

Technologie en grondstoffen voor vleesvervangers en hoogwaardige eiwitten

BO-08-008-002

D. Stegeman, A.M. Janssen (Wageningen UR - AFSG)

J.P.F.G. Helsper, I.M. van der Meer (Wageningen UR - PRI)

H.R.J. van Kernebeek (Wageningen UR - LEI)

Rapport 1179

Colofon

Titel	Technologie en grondstoffen voor vleesvervangers en hoogwaardige eiwitten BO-08-008-002
Auteur(s)	D. Stegeman, A.M. Janssen, J.P.F.G. Helsper, I.M. van der Meer, H.R.J. van Kernebeek
Nummer	1179
ISBN-nummer	978-90-8585-756-3
Publicatiedatum	Aug 2010
Vertrouwelijk	Nee
Goedgekeurd door	Herman Peppelenbos

Wageningen UR Food & Biobased Research
P.O. Box 17
NL-6700 AA Wageningen
Tel: +31 (0)317 480 084
E-mail: info.fbr@wur.nl
Internet: www.wur.nl

© Wageningen UR Food & Biobased Research, instituut binnen de rechtspersoon Stichting Dienst
Landbouwkundig Onderzoek

Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand of openbaar gemaakt in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, hetzij mechanisch, door fotokopieën, opnamen of enige andere manier, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de uitgever. De uitgever aanvaardt geen aansprakelijkheid voor eventuele fouten of onvolkomenheden.

All rights reserved. No part of this publication may be reproduced, stored in a retrieval system of any nature, or transmitted, in any form or by any means, electronic, mechanical, photocopying, recording or otherwise, without the prior permission of the publisher. The publisher does not accept any liability for inaccuracies in this report.

Samenvatting

Een belangrijke doelstelling van de Nederlandse regering is zorg te dragen voor een duurzame consumptie en productie van voedsel. Gedeeltelijk zal dit bewerkstelligd kunnen worden door een transitie in de consumptie van dierlijke eiwitten naar duurzaam geproduceerde dierlijke en plantaardige eiwitten. De gewenste groei in productie en consumptie van plantaardige alternatieven voor vlees wordt op dit moment ondermeer nog niet bereikt omdat de huidige vleesvervangers niet voldoende voldoen aan de wensen van de consumenten. Hiernaast is er te weinig kennis beschikbaar over het produceren van vleesalternatieven uit verschillende mogelijke grondstoffen of is deze kennis te fragmentarisch gerapporteerd om toegepast te kunnen worden. Om over dit laatste meer inzicht te verschaffen is in deze studie een inventarisatie gemaakt van mogelijke grondstoffen en technologieën voor de productie van duurzame eiwitproducten voor humane voeding; eiwitproducten die ter vervanging van minder duurzame vleesproducten geconsumeerd kunnen worden. De studie is uitgevoerd in opdracht van het Ministerie van LNV, programma duurzame voedselsystemen.

De inventarisatie toont dat er diverse plantaardige grondstoffen bestaan die hiervoor in aanmerking komen, waarbij Leguminosen zaden (peulvruchten) vanwege hun hoge eiwitgehalte en in mindere mate granen het meest geschikt lijken te zijn. Bij een uiteindelijke selectie zullen ook aspecten als smaak (na verwerking) en kostprijs in beschouwing genomen moeten worden genomen. Technologisch gezien zullen meeste Leguminosen en granen op gelijksoortige manier verwerkt kunnen worden als soja en tarwe. Voor sommige van deze grondstoffen bestaat wat betreft verwerking al enige wetenschappelijke kennis en praktische ervaring. De grote hoeveelheid kennis die bestaat over toepassingen van soja en tarwe zal verder uitgebreid en vertaald moeten worden naar andere grondstoffen om te komen tot producten die (nog) beter aansluiten bij de wensen van de consument wat betreft vezeligheid en sappigheid. Tot op heden worden veel vegetarische producten met behulp van extrusie en conventionele vleesapparatuur bereid. Hiermee wordt een structuur verkregen die vezelachtig is, maar in veel gevallen duidelijk minder of “anders” vezelig is dan vlees. Nieuwe ontwikkelingen, in grondstof zoals bij Quorn en Valess, en technologie zoals bij natte extrusie en de shear cell reactor, maken het mogelijk de vleesstructuur nog beter te benaderen. Extra onderzoek blijft nodig om de vleesstructuur nog beter te benaderen, zeker als gebruik gemaakt gaat worden van nieuwe grondstoffen.

Naast granen en Leguminosen zijn er tijdens de inventarisatie nog tal van andere plantaardige bronnen naar voren gekomen die verdere studie verdienen. Koolzaad en zonnebloempitten lijken bijvoorbeeld zeer geschikt. Nadeel is dat deze bronnen relatief duur zijn wat onder andere veroorzaakt wordt door hun toepassing als grondstof voor biodiesel. Ook paddenstoelen, algen en insecten zijn goede kandidaten en hun potentieel moet duidelijk verder uitgediept worden. Voor een ander potentiële grondstof, insecten, laat het Ministerie van LNV op dit moment een onderzoek uitvoeren. Macroalgen hebben het additionele voordeel dat ze een goede vetzuursamenstelling hebben met een hoog gehalte aan ω -3 PUFAs, inclusief visvetzuren als

eicosapentaeen zuur (EPA, C20:5). Ten slotte dienen ook de mogelijkheden van grassen en reststromen, die nu als veevoer of helemaal niet worden gebruikt, verder onderzocht te worden. De reststromen kunnen weer onderverdeeld worden in de huidige reststromen (zoals snijafval of reststromen van aardappelzetmeelindustrie), en de toekomstige reststromen wanneer de transitie naar een Biobased Economy doorgang gaat vinden. Bij veel van deze grondstoffen bestaat nog weinig of geen kennis over de eiwitsamenstelling, de winning van eiwit en verdere verwerking. Ook is de samenstelling van deze stromen vaak zeer variabel (zowel de variatie in soort als de samenstelling van de verschillende soorten). Waar voor toepassingen voor biobrandstoffen of veevoer deze variatie nog redelijk gemakkelijk op te lossen is (bijv. door menging), worden aan de uitgangsstof voor de productie van getextureerde eiwitproducten voor menselijke consumptie meer eisen gesteld wat betreft functionele naast (anti-) nutritionele eigenschappen en variatie hierin. Belangrijk is dat, om deze reststromen geschikt te maken voor humane consumptie, al in het begin van het extractie proces gebruik gemaakt moet worden van scheidingstechnieken die er voor zorg dragen dat de gewenste functionaliteit/eigenschappen voor verdere verwerking van de eiwitfractie richting vezelige humane producten behouden (verkrege) worden, alleen dan kan deze stroom ingezet worden om voedsel te produceren. Hiervoor moeten wellicht milde extractietechnieken ontwikkeld worden.

Er moet verder rekening mee gehouden worden dat, op het moment dat voedingsmiddelen uit deze grondstoffen bereid kunnen worden, deze producten niet direct op de markt gebracht kunnen worden. De producten zullen onder de verordening Nieuwe Voedingsmiddelen vallen, wat inhoudt dat eerst aangetoond moet worden dat de producten volledig veilig zijn voor humane consumptie. Dit vergt extra tijd voor onderzoek naar de voedingskundige- en veiligheidsaspecten van het product, naast tijd voor de officiële aanvraagprocedure.

Concluderend wordt op de korte termijn de kans voor een groei in de consumptie van plantaardige alternatieven voor vlees vooral gezien door een verbetering van de verwerkingstechnologie; in eerste instantie van soja (en tarwe) en in een later stadium van andere Leguminosen en granen. Voor de langere termijn worden de kansen vooral gezien in toepassing van nieuwe plantaardige bronnen als koolzaad, zonnebloemen, paddenstoelen, algen, landbouwreststromen en reststromen van biobased gewassen en van insecten. Voor het nuttig gebruik van veel van deze grondstoffen is het aanbevelingswaardig het onderzoek zo in te steken dat rekening gehouden wordt met de eisen die gesteld worden aan de grondstoffen voor verdere verwerking tot zowel voedingsmiddelen, diervoeders als biobrandstoffen.

