1881	0.4
3. Reactor (2 m ³ , 66 psig, jacketed)	5242	1	5242	1.0
4. Hexane storage tanks (60 m ³)	11,613	2	23,226	4.6
5. Holding tank (2.5 m ³ , carbon steel)	3434	1	3434	0.7
6. Acetone storage (4 m ³ , carbon steel)	5016	1	5016	1.0
7. Chromatography system (stainless steel 304)	260,247	1	260,247	51.1
8. Slurry tank with mixer (1.5 m ³ , carbon steel)	4447	1	4447	0.9
9. Silica gel/ethanol slurry tank with mixer (1 m ³ , carbon steel)	2846	1	2846	0.6
10. Activated silica gel storage silo (2.5 m ³ , carbon steel)	3638	1	3638	0.7
11. Evaporator (150 ft ²)	33,331	1	33,331	6.5
12. Evaporator (1000 ft ²)	131,762	1	131,762	25.9
13. Condenser (shell and tube, 50 m ²)	9435	1	9435	1.9
14. Condenser (shell and tube, 10 m ²)	2989	1	2989	0.6
15. Dryer (100 lb/h)	19,808	1	19,808	3.9
Total MEC (\$)			509,706	

Total and annual fixed capital for producing purified EPA

Item	Cost (\$)	% of <i>A</i>
1. Major purchased equipment (MEC)	509,706	24.9
2. Installation costs (at 0.4 MEC)	203,882	10.0
3. Instrumentation and control (at 0.15 MEC)	76,456	3.7
4. Piping (at 0.4 MEC)	203,882	10.0
5. Electrical (at 0.1 MEC)	50,971	2.5
6. Buildings (at 0.45 MEC)	229,368	11.2
7. Yard improvements (at 0.12 MEC)	61,165	3.0
8. Service facilities (at 0.2 MEC)	101,941	5.0
9. Land (at 0.06 MEC)	30,582	1.5
10. Engineering and supervision (at 0.3 MEC)	152,912	7.5
11. Construction expenses (at 0.1 $\sum$ items 1–9)	146,795	7.2
12. Contractor's fee (at 0.05 $\sum$ items 1–9)	73,398	3.6
13. Contingency (at 0.08 total fixed capital investment)	163,650	8.0
Total fixed capital investment, <i>A</i> (\$)	2,045,620	

Item	Cost (\$)	% of <i>B</i>
Depreciation (at ($\sum$ items 1–8, 10–13)/10 years)	197,413	85.8
Property tax (at 0.01 depreciation)	1974	0.9
Insurance (at 0.006 depreciation)	1184	0.5
Debt service (none, 100% equity capital)	0	0.0
Purchase tax ((at 0.16 of $\sum$ items 1–12)/10)	29,457	12.8
Total fixed capital per year, <i>B</i> (\$)	230,028	

Direct costs of producing purified EPA

Raw materials	Total quantity	Cost (\$)	% of <i>C</i>
1. Crude algal oil, kg (at \$396.52/kg)	2620	1,038,882	89.4
2. Silica gel, kg (at \$6.6/kg)	1100	7260	0.6
3. Silver nitrate, kg (at \$529.4/kg)	100	52,940	4.6
4. Acetone, m ³ (at \$419.4/m ³)	20	8388	0.7
5. Hexane, m ³ (at \$364.7/m ³)	150	54,705	4.7
Total raw materials cost, <i>C</i> (\$)		1,162,175	
Utilities	Total quantity	Cost (\$)	% of <i>D</i>
6. Cooling water, m ³ (\$0.0294/m ³)	69,600	2046	34.3
7. Steam, kg (at \$0.0049/kg)	670,421	3285	55.0
8. Power, kW h (at \$0.05883/kW h)	10,897	641	10.7
Total, <i>D</i> (\$)		5972	
Others	Total quantity	Cost (\$)	% of <i>E</i>
9. Labor (at \$16/h, 1 shift)	2 persons	93,440	16.1
10. Supervision (at 0.2 labor)		18,688	3.2
11. Payroll charges (at 0.25 (labor + supervision))		28,032	4.8
12. Maintenance (at 0.04 MEC)		20,388	3.5
13. Operating supplies (at 0.004 <i>C</i>)		4649	0.8
14. General plant overheads (at 0.55 (labor + supervision + maintenance))		72,884	12.6
15. Tax (at 0.16 $\sum$ items 2–8, 12 and 13)		24,688	4.3
16. Contingency (at 0.1 $\sum$ items 2–8)		12,927	2.2
17. Marketing (at 0.02 $\sum$ items 1–15)		304,912	52.5
Total, <i>E</i> (\$)		580,607	
Total production cost, <i>F</i> (<i>B</i> (Table 10) + <i>C</i> + <i>D</i> + <i>E</i>) (\$)		1,978,783	
Unit cost of producing esterified oil (\$/kg)		4602	