Inhoudsopgave

Samenvatting	3
1 Inleiding	7
2 Potentiële grondstoffen	10
2.1 Agronomische facetten, inhoudsstoffen en voedselveiligheid van traditionele grondstoffen	11
2.1.1 Soja	11
2.1.2 Koolzaad	12
2.1.3 Erwtten	12
2.1.4 Lupine	13
2.1.5 Linzen	14
2.1.6 Veldbonen	14
2.1.7 Tarwe (gewoon/ durum) en spelt	14
2.1.8 Gerst	15
2.1.9 Haver	16
2.2 Agronomische facetten, inhoudsstoffen en voedselveiligheid van nieuwe grondstoffen	16
2.2.1 Zonnebloemen	16
2.2.2 Paddenstoelen/Schimmels	17
2.2.3 Algen	18
2.2.4 Grassen	20
2.2.5 Kweekvlees	21
2.2.6 Insecten	21
2.3 Agronomische facetten, inhoudsstoffen en voedselveiligheid van nieuwe reststroom grondstoffen	23
2.3.1 Landbouwreststromen	23
2.4 Economische facetten (Handelsstromen en –prijzen)	24
2.4.1 Productie	24
2.4.2 Handelsstromen	25
2.4.3 Handelsprijzen	30
2.4.4 Conclusies en discussie	31
2.5 Conclusie	32
3 Potentiële verwerkingstechnologieën	33
3.1 Opwerking van de grondstof/winning van de eiwitten	33
3.1.1 Droge scheiding	33
3.1.2 Natte scheiding	33
3.1.3 Toepassing op potentiële grondstoffen	34
3.2 Verdere verwerking	35
3.2.1 Extruderen	35
3.2.2 Spinnen	37

3.3	Fermentatie	38
3.4	Conventionele vleestechnologie	39
3.5	Andere technologieën in ontwikkeling	39
3.6	Conclusies	40
4	Nieuwe voedingsmiddelen	42
4.1	Autorisatie	42
4.2	Notificatie	43
4.3	Praktische implicaties van de verordening	43
4.4	Geplande wijzing in de procedure	43
5	Conclusie en discussie	45
5.1	Aanbevelingen voor beleid en verder onderzoek	49
	Literatuur	51
	Bijlagen	55

1 Inleiding

De productie van dierlijke eiwitten (vlees, zuivel en eieren) levert een onevenredig grote belasting van het ecosysteem. Dit is vooral te wijten aan de inefficiënte omzetting van voedereiwit naar dierlijk eiwit. Zo is voor 1 kg kippenveleseiwit ca. 2,5 kg plantaardig eiwit nodig en voor varkensveleseiwit ca. 3,3 kg. Daarnaast wordt bij productie van dierlijke eiwitten het ecosysteem extra zwaar belast door gebruik van grondstoffen, watergebruik, uitstoot van verontreinigende stoffen, mineralenoverschotten, uitstoot van broeikasgassen en voedselverliezen. De mondiaal toenemende consumptie van dierlijke eiwitten door groei van de wereldbevolking en van de welvaart (bijv. in industrialiserende landen als China en India) zal, bij ongewijzigd beleid, de druk op het ecosysteem verder doen toenemen en is van invloed op de voedselzekerheid. Een efficiëntere en meer duurzame productie van dierlijke eiwitten zal maar voor een deel tot vermindering van het probleem leiden. Een ander deel van de oplossing zal moeten komen door een significante verschuiving in de productie en consumptie van dierlijke eiwitten naar plantaardige eiwitten (zie ook Ministerie LNV, Beleidsagenda Duurzame Voedselsystemen).

Deze productie en consumptie van duurzaam geproduceerde hoogwaardige plantaardige eiwitten als vleesvervangers neemt al jaren gestaag toe. De stijging komt echter nog lang niet overeen met de gewenste verschuiving. De reden hiervoor moet zowel aan de vraag- als de aanbodzijde gezocht worden. Enerzijds is de geringe consumptie waarschijnlijk te wijten aan het feit dat de huidige vleesvervangers nog niet in voldoende mate voldoen aan de wensen van de consument. Anderzijds is er te weinig kennis over mogelijke grondstoffen en verwerkingstechnologieën om te komen tot hoogwaardige plantaardige eiwitten als vleesvervangers - die vervolgens ook nog moeten voldoen aan de wensen van de consument. Waar deze kennis wel aanwezig is, bestaat deze veelal slechts fragmentarisch.

Om aan deze verschuiving via kennis en innovatie invulling te geven heeft het Ministerie van Landbouw, Natuurbeheer en Voedselkwaliteit (als representant van het interdepartementale – LNV, VROM, OS – programma Duurzame Voedselsystemen), Wageningen University & Research Centre gevraagd het onderliggende project uit te voeren, en zijn in de afgelopen periode, ook in opdracht van het Ministerie, meerdere projecten gestart naar onder andere de productie van plantaardige vleesvervangers en onderzoek naar toepassingsmogelijkheden voor insecten en algen.

Doel van de huidige studie is meer inzicht te verkrijgen in welke grondstoffen, technologieën en agro-foodketens het meest kansrijk zijn voor de productie van vleesvervangers en hoogwaardige (planten, algen, schimmels, nieuwe dierlijke, etc.) eiwitten in Nederland. De studie bestaat uit een inventarisatie van grondstoffen, technologieën en agrofoodketens die het meest kansrijk zijn, waarbij mogelijkheden en risico's zijn meegewogen. Er is ook rekening gehouden met het ontstaan van nieuwe plantaardige eiwitreststromen door een toenemende 'biobased economy' waarbij energie, chemicaliën en grondstoffen uit biomassa gehaald worden in plaats van aardolie

en -gas. De resultaten kunnen door LNV en marktpartijen toegepast worden bij (beleid gericht op) de ontwikkeling van hoogwaardige en innovatieve eiwitproducten.

Om de potentie van de eiwitgrondstoffen als substantiële eiwitbron voor de Nederlandse consument in kaart te brengen worden in deze studie de volgende vraagstellingen beantwoord:

1. Wat is de beschikbaarheid van deze eiwitbronnen?
 - a. Hoe gangbaar is het gewas in de regio (Europa en in sommige gevallen wereldwijd)
 - b. Hoe hoog is de opbrengst, in gewicht/ha en €/ha, van de eiwitbronnen en welke factoren kunnen van invloed zijn op de stabiliteit van deze opbrengst (weersinvloeden, maar ook ziektebestendigheid)
2. In hoeverre kunnen de eiwitbronnen ingezet worden voor humane consumptie?
 - a. Aanwezigheid van mogelijke andere, niet-eiwit, inhoudsstoffen met positieve of juist negatieve nutritionele eigenschappen
3. Zijn de eiwitbronnen economisch gezien inzetbaar als grondstof voor duurzame eiwitproducten?
 - a. Hoe verlopen de huidige handelsstromen van deze eiwitbronnen binnen (en buiten) Europa?
 - b. Wat is de prijs van deze eiwitbronnen?
 - c. Hoe hoog is het eiwitgehalte in de alternatieve eiwitbronnen?
4. Hoe zijn de eiwitbronnen te verwerken tot voedingsmiddelen (vleesalternatieven)?

De eiwitbronnen worden in drie groepen verdeeld: de traditionele grondstoffen, de potentieel nieuwe grondstoffen en de potentieel nieuwe restgrondstoffen. De onderverdeling van de grondstoffen naar deze drie groepen staat weergegeven in Tabel 1. Enkele grondstoffen worden nader gespecificeerd; bijvoorbeeld bij de granen wordt een onderverdeling gemaakt naar meel en graankorrels. Deze indeling in drie groepen geldt voor het hele rapport, tenzij anders wordt aangegeven. In dit project wordt hoofdzakelijk aandacht besteed aan Europese grondstoffen. In sommige gevallen zoals bij soja, koolzaad, tarwe, harde tarwe en zonnebloemen worden de grondstoffen (voornamelijk) buiten Europa geteeld.

Tabel 1 Belangrijke potentiële grondstoffen voor duurzame eiwitten.

Grondstof

Traditionele grondstoffen

Oliezaden

Sojabonen

Sojaschroot

Koolzaad

Eiwitpeulvruchten

Groene erwten

Linzen

Bonen

Kikkererwten

Granen

Tarwe, harde tarwe en spelt (meel en graankorrels)

Grondstof

Gerst

Haver (meel en graankorrels)

Potentieel nieuwe grondstoffen

Paddenstoelen

Insecten (cellen)

Algen en wieren

Kweekvlees

Potentiële nieuwe restgrondstoffen

Snijafval, loof, gras

Zonnebloemen (zaden)

Reststromen biobrandstoffen productie

2 Potentiële grondstoffen

Onderstaande tabel geeft een overzicht van de hoofdvoedingscomponenten en een schatting van de opbrengst in oogstbaar product per hectare en de daaraan gekoppelde financiële opbrengst na aftrek van kosten.

Tabel 2 Samenstelling en opbrengst van potentiële grondstoffen.

	Eiwit* g/kg FW*	Vet* g/kg FW	Koolhydr* g/kg FW	Vezels* g/kg FW	Opbrengst** ton/ha in NL	Netto opbrengst ** €/ha in NL
<i>Traditionele grondstoffen</i>						
Soja	365-500	200	300	93	2-5 (USA)	Niet in NL
Erwten	54	4	145	51	5-7	170-541
Veldbonen (<i>Vicia faba</i>)	250-350	15	583	250	6	-153
Phaseolus vulg. (Stamslaboon)	Geen data aanwezig	Geen data	Geen data	Geen data	6.5-10	690
Phaseolus vulg. (Tuinboon)	215-240	7-12.5	610-640	150-190	14	1235
Kikkererwt	200	60	600	175	2-4 (Midden- Oosten)	Geen data
Lupine	280-480	40-100	290-460	3-170	1-5	Geen data
Tarwe	105-135	15-25	700-760	120-130	8-9	500-800
Gerst	80-130	23	750	170	6-8	190-360
Haver	120-170	70	650	110	4-5.5	165
Winterkoolzaad	350 (in "cake")	110 (in "cake")	Geen data	Geen data	4	15
Suikerbiet	16	1.5	96	28	63-74	650-1150
Consumptie- aardappel	17-21.5	0.8-1.4	155-180	13-24	42-57	1900-2600
Zetmeel- aardappel***	9-17	Geen data	148-250	Geen data	45	1045
<i>Potentieel nieuwe grondstoffen</i>						
Algen****					4	15
Paddenstoelen	150-330	3.5-6	33-69	10-38	nvt	nvt
<i>Potentieel nieuwe restgrondstoffen</i>						
Bietenloof + -stengel	22	1.3	43	37		650-1150 (inclusief knol)
Tarwestro	120- 300*****	Geen data	Geen data	Geen data	3-4.5	500-800 (inclusief zaad)
Koolzaad stro	Geen data	Geen data	Geen data	Geen data	2.5	15 (inclusief zaad)
Sojaschroot*****	10.5-14.4	3.7-5.7	Niet vermeld	56.5-59	Niet in NL	Niet in NL

* Bron voor Eiwit, Vet, Koolhydraat en Vezels: <http://www.nal.usda.gov/fnic/foodcomp/search/>. FW is op basis van versgewicht. In de meeste voedingsdatabases worden gehalten uitgedrukt in g/kg FW of g/100g FW.

** Bron voor opbrengst: o.a. KWIN-AGV: *Kwantitatieve Informatie Akker bouw en Vollegrondsgroenteteelt 2009*. PPO Publicatienummer PPO 383. ISSN: 1571-3059.

*** Voor zetmeelaardappel: Veerman (2003)

**** Voor algen: Bron: Dawczynski et al. (2007).

***** Voor sojaschroot en tarweafval: Arosemena et al. (1995).

Andere bron met informatie over (vee)voedersamenstelling, afgestemd per diersoort, is te vinden in de z.g. CVB Veevoedertabel op: <http://www.pdv.nl/>

Indien eiwitgehalte als belangrijkste criterium wordt genomen voor de waarde als vleesvervanger dan komen van deze gewassen sojabonen, veldbonen en lupine het meest in aanmerking, terwijl ook erwten ($\pm 25\%$ eiwit op droge stof basis), bonen en kikkererwten hoog scoren. Deze zijn vanouds erkend als typische eiwithoudende gewassen. Van sommige van deze gewassen is niet bekend hoeveel €/ ha ze in NL op zullen brengen onder de huidige marktomstandigheden. Kikkererwten en sojabonen kunnen in NL en het noordelijk deel van Europa (nog) niet op economische verantwoorde wijze geteeld worden gezien de klimatologische condities. De mediterrane landen zijn hier in principe wel geschikt voor. Voor kikkererwt vindt de voornaamste productie in het Midden-Oosten en Noord-Afrika plaats, voor soja in de Verenigde Staten (32%), Brazilië (28%), Argentinië (21%), China (7%) en India (4%).

2.1 Agronomische facetten, inhoudsstoffen en voedselveiligheid van traditionele grondstoffen

Voor agronomische facetten, inhoudsstoffen en voedselveiligheid zijn verschillende bronnen beschikbaar (zie literatuur/websites). Hiervan biedt <http://nl.wikipedia.org/wiki/Hoofdpagina> erg overzichtelijke informatie van het thema in zijn volle breedte voor vrijwel alle gewassen die in dit rapport aan de orde komen. Wel moet hierbij gerealiseerd worden dat de informatie uit Wikipedia niet de status heeft van een wetenschappelijk, “peer-reviewed” artikel. Vanuit Wikipedia is dan ook weliswaar frequent geciteerd, maar deze informatie is nauwkeurig op waarheidsgehalte gescreend. Vervolgens is de informatie aangevuld met gegevens uit de wetenschappelijke literatuur.

2.1.1 Soja

Soja is wereldwijd het meest gebruikte eiwitgewas, dat naast een erg hoog eiwitgehalte, tussen 35 en 50% van DM (dry matter=droge stof), ook veel vet bevat met een hoog gehalte aan onverzadigde vetzuren, waaronder ω -3- en ω -6-vetzuren. Verschillende studies wijzen op de aanwezigheid van allergene eiwitten, zoals Gly m 4 dat verwant is aan het allergene eiwit in berk, Bet v 1, en o.a. appel, Mal d 1, waarvoor een deel (2-6%) van de Nederlandse bevolking allergisch is. Verder is soja vooral gezond omdat het een hoog eiwitgehalte heeft met een goede aminozuursamenstelling, op het relatief lage gehalte aan methionine na. Peulvruchten in het algemeen, waar soja onder valt, bevatten circa twee keer zoveel eiwit als granen. Peulvruchten hebben een goede aminozuursamenstelling, vooral lysine, leucine en arginine, maar weinig zwavelhoudende aminozuren (methionine en cysteine) en zijn goede mineralenbronnen. Combinatie met tarwemeel zorgt voor een verhoging van het aandeel zwavelhoudende aminozuren (Nierle *et al.*, 1977), wat zowel nutritioneel als voor de verdere verwerking tot getextureerde eiwitten voordeel kan bieden.

Beïnvloeding van het eiwitgehalte, en ook van vetgehalte, vetzuursamenstelling, phytinezuur, is beschreven door vooral ras- en omgevingsfactoren, zoals bemesting, plantdichtheid, landbewerking en irrigatie. Irrigatie heeft een positief effect op totaalopbrengst per ha, maar een negatief effect op de eiwitconcentratie. Verder heeft soja, evenals andere peulvruchten, een positieve werking op gezondheid (zie o.a. Duranti *et al.*, 2006); het werkt curatief bij diabetes

mellitus type 2, het verlaagt gehalten aan LDL en cholesterol en de kans op hart- en vaatandoeningen. Isoflavonen verlagen de kans op diverse hormoongerelateerde typen kanker (Roy *et al.*, 2009).

2.1.2 Koolzaad

Het belangrijkste product van koolzaad (Engels “rapeseed”) is de olie, die doorgaans verwerkt wordt tot plantaardige olie voor menselijke consumptie. Tegenwoordig wordt de olie ook verwerkt tot biodiesel. Koolzaad is na soja en de oliepalm de derde producent op wereldniveau voor plantaardige olie. Koolzaadolie is rijk aan ω -3 en ω -6 vetzuren waardoor het als erg gezond wordt gezien in verband met het verlagen van serum cholesterol- en triglycerideniveaus.

De reststroom die bij olieproductie overblijft, de “cake”, wordt verwerkt tot diervoeding, maar bevat nog een hoog eiwitgehalte, tot 35%

(http://erapoly.trustpass.alibaba.com/product/108057537-101304541/RAPESEED_Cake.html, <http://www.ambujagroup.com/deoiled.asp>). Het vormt voor meelsoorten de tweede in

rangorde wat betreft productievolume. Koolzaad cake bevat ook nog steeds veel olie. Anti-nutritionele factoren in koolzaad, ook in de olie, zijn glucosinolaten en erucazuur, één van de vetzuren uit de oliefractie. Beide hebben een sterke negatief effect op diergezondheid en vleesproductie. Een derde anti-nutritionele factor in koolzaad cake is de vezel, die vooral bij dierlijke voeding een negatieve factor is; niet zo zeer vanwege gezondheidsredenen, maar omdat het nauwelijks bijdraagt aan de vleesvorming. Voor zowel glucosinolaten als erucazuur zijn rassen veredeld waarin beide antinutritionele factoren niet of in zeer lage concentratie aanwezig zijn, de z.g. dubbelnulrassen, bijvoorbeeld “Canola” (CANadian Oilseed, Low Acid) . Er zijn ook rassen verkrijgbaar die eveneens laag zijn in vezel, de triplenulrassen. Voor humane voeding worden zowel sommige glucosinolaten als de vezels juist gezien als gezondheidbevorderende inhoudstoffen.

Koolzaadbladeren en –stengels zijn ook eetbaar en worden in China en Californië verkocht als yao choi, respectievelijk “tender greens”. Koolzaad als veldgewas bevat ook componenten die astma en hooikoorts kunnen veroorzaken. Koolzaadopbrengst kan sterk verminderen door insectenplagen, veroorzaakt door *Murgantia histrionica*, *Phyllotreta sp.*, *Plutella xylostella*, *Mamestra configurata*, *Delia sp.*, *Lygus sp.*, en verder diverse soorten sprinkhanen, slakken en naaktslakken. Verder zijn er virale pathogenen als “Beet western yellows virus” en schimmels, bijvoorbeeld *Leptosphaeria maculans*, *Sclerotinia sp.* en *Albugo candida*.

2.1.3 Erwten

Erwten zijn er in vele typen: doperwt, kreukerwt, blauwschokker, grauwe erwt, ronde groene erwt, gele erwt, schokker, rozijnerwt en suikererwt, ieder met zijn specifieke eigenschappen en toepassingen. Een grofmazige indeling van het gewas kan gemaakt worden op basis van a) strolengte: kort of lang; b) bladvorm: bladhoudende en (semi-)bladloze (semi-leafless) en c) zaadvorm: gekreukt versus glad. De semibladloze typen hebben als voordeel dat zij binnen het gewas minder vocht ophopen en daardoor minder ziektegevoelig zijn en, wat zeker zo belangrijk is, dat ze daardoor ook minder “legerig” zijn: ze vallen bij harde wind minder makkelijk om. De

gekreukte zaadvorm gaat samen met een zoetere smaak doordat ze naast amylose zetmeel ook amylopectine zetmeel bevatten.

Erwten zijn gevoelig voor schimmels, vooral voetziekte o.a. veroorzaakt door *Fusarium oxysporum* f. *pisii*, en *F. solani* f. *pisii*, *Phoma medicaginis* var. *pinodella*, *Thielaviopsis basicola*, *Aphanomyces euteiches*, *Pythium species*, *Rhizoctonia solani* en *Pythium species* en voor de virusziekte topvergeling. De schade door voetziekte kan desastreus zijn.

Erwten bevatten relatief hoge en rasafhankelijke gehalten aan de antinutritionele factoren: trypsineremmers, lectines en phytinezuur (Guillamon *et al.*, 2008; Wang *et al.*, 2008). Voor opbrengst en eiwitgehalte zijn rijafstand en plantafstand van belang (Rodinho *et al.*, 2009) evenals een juiste P- en N-bemesting (Erman *et al.* 2009; Pageau *et al.*, 2007; Achakzai *et al.*, 2006).

Behandeling van erwtenkiemen met een protease (enzym) kan leiden tot een goede vleesvervanger met weinig off-flavour (Braudo *et al.*, 2001). De voedererwt (een ronde erwt) wordt hier vaak voor genoemd. Deze erwt wordt nu ook gebruikt als grondstof voor eiwit en zetmeel bereiding en bevat ongeveer 25% eiwit en 50% zetmeel op droge stof basis.

2.1.4 *Lupine*

Lupine is ogenschijnlijk een zeer aantrekkelijk gewas vanwege het hoge eiwitgehalte, maar de opbrengst in ton/ha is vooralsnog een beperkende factor en over de opbrengst in €/ha bestaan geen cijfers. Een ander probleem bij lupine zouden de alkaloiden kunnen zijn. Bij gebruik in de diervoeding worden deze als extra ANF (anti-nutritionele factor) gezien vanwege hun toxische werking en, vanwege de bittere smaak en hun negatieve effect op de voedselinname. Dit laatste aspect is door de beschikbaarheid van zoete, alkaloidarme of -vrije lupinerassen wat minder relevant geworden. Er is melding gemaakt van opbrengsten van >6 ton/ha voor het ras Tarwi, maar deze claims moeten nader worden onderzocht.

Naast de lage opbrengst dient ook de ziektegevoeligheid van lupine in ogenschouw te worden genomen, die de opbrengst onberekenbaar maakt. De meeste lupinerassen zijn vatbaar voor anthracnose, een schimmelziekte veroorzaakt door *Colletotrichum gloeosporioides*.

Een gunstig effect van lupine als landbouwgewas is het feit dat lupines goede stikstofbinders zijn; een groot deel blijft achter voor het volggewas. Bovendien draagt het vertakte wortelsysteem bij tot een verbetering van de bodemstructuur.

Op 26 november 2009 is er een symposium georganiseerd door het Louis Bolk Instituut over de vooruitzichten van Lupine als vleesvervanger en duurzame eiwitbron, vooral in het kader van biologische teelt. In aanvulling op bovenstaande kwam nieuwe informatie ter sprake, zoals *Lupine mutabilis* (Andeslupine), met een eiwitgehalte van 45-50% en een oliegehalte van 18%. Evenals voor de andere lupine soorten geldt ook hier dat een productie van ca 5 ton/ha nodig is voor economisch interessant gewas. Bij dit symposium bleek tevens dat concurrentie uit andere landen, als Australië, een serieus probleem zou kunnen zijn voor lupine teelt in Nederland omdat daar de productiekosten veel lager zijn.

2.1.5 Linzen

Linzen nemen de derde plaats in waar het eiwitgehalte betreft, na soja en hennep. Het is een zeer oud gewas, werd al ver voor de jaartelling verbouwd als een van de eerste gedomesticeerde gewassen en is vaak vermeld in het Oude Testament. Zo kreeg Jacob het geboorterecht over Esau met gestoomde linzen (Genesis 25:34). Linzen hebben veel warmte nodig en worden in Nederland onder glas of een tunnel verbouwd. Naast een hoog eiwitgehalte, tot 270g/kg ds (=op droge stof basis), bevatten linzen 10 g vet/kg ds 620 g koolhydraat/kg ds en 310 g voedingsvezel/kg ds en een redelijke hoeveelheid Vitamine B1 en ijzer met resp. 67 % en 60 % van de aanbevolen dagelijkse inname per 100 g.

2.1.6 Veldbonen

Veldboon (*Vicia faba*) scoort wat opbrengst in ton per ha betreft redelijk maar heeft tot op heden een negatieve financiële netto-opbrengst per ha vooral omdat het alleen als veevoederbron werd gebruikt. Hierdoor is de prijs per geproduceerd zaadgewicht erg laag. Dit is dan ook de reden waarom eind 80-er jaren van de vorige eeuw, toen de EU-subsidie wegviel, het gewas nagenoeg uit Nederland is verdwenen, terwijl het daarvoor juist sterk opkwam als akkerbouwgewas. Dit kan veranderen als het eiwit voor humane consumptie zou kunnen worden aangewend. Behandeling met protease van veldboonkiemen kan leiden tot een goede vleesvervanger met weinig off-flavor (Braudo *et al.*, 2001).

Veldbonen zijn gevoelig voor een aantal aandoeningen, met een sterk negatief effect op de opbrengst. De belangrijkste hiervan zijn voetziekte, vooral veroorzaakt door *Fusarium species* en *Pythium debaryanum*, bladziekten als bladvlekkenziekte en chocoladevlekkenziekte, veroorzaakt door resp. *Ascochyta fabae* en *Botrytis fabae*, roest (pathogeen *Uromyces viciae fabae*) en topvergeling (pathogeen bonenscherpmozaïkvirus, Engelse naam bean leaf roll virus, BLRV).

Tuinbonen zijn rijk aan tyramine. Mensen die als medicijn monoamine oxidaseremmers (MAOs) gebruiken (een in Nederland eigenlijk nauwelijks meer gebruikte klasse van antidepressiva) mogen geen tuinbonen eten omdat door MAOs tyramine zich kan ophopen, wat kan leiden tot hoge bloeddruk. Tuinbonen bevatten de alkaloiden vicine en convicine. Deze stoffen kunnen bij patiënten, bij wie het enzym glucose-6-fosfaatdehydrogenase (G6PD) niet goed wordt aangemaakt, "favisme" veroorzaken. De term favisme verwijst naar het Latijnse woord voor boon, faba. Bij favisme of bonenziekte is het ziektebeeld als van hemolytische anemie (versterkte afbraak van rode bloedcellen en ontoereikende aanmaak ervan) met icterus (geelzucht) en hemoglobinurie (het vóórkomen van hemoglobine in de urine). Deze ziekte komt in bepaalde etnische groepen vrij veel voor maar is in Nederland zeldzaam. Door INRA zijn in het verleden rassen ontwikkeld die nagenoeg vrij zijn van vicine en convicine (Duc *et al.*, 1999).

2.1.7 Tarwe (gewoon/ durum) en spelt

Naast rijst en maïs is tarwe het derde meest belangrijke graangewas voor de menselijke voeding. In Nederland wordt hoofdzakelijk het hexaploïde *Triticum aestivum* verbouwd met een totaal areaal van ca. 135.000 ha (in 2005). Dit is vooral voor veevoeder. Hiervan was ca. 15% zomertarwe en 85 % wintertarwe. Het tetraploïde *Triticum durum* (durumtarwe) groeit alleen goed in een warm

klimaat en wordt in Europa voornamelijk in Zuid-Europa verbouwd. De belangrijkste teeltgebieden liggen echter in Noord-Amerika (hoofdzakelijk in Noord-Dakota), Argentinië en Rusland, in gebieden met warme zomers. De producten die van het meel van deze durum tarwesoort worden gemaakt, zijn extra stevig en hebben een hoog gluten- en eiwitgehalte. Voor gebruik als vleesvervanger is tarwe op zich een vrij duur product omdat de prijs per kilo grondstof hoog is en het eiwitgehalte relatief laag. Het eiwitgehalte en de opbrengst kan door tussenteelt (“intercropping”) met peulvruchten als erwten (Carr *et al.*, 2008; Lank *et al.*, 2008; Soon *et al.*, 2008; Miller *et al.*, 2006) en fababoon (O’Connor *et al.*, 2009; Gooding 2007, Sobkowicz *et al.*, 2004) significant worden verhoogd. Spelt (*Triticum spelta*) is een andere hexaploïde species binnen het geslacht *Triticum*, dat in kleine hoeveelheden wordt verbouwd in Nederland, evenals dwergtarwe (*T. compactum*), eenkoorn (*T. monococcum*), emmertarwe of tweekoorn (*T. dicoccum*) en Poolse tarwe (*T. polonicum*). Spelt bevat ca 120 g eiwit/kg versgewicht en is een soortskruising, in combinatie met chromosoomverdubbeling, tussen het tetraploïde emmertarwe en het diploïde eenkoorn.

Tarwe kan tijdens de teelt aangetast worden door een grote variëteit aan vooral schimmelziekten die niet alleen een ernstig effect op de opbrengst hebben maar ook het eindproduct door mycotoxines ongeschikt kunnen maken voor consumptie. De aandoeningen zijn onder te verdelen in: voet- en stengelziekten met als pathogenen *Pseudocerosporella herpotrichoides*, *Fusarium culmorum*, *Gaeumannomyces graminis*, var. *tritici* en var. *avenae*, en *Rhizoctonia cerealis*), bladziekten (*Puccinia striiformis*, *P. recondita*, f. *tritici*, *P. graminis*, f. *tritici*, *Septoria tritici* en *S. nodorum* en *Erysiphe graminis*, f. *tritici*), aarziekten (*Septoria nodosum*, *Fusarium* species en diverse *Dermatiaceae*) en zaadgebonden aandoeningen (*Tilletia caries* en *Ustilago nuda*, f. *tritici*).

Spelt komt meer in de belangstelling omdat het minder bemesting en ziektebestrijding nodig heeft dan gewone tarwe en daarom beter geschikt is voor biologische landbouw.

Naast eiwit en vezels als positieve inhoudstoffen, bevat tarwe ook een aantal componenten met een negatief effect op de gezondheid. Voor individuen met coeliakie (glutenintolerantie) zijn bepaalde gluteneiwitten in tarwe een probleem. Daarnaast kan tarwe ook allergische reacties geven, veroorzaakt door andere eiwitten dan gluteneiwitten. Spelt is wel geschikt voor allergie- maar niet voor coeliakiepatiënten. Tarwe bevat ook relatief veel phytinezuur, en zoals boven omschreven, kan het door infectie tijdens de afrijping verontreinigd zijn met mycotoxinen, waarvan vooral deoxynivalenol (DON) een groot probleem is.

2.1.8 Gerst

Gerst is de eerste graansoort die in Europa voor humane voeding werd geteeld. Tot in de Middeleeuwen was het als zodanig een belangrijk gewas, daarna werd haar rol overgenomen door tarwe. Gerst is een graansoort die zich aan een zeer breed scala van klimaatomstandigheden kan aanpassen. Het wordt geteeld tot dicht bij de poolcirkel (tot 68° noorderbreedte in Finland) en in de Himalaya. Het areaal zomergerst in Nederland ligt rond de 50.000 à 60.000 ha. Evenals bij tarwe wordt bij gerst wintergerst en zomergerst onderscheiden naar gelang de zaaitijd, resp. oktober en half februari. Gerst wordt momenteel hoofdzakelijk gebruikt na vermuting als grondstof voor bier en whisky. In verband hiermee moet het eiwitgehalte laag zijn, maximaal

11.5% en bij voorkeur lager dan 9.5%, omdat eiwitgehalte omgekeerd evenredig is met het zetmeelgehalte dat de basis vormt voor de alcoholvergisting. Indien gerst zou dienen als grondstof, dus eiwitbron, voor vleesvervanger kan op het eiwitgehalte een aanzienlijke winst worden geboekt. Zo beschrijven Lauk en Lauk (2008), Strydhorst *et al.* (2008) en Wichmann *et al.* (2006) een significante verhoging van eiwitgehalte en opbrengst na intercropping met erwten door verhoging van het stikstofgehalte in de bodem. Rijafstand en plantafstand hebben een significante invloed op eiwitgehalte en opbrengst.

Gerst kan worden aangetast door een breed scala aan schimmels en virale pathogenen zoals *Ustilago nudans* f. *hordei*, *U. hordei* f. *hordei*, *Puccinia hordei*, *P. striiformis*, *Pyrenospora teres*, f. *teres*, *Rhynchosporium secalis*, gerstegeelmozaïekvirus en gerstevergelingsmozaïekvirus.

Uit de bierbrouwerij en distilleerderij komen diverse reststromen, die tot nu hoofdzakelijk als veevoer worden verwerkt zoals kleingerst, natte kiemen, geperste moutkiemen, bierbostel en restgist (persoonlijke communicatie met Dr.Ir. van Iersel, Hoofd Kwaliteit Holland Malt, onderdeel van Bavaria B.V.). Deze reststromen verdienen nader onderzocht te worden als potentiële bron voor eiwit als vleesvervanger omdat dit kan leiden tot een aanzienlijke valorisatie van de reststroom.

2.1.9 Haver

Haver is een eenjarig graangewas dat rijk is aan magnesium, ijzer, carotenen (provitamine A) en vitamines K, E, B1, B2, B6. Alhoewel het arm is aan voor CD-(coeliac disease)toxische glutenepeptiden, en dus in principe geschikt voor coeliakiepatiënten, is haver vaak verontreinigd met tarwe, gerst of rogge. Haver wordt doorgaans geteeld als zomerteelt. Tussenteelt met *Vicia faba* kan leiden tot een verhoging van eiwitgehalte en opbrengst (Wichmann *et al.*, 2006). Haver kan worden aangetast door het havercystealtje (*Heterodera avenae*) en diverse schimmelpathogenen als *Puccinia coronata* f. *avenae*, *Erysiphe graminis* f. *avenae*, *Ustilago avenae* en *Drechslera avenae*.

2.2 Agronomische facetten, inhoudstoffen en voedselveiligheid van nieuwe grondstoffen

2.2.1 Zonnebloemen

Zonnebloemen worden hoofdzakelijk geteeld vanwege hun olie uit de pitten die zowel tot plantaardige olie, margarine als biodiesel worden verwerkt. De hele pitten, die door velen gewaardeerd worden om hun smaak, worden ook verwerkt tot pindakaas en, met name in Duits sprekende landen, samen met roggemeel tot “Sonnenblumenkernbrot” (letterlijk zonnebloemen volkorenbrood). Ze worden ook gebruikt als garnering in salades. De gedroogde korrel (5% water) bevat 200g/kg FW eiwit, meer dan 500g/kg olie, waarvan de vetzuursamenstelling sterk rasafhankelijk is, 200 g koolhydraat/kg en 86 g/kg vezel. De “cake”, die overblijft na oliepersing bevat nog veel eiwit (Abbas en Yagoub, 2008) en wordt tot nu toe verwerkt tot veevoer.

Tabel 3 Samenstelling zonnebloemcake.
Bron: Abbas en Yagoub (2008)

Item	%
Dry Matter	93.1
Crude Protein	41.04
Fat	16.8
Ash	7.63
Crude Fibre	10.0

Er is een groot aantal rassen in omloop. Sommige hiervan hebben een hangende bloeiwijze ('dropping head'), waarbij de bloeiwijze en daarmee de zaden naar beneden hangen. Voor de sierteelt is dit minder aantrekkelijk, maar het leidt voor de telers die in het zaad geïnteresseerd zijn tot een lagere gevoeligheid voor ziekten, vraat en andere beschadigingen (bijv. hagel).

2.2.2 Paddenstoelen/Schimmels

Paddenstoelen zijn zeer rijk aan eiwit. Normaal worden paddenstoelen als geheel of als stukjes gegeten en verwerkt in bijvoorbeeld vegetarische burgers. Een paddenstoel is het vruchtlichaam van een schimmel. Het vormt maar een klein gedeelte van de schimmel. Het grootste gedeelte van de schimmel bevindt zich onder de grond in de vorm van schimmeldraden (mycelium). In deze inventarisatie is alleen gekeken naar de hoedvormende paddenstoelen. Opgemerkt wordt dat het gebruik van schimmel in vegetarische producten bekend is geworden door het product Quorn. De basis van dat product is gefermenteerd mycelium van de schimmel *Fusarium venenatum*. (vroeger *Fusarium graminearum* genoemd). Het bestaat voor 45% uit eiwitten en 10-15% vet. Verder zijn er vitaminen en mineralen aan toegevoegd. Als bindmiddel wordt het kippenei-eiwit gebruikt. Voordat Quorn op de markt is gebracht is er een lange tijd van onderzoek overheen gegaan. Na een driejarige screeningsstudie onder ongeveer 3000 verschillende schimmels bleek *Fusarium venenatum* als beste schimmel naar voren te komen. Nog 12 jaar studie was nodig om de veiligheid aan te tonen en tot een eindproduct te komen (Wiebe, 2002). Een gelijksoortig schimmeldradenproduct wordt daarom niet snel op de markt verwacht.

De vruchtlichaam(=hoed)vormende paddenstoelen behoren tot de Ascomycetes en Basidiomycetes. Onderstaande tabel geeft een overzicht van de hoofdvoedingscomponenten van een aantal eetbare paddenstoelen, die op de Nederlandse markt te krijgen zijn. De gehalten aan eiwit en andere voedingscomponenten lijkt laag, maar dat komt vooral door het hoge watergehalte (88-95%).

Tabel 4 Samenstelling van enkele veelvoorkomende eetbare paddenstoelen.
Bron: <http://www.nal.usda.gov/fnic/foodcomp/search/>

Species	Eiwit g/kg FW	Vet g/kg FW	Koolhydr g/kg FW	Vezels g/kg FW
Champignon (<i>Agaricus bisporus</i>)	21	3.5	40	13
Oesterzwam (<i>Pleurotus spp</i>)	33	4	61	23
Cantharel (<i>Cantharellus cibarius</i>)	15	5	69	38
Morel (<i>Morchella spp</i>)	31	6	51	28
Shiitake (<i>Lentinula edodes</i>)	22	5	68	25
Enoki (<i>Flammulina velutipes</i>)	27	3	78	27

Er is een redelijk grote variatie aan eiwit- en vezelgehalten wat mede te verklaren is door de grote genetische diversiteit tussen de soorten. Naast eiwit zijn als interessante componenten de vezels en ergosterol, als bestanddeel van het vet, vermeldenswaard. De vezels in paddenstoelen bestaan voor het grootste deel uit β -glucanen en/of chitine. β -Glucanen worden gezien als de actieve component van de immunomodulerende werking van schimmelpreparaten, die veel gebruikt worden in de traditionele geneeskunde uit China en andere landen uit het Verre Oosten, ook ter voorkoming van kanker en tumorgroei. De hier vermelde literatuur is zeer uitgebreid, maar niet direct relevant in het kader van deze studie naar grondstoffen, omdat ze zeer gefragmenteerd is en doorgaans uitgaat van in het wild groeiende exemplaren. Daarnaast geven β -glucanen evenals chitine de fysiologische effecten die algemeen aan vezels als prebiotica worden toegeschreven; een verbetering van de darmflora, detoxificatie en stimulatie van de darmassage wat het risico van darmkanker kan verminderen. Tevens veroorzaken vezels een verzadigingseffect wat de prikkel om snel weer te moeten eten onderdrukt. Zodoende dragen ze bij aan het verminderen van de kans op obesitas (overgewicht). Tenslotte is als voedingscomponent het schimmelspecifieke ergosterol te noemen, wat een voorloper is voor vitamine D.

2.2.3 Algen

Algen worden onderverdeeld in microalgen en macroalgen (wieren).

Microalgen

Er zijn zo'n 80 duizend verschillende soorten microalgen bekend. Hiervan worden er slechts een paar gebruikt voor humane consumptie. Microalgen bevatten zeer veel eiwitten, tot 60 %, (Becker, 2007). De algen worden als voedingsupplement (voornamelijk de algen *Chlorella* en *Spirulina*) gegeten en als vulstof met gezonde eigenschappen toegevoegd aan levensmiddelen. De twee genoemde algensoorten behoren tot de zogenaamde fototrofe algen, algen die licht nodig hebben voor de fotosynthese. De laatste jaren staan deze fototrofe algen erg in de belangstelling, niet zozeer voor voedseltoepassingen, maar vooral voor non-food toepassingen. Doordat de algen zich met stikstof en fosfaten voeden lijken ze zeer goed inzetbaar in afvalwaterbehandelingsystemen. Hiernaast bevatten de algen grote hoeveelheden (meervoudig onverzadigde) vetzuren, wat ze erg interessant maakt als grondstof voor biobrandstoffen.

Naast de fototrofe algen bestaan zogenaamde heterotrofe microalgen; algen die geen bladgroen bezitten maar juist een koolstofbron, bijvoorbeeld glucose, nodig hebben voor energie. Deze algen kunnen in een gesloten bioreactor onder gecontroleerde omstandigheden groeien. Ook naar dit type algen is veel onderzoek gedaan, waarbij het onderzoek zich richt op de productie van zoveel mogelijk meervoudig onverzadigde vetzuren; vetzuren die hun weg vinden in levensmiddelen. Het kweken in bioreactoren onder gecontroleerde condities, waarbij suikers als substraat worden toegevoegd levert een relatief duur eindproduct. Op dit moment wordt er daarom van uitgegaan dat het niet economisch haalbaar zal zijn heterotrofe algen te kweken voor hun eiwit; eiwit dat vervolgens toegepast zou kunnen worden in duurzame eiwitproducten.

Macroalgen

Ook van macroalgen (wieren) bestaan zeer veel verschillende soorten. Wereldwijd worden ongeveer 200 soorten gebruikt. Enkele voorbeelden hiervan zijn de *Porphyra* (nori), *Laminaria* (kombu) en *Undaria* (wakame), die met name in Azië direct toegepast worden als voedingsmiddel. Zeewieren hebben een hoog gehalte aan polysacchariden (enkele tientallen %) die vanwege hun bijzondere reologische eigenschappen ook ondermeer een directe toepassing in voedingsmiddelen hebben in de vorm van alginaten, agar-agar en carragenen. De eiwitgehaltenes in wieren variëren in grote mate van ongeveer 10 tot in sommige gevallen 75% op drooggewichtsbasis. Voor zover bekend is geen onderzoek verricht naar winning van eiwitten uit wieren voor humane consumptie.

Tabel 5 Nutritionele componenten in enkele macroalgen species. Bron: Dawczynski *et al.* (2007)

Chemical composition given in means \pm SD (g/100 g s.w.; n = 34)

Nutritional components	Red algae			Brown algae			
	<i>Porphyra</i> sp. ^A	<i>Porphyra</i> sp. ^B	Overall average	<i>Undaria pinnatifida</i>	<i>Laminaria</i> sp.	<i>Hizikia fusiforme</i>	Overall average
	Mean \pm SD	Mean \pm SD	Mean \pm SD	Mean \pm SD	Mean \pm SD	Mean \pm SD	Mean \pm SD
Dry weight	93.5 \pm 1.5 ^a	92.3 \pm 0.7 ^{a,c}	93.1 \pm 1.3 ^a	89.3 \pm 1.4 ^b	91.0 \pm 2.2 ^{c,d}	89.4 \pm 0.5 ^{b,d}	90.0 \pm 1.9 ^a
Crude protein	31.4 \pm 8.4 ^a	30.9 \pm 3.9 ^a	31.3 \pm 7.3 ^a	19.8 \pm 1.4 ^b	7.5 \pm 1.9 ^c	11.6 \pm 0.8 ^{b,c}	13.8 \pm 6.2 ^b
Pure protein	27.0 \pm 7.3 ^a	25.6 \pm 3.6 ^a	26.6 \pm 6.3 ^a	18.9 \pm 9.8 ^{a,b}	6.3 \pm 3.8 ^c	10.9 \pm 1.0 ^{b,c}	12.9 \pm 6.2 ^b
NPN	4.4 \pm 1.4 ^a	5.3 \pm 0.6 ^a	4.6 \pm 1.2 ^a	0.4 \pm 0.3 ^b	1.6 \pm 0.9 ^b	0.7 \pm 0.2 ^b	0.9 \pm 0.6 ^b
Fats	2.8 \pm 1.0 ^b	1.0 \pm 0.2 ^c	2.1 \pm 1.2 ^a	4.5 \pm 0.7 ^a	1.0 \pm 0.3 ^c	1.4 \pm 0.1 ^c	2.4 \pm 1.8 ^a
Dietary fibre	49.8 \pm 6.6 ^b	45.7 \pm 1.9 ^b	48.6 \pm 5.9 ^a	45.9 \pm 1.5 ^b	36.0 \pm 5.7 ^c	62.3 \pm 0.7 ^a	43.8 \pm 9.2 ^a

^{a,b,c,d} Values in a row without a common superscript are significantly different ($P < 0.05$).

^A *Porphyra* sp. from Japan and Korea.

^B *Porphyra* sp. from China.

Hoewel ze door het hoge watergehalte op basis van versgewicht niet veel eiwit bevatten zijn macroalgen doorgaans relatief goedkope bronnen en hebben ze een goede aminozuursamenstelling. Naast eiwit bevatten ze ook veel vezels en staan de aanwezige koolhydraten in de aandacht voor de productie van bioethanol. Vezels zijn een dankbare aanvulling op de nutritionele waarde in vergelijking met dierlijke eiwitbronnen, omdat ze een positieve invloed hebben op de darmpassage en darmflora, waaraan een kankerremmend effect kan worden toegeschreven. Bovendien kunnen de vezels een verzadigingseffect bewerkstelligen.

Recent onderzoek heeft ook aangetoond dat macroalgen een goede bron zijn voor langketenige ω -3 visvetzuren, vooral eicosapentaenoic acid (EPA; C20:5) (Dawczynski *et al.*, 2007; Pyle *et al.*, 2008, zie Tabel 6).

Tabel 6 Vetzuursamenstelling van lipiden uit een 5-tal macroalgenspecies. Bron: Dawczynski *et al.* (2007).

Fatty acids	<i>Porphyra</i> sp. ^A	<i>Porphyra</i> sp. ^B	<i>Undaria pinnatifida</i>	<i>Laminaria</i> sp.	<i>Hizikia fusiform</i>
	Mean ± SD	Mean ± SD	Mean ± SD	Mean ± SD	Mean ± SD
C12:0	0.02 ± 0.02 ^b	0.09 ± 0.06 ^a	n.d.	0.06 ± 0.03 ^{a,b}	n.d.
C14:0	2.68 ± 2.17 ^a	4.07 ± 4.84 ^a	2.25 ± 0.07 ^a	2.88 ± 3.92 ^a	0.30 ± 0.09 ^a
C15:0	0.34 ± 0.13 ^a	0.45 ± 0.23 ^a	0.21 ± 0.03 ^a	0.40 ± 0.21 ^a	0.17 ± 0.03 ^a
C16:0	30.8 ± 4.60 ^a	37.1 ± 17.74 ^a	13.5 ± 0.67 ^b	36.0 ± 10.04 ^a	26.8 ± 3.84 ^{a,b}
C17:0	0.19 ± 0.14 ^a	0.18 ± 0.07 ^a	0.20 ± 0.06 ^a	0.16 ± 0.06 ^a	0.04 ± 0.02 ^a
C18:0	0.66 ± 0.02 ^b	1.89 ± 0.52 ^a	0.86 ± 0.06 ^b	1.49 ± 0.35 ^a	0.76 ± 0.31 ^b
C20:0	0.21 ± 0.19 ^a	0.45 ± 0.63 ^a	0.39 ± 0.05 ^a	0.28 ± 0.49 ^a	0.04 ± 0.06 ^a
C22:0	0.41 ± 0.36	n.d.	n.d.	n.d.	0.01 ± 0.02 ^b
C24:0	0.17 ± 0.15	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
C14:1 _{n5}	0.02 ± 0.02 ^a	0.03 ± 0.05 ^a	n.d.	n.d.	n.d.
C16:1 _{n7}	2.24 ± 1.89 ^a	1.82 ± 2.14 ^a	0.44 ± 0.02 ^a	1.71 ± 1.08 ^a	0.15 ± 0.07 ^a
C17:1 _{n7}	0.19 ± 0.03 ^a	0.20 ± 0.11 ^a	0.12 ± 0.02 ^a	0.13 ± 0.10 ^a	n.s.
ΣC18:1	7.16 ± 3.58 ^a	15.3 ± 11.43 ^a	5.95 ± 0.15 ^a	12.8 ± 8.27 ^a	7.68 ± 4.22 ^a
C20:1 _{n9}	1.42 ± 2.29 ^a	1.52 ± 2.11 ^a	n.d.	1.55 ± 1.31 ^a	4.09 ± 2.13 ^a
C22:1 _{n11}	2.96 ± 2.58 ^a	n.d.	n.d.	0.02 ± 0.04 ^b	n.d.
C22:1 _{n13}	0.20 ± 0.25 ^a	0.96 ± 1.35 ^a	n.d.	0.96 ± 0.84 ^a	0.64 ± 0.32 ^a
C18:2 _{n6}	3.86 ± 1.47 ^a	7.06 ± 4.65 ^a	7.41 ± 0.47 ^a	5.48 ± 3.44 ^a	3.56 ± 1.45 ^a
C20:2 _{n6}	0.51 ± 0.43 ^{a,b}	0.90 ± 0.71 ^a	0.12 ± 0.03 ^b	0.87 ± 0.31 ^a	0.97 ± 0.27 ^a
C18:3 _{8t,10t,12c}	0.81 ± 0.37 ^a	0.24 ± 0.17 ^a	0.34 ± 0.34 ^a	n.d.	0.56 ± 0.21 ^a
C18:3 _{n6}	0.31 ± 0.01 ^a	2.04 ± 2.32 ^a	1.71 ± 0.13 ^a	1.60 ± 2.25 ^a	0.42 ± 0.06 ^a
C18:3 _{n3}	5.66 ± 4.74 ^b	0.94 ± 1.15 ^{b,c,d}	11.2 ± 0.53 ^a	0.76 ± 0.93 ^{c,d}	0.41 ± 0.23 ^d
C20:3 _{n6}	1.20 ± 1.28 ^b	0.97 ± 0.84 ^b	0.57 ± 0.04 ^b	1.17 ± 0.73 ^b	3.21 ± 0.56 ^a
C20:3 _{n3}	0.15 ± 0.02 ^a	0.04 ± 0.05 ^{b,c}	0.14 ± 0.02 ^a	0.01 ± 0.02 ^c	0.09 ± 0.00 ^b
C18:4 _{n3}	3.37 ± 2.72 ^b	1.51 ± 2.14 ^b	25.8 ± 1.55 ^a	1.24 ± 2.15 ^b	n.d.
C20:4 _{n6}	8.00 ± 4.69 ^{a,b}	9.84 ± 1.60 ^{a,b}	13.3 ± 0.41 ^a	12.4 ± 1.61 ^a	5.30 ± 1.98 ^b
C20:5 _{n3}	20.9 ± 26.54 ^a	10.4 ± 7.46 ^a	13.2 ± 0.66 ^a	16.2 ± 8.90 ^a	42.4 ± 11.88 ^a
C22:5 _{n3}	0.05 ± 0.09 ^a	n.d.	n.d.	n.d.	0.09 ± 0.04 ^a
C22:6 _{n3}	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.

n.d.: not detectable (values < 0.001% of FAME).

^{a,b,c,d} Values in a row without a common superscript are significantly different ($P < 0.05$).

^A *Porphyra* sp. from Japan and Korea.

^B *Porphyra* sp. from China.

Vanwege hun veelzijdige verdere toepassingen en hun hoge gehalte aan andere positieve voedingscomponenten, zoals vezels en vetzuren, kunnen macroalgen als goedkope eiwitbron worden aangemerkt, vooropgesteld dat de gehalten aan residuen, vooral zware metalen, tolerabel zijn en de bioraffinage zich richt op grondstoffen voor voedingsmiddelen naast die voor energieproductie. In de nabije toekomst zullen macroalgen, vooral vanwege hun toepassing als duurzame brandstof, ook geteeld gaan worden in commerciële en gecontroleerde teelt (sea farms) wat zal resulteren in een betere voorspelbaarheid van opbrengst, kwaliteit (=samenstelling aan inhoudstoffen) en prijs.

2.2.4 Grassen

Bladeren van groente en grassen zijn rijk aan eiwitten. Deze eiwitten worden veelal niet direct door mensen benut, vanwege de aanwezigheid van grote hoeveelheden vezels, pigmenten en andere componenten in de bladeren die de smaak en de verteerbaarheid nadelig beïnvloeden. Voor vee is het een belangrijke vorm van voeder, waarbij de materialen, helaas met een lage efficiëntie, omgezet worden in eiwitrijke producten als melk en vlees. Vanwege deze lage voederconversie wordt al decennia gesproken over directe toepassing van deze grondstoffen voor humane consumptie. Al in 1942 toonde Pirie aan dat blad-eiwitisolaat een zeer goede nutritionele waarde heeft. Het belangrijkste eiwit in bladeren en grassen is Rubisco, het eiwitcomplex verantwoordelijk voor fotosynthese, met zeer goede nutritionele en functionele

eigenschappen. De eiwitten moeten wel geïsoleerd worden en gescheiden van het chlorofyl (groene bladkleurstof).

2.2.5 *Kweekvlees*

In een gezamenlijk onderzoek van de universiteiten van Utrecht, Eindhoven en Amsterdam is onderzocht of het mogelijk is vlees te kweken dat wordt gemaakt door stamcellen van een varken. Deze stamcellen groeien uit tot spierweefsel door ze te laten groeien op bindweefsel (Langelaan *et al.*, 2010). Een probleem is om voldoende stamcellen te krijgen en deze vervolgens uit te laten groeien en efficiënt naar skeletspiercellen te differentiëren. Hiernaast is mogelijke besmetting die de groei remt een probleem en moeten de vezels voldoende zuurstof kunnen krijgen om te groeien. Normaliter gaat dat via het bloed, maar in dit geval zijn geen bloedvaten aanwezig, waardoor het proces alleen via diffusie kan verlopen. De tot nu toe verkregen resultaten laten zien dat het mogelijk is spierweefsel in een laboratorium te laten groeien. Het verkregen product lijkt op dit moment echter nog niet op vlees. Hiervoor is het noodzakelijk het weefsel ook te stimuleren. Door de activiteit van de vezels kunnen deze zich verder ontwikkelen tot spieren. Dit zal waarschijnlijk in een vervolgonderzoek aan de orde komen. Verwacht wordt dat de uiteindelijke structuur van het vlees meer op gehakt dan op een lapje vlees zal lijken. Aansluitend op dit onderzoek is de huidige state-of-art over kweekvlees door de Universiteit van Utrecht aan de hand van een deskstudie geïnventariseerd. De resultaten zijn te vinden in Haagsman *et al.* (2009).

Het onderzoek heeft zich tot nu toe voornamelijk op de technische mogelijkheden voor het kweken van vlees gericht. Sociale factoren zullen echter ook van groot belang zijn voor het uiteindelijk succes van het concept. Mogelijk kan dit nog een groot struikelblok worden, omdat er ethisch gezien voor vele bevolkingsgroepen grote bezwaren kleven aan het gebruik van stamcellen. In de loop van 2010 start de Universiteit van Utrecht samen met de Wageningen Universiteit een vervolgonderzoek naar kweekvlees. Dit onderzoek betreft enerzijds de ontwikkeling van een eetbaar *in vitro* product en anderzijds betreft het een sociaalethisch onderzoek om de factoren die de consumentenreceptie bepalen, te begrijpen.

De komende tientallen jaren lijkt vercommercialiseren van kweekvlees nog geen optie. Los van de mogelijke ethische bezwaren is vooral het op grote schaal toepasbaar maken van deze innovatie het grootste (economische) struikelblok. Extra onderzoek is nodig en voor de deskstudie zijn experts benaderd die schatten dat voor het starten van een R&D programma € 10-100 miljoen gemoeid zijn.

De deskstudie en de te starten studie is uitgevoerd en wordt uitgevoerd in opdracht van het Ministerie van LNV. In de huidige studie is op advies van LNV daarom geen verder onderzoek verricht naar kweekvlees.

2.2.6 *Insecten*

Er bestaan ca. 1400 eetbare insectensoorten, waarbij alle insectenorden gegeten worden. Deze consumptie van insecten vindt voornamelijk plaats in tropische en subtropische landen en in meer gematigde gebieden als (Noord) China en Japan. Waarschijnlijk vanwege de geringe

beschikbaarheid maakt van oudsher het eten van insecten geen deel uit van de westerse eetgewoontes. In de tropen echter komen in bepaalde jaargetijden insecten in grote dichtheden voor, waardoor het verzamelen ervan, veelal handmatig, makkelijk is.

In Nederland (en ook andere westerse landen) is de laatste jaren grote mediabelangstelling ontstaan voor consumptie van insecten. Ook zijn enkele initiatieven gestart om insecten meer op de kaart te zetten. Sinds begin 2008 worden bijvoorbeeld drie soorten gevriesdroogde insecten (sprinkhanen, meelwormen en buffalo-wormpjes) voor menselijke consumptie verkocht en bij enkele Nederlandse horecagelegenheden aangeboden. Hierbij gaat het duidelijk om een nichemarkt.

Massakweek van insecten, waarbij relatief lage eisen aan het voedingssubstraat gesteld worden, levert een veel geringere milieubelasting op dan de productie van vlees: Insecten zijn efficiënt in het omzetten van voedsel naar lichaamsmassa (ca. 60% bij de krekkel ten opzichte van 13% bij het rund); De meeste insecten produceren nagenoeg geen ammoniak, sommige insecten (bijv. termieten en kakkerlakken) produceren wel methaangas. Het aantal methaanuitstotende insecten is echter beduidend lager dan het aantal dat dit niet doet; Hiernaast is voor de productie van insecten maar weinig landoppervlak nodig.

Het percentage biomassa van een insect dat kan worden gegeten is ca. 80%. Het eiwitgehalte van insecten varieert van 40 tot 75 g/100g droog gewicht en is daarmee vergelijkbaar met dat van vlees (Verkerk *et al.*, 2007). Van veel soorten insecten is het eiwit van hoogwaardige kwaliteit, het bevat de aanbevolen essentiële aminozuren en de verteerbaarheid van het eiwit is hoog (70-90%). Er is een grote variatie in vetgehalte (tussen de 8 en 65 g/100g drooggewicht), dit wordt bepaald door het soort insect en het voedsel. Vetzuren zijn vergelijkbaar met die in kip en vis en essentiële vetzuren als linolzuur zijn aanwezig. Mineralen (3 tot 8 g/100g drooggewicht) bestaan vooral uit zink en ijzer, het gehalte hieraan is hoger dan in rundvlees. Verder zijn een aantal vitamines aanwezig (A, B2, D). Onderzoek aan de universiteit van Gent wijst erop dat insecteneiwit helpt tegen hoge bloeddruk, het kan gebruikt worden als bron van bioactieve peptiden die het angiotensine-converterend enzym kunnen remmen (Vercruyssen *et al.*, 2009).

De drie nu aangeboden insectensoorten zijn het eenvoudigst te kweken; voor andere soorten zal dat moeilijker zijn o.a. door besmetting met bacteriën, schimmels, andere contaminaties. Op dit moment is er nog te weinig kennis over massakweekmethoden die voldoen aan veiligheids- en kwaliteitseisen voor menselijke consumptie. Een risico vormt het ontstaan van allergieën bij mensen die er veel mee werken. De kweek van insecten voor menselijke consumptie is momenteel nog beperkt, waardoor de prijs van (gevriesdroogde) insecten erg hoog is (ca. 5 euro/50g). Insecten worden in het geheel aangeboden; over de technologische aspecten bij het scheiden van de diverse insectendelen (bijv. vleugels/pantser van de lijfjes) en over isolatie van eiwit uit het insect is nog nagenoeg geen kennis, net zomin als over texturering van het eiwit.

Een alternatief voor de productie van insecteneiwit door massakweek van insecten is productie van insectencellen in een bioreactor. In tegenstelling tot kweekvlees worden hiervoor geen stamcellen gebruikt, maar wordt gebruik gemaakt van continue cellijnen. In dit geval is de samenstelling en voedingswaarden van het insecteneiwit vergelijkbaar met dat van eiwit uit hele insecten. Het voordeel van een bioreactor voor het kweken van insectencellen is dat de condities goed controleerbaar zijn, waardoor de productkwaliteit voorspelbaar is. Het risico van contaminaties van buitenaf is laag. Momenteel is de productiemethode echter nog te duur (kweekmedia). Geschat wordt dat de kostprijs met een factor van ca. 10 omlaag zal moeten.

2.3 Agronomische facetten, inhoudstoffen en voedselveiligheid van nieuwe reststroom grondstoffen

2.3.1 Landbouwreststromen

Landbouwreststromen zijn potentiële bronnen van eiwit voor consumptie. Enkele van deze bronnen zijn al in eerdere paragrafen behandeld. In deze paragraaf wordt meer algemeen ingegaan op dit type reststromen.

Nederland heeft met de haven in Rotterdam een grote toevoermogelijkheid van reststromen. Waarschijnlijk zijn de bestaande reststromen, die nu naar de diervoederindustrie gaan, inzetbaar voor winning van eiwitten voor duurzame humane eiwitproducten. Een andere interessante reststroom is wat na de oogst op het land blijft liggen (wortelloof, bietenloof). Bij het winnen van aminozuren uit reststromen, kunnen de aminozuren gebruikt worden voor humane/dierlijke consumptie en sommige als bouwsteen voor de chemische industrie (bv voor productie van Nylon-6).

Samenstelling

Nevenstromen bestaan over het algemeen uit cellulose, hemicellulose, lignine, mineralen, vet en eiwit. Veelal zijn reststromen complex, ze bevatten o.a. kalium en fosfaat, beide negatieve mineralen in Nederland, maar in andere delen van de wereld is er een tekort aan. De reststromen zijn grofweg in te delen naar hoeveelheid eiwit. Tarwestro, cacaodoppen, maïskoppen en suikerrietloof bevatten 0-5% eiwit en blijven vaak op het land liggen. Koffiepulp, raapstro en bietenloof bevat ca. 15% eiwit en gaat vaak naar diervoeders (koeien). Raapschroot bevat ca. 35% eiwit en sojaschroot ca. 50%. Deze laatste reststroom heeft met de huidige marktvaart al een hoge marktwaarde. De meest interessant reststromen zijn daarom die met 15 en 35% eiwit. Voor reststromen met 5% eiwit wordt aangenomen dat deze alleen interessant kunnen zijn als de opwaardering op het veld plaatsvindt.

Arosemena *et al.* (1995) vergelijken een aantal reststromen, o.a. bietenpulp, (bakkers)tarwe, tarwemaalseldistilleerder granen, sojazaadhuiden op eiwitgehalten, verteerbare vezels en mineralen. Zij vinden een grote variatie hierin, niet alleen tussen verschillende plantaardige bronnen, maar ook binnen stromen van dezelfde plantaardige bron, afhankelijk van ras. Daarnaast blijken hun resultaten op sommige punten sterk afwijkend van een eerdere studie, door de National Research Council. Zij concluderen dat dit niet verwonderlijk is omdat ze

binnen hun eigen studie al behoorlijk variatie vinden, maar ook wijzen zij op effecten door verschillen in analysemethodiek.

Weinig gegevens zijn bekend over mogelijke volumes van potentieel toepasbare reststromen. Een inventarisatie gericht op potentiële reststromen uit de Nederlandse voedings- en genotmiddelenindustrie voor de productie van biobrandstoffen, geeft het volgende beknopte overzicht voor eiwithoudende reststromen:

Tabel 7 Overzicht eiwithoudende reststromen, Bron: Bondt en Meeusen, 2008.

Industrie	Bijproduct	hoeveelheid op natgewichtbasis (1.000 ton per jaar)
Margarine, Vetten, Oliën	Oliezadenschroot	2814
Zetmeel en meel	Aardappelwit	42
	Aardappelpersvezel	395
	Maisglutenvoer	125

Naast deze nu al bestaande stromen zullen nieuwe reststromen ontstaan die vrijkomen bij de biobrandstoffenproductie:

- kool/raapzaadschroot (bevat ongeveer 30% eiwit en) komt vrij bij het persen van de olie die wordt gebruikt voor de biodieselproductie. Voor deze biodieselproductie zijn meerdere grondstoffen toepasbaar, maar voor Europa is raapzaad de belangrijkste grondstof (84% in 2006).
- eiwitrijke graandelen (zogenaamde distiller's grains, deze bevatten nu ongeveer 30% eiwit; dit percentage kan oplopen tot 50% eiwit als nieuwe technieken gebruikt worden bij de grondstofvoorbewerkingsstap) komen vrij als bijproduct van de bioethanolproductie.

De productie van biobrandstoffen is in sterke opmars en verschilt van land tot land.

Aangenomen wordt dat de reststromen in de komende tien jaar sterk zullen toenemen. In 2005 werd in Europa ongeveer 5,5 miljoen ton koolzaadolie geproduceerd, waarbij 7,8 miljoen ton schroot vrij is gekomen. In de Verenigde staten, een van de grootste producenten van bioethanol, kwam in 2006 12 miljoen ton distillers grain op de markt en er wordt voorzien dat deze stroom in de komende 10 jaren zal groeien naar 30 miljoen ton. De Rabobank (2007) verwacht dat in Europa in 2010 17,3 miljoen ton raapzaadmeel en ongeveer 4 miljoen ton distillers grain uit maïs en tarwe op de markt komt. De twee hierboven genoemde stromen worden nu volledig afgezet als diervoeder, maar zijn potentiële grondstoffen voor humane voedselproducten.

2.4 Economische facetten (Handelsstromen en –prijzen)

2.4.1 Productie

De productie van grondstoffen in 2007 binnen Europa is in kaart gebracht met gebruik van productiedata van de Food and Agriculture Organisation (FAO, 2009). De gegevens staan weergegeven in Tabel 8 en Bijlage 1. Tabel 8 toont de hoogst producerende landen per gewas binnen Europa met bijbehorende percentages. Alle landen met een productie van meer dan 10%

van het totaal zijn in de tabel opgenomen. De hoogst producerende landen worden als eerste genoemd. Binnen Europa is Italië de grootste producent van sojabonen met een aandeel van 55 procent. De eiwitpeulvruchten worden met name geproduceerd in Frankrijk en Spanje.

Nederland produceert 24 procent van de paddenstoelen en is daarmee de grootste paddenstoelenproducent van Europa.

Bijlage 1 toont de productievolumes per gewas binnen Europa. De percentages in de bijlage geven per gewas de verdeling van de productie over de landen aan.

In Tabel 8 en Bijlage 1 worden slechts gegevens verstrekt van de primaire productie van gewassen.

Tabel 8 Grootste producenten per gewas binnen Europa in 2007. Bron: FAO, 2009.

Grondstof	Herkomst (percentage van totale Europese productie)
<i>Traditionele grondstoffen</i>	
Sojabonen	Italië (55%), Roemenië (15%), Frankrijk (13%) Duitsland (29%), Frankrijk (25%), Groot-Brittannië (12%), Polen (12%)
Koolzaad	Frankrijk (30%), Groot-Brittannië (28%)
Eiwitpeulvruchten	Spanje (43%), Frankrijk (42%)
Groene erwten	Frankrijk (29%), Groot-Brittannië (26%), Italië (16%)
Linzen	Spanje (71%), Italië (17%)
Bonen	
Kikkererwten	
Granen	
Tarwe en spelt (granen)	Frankrijk (27%), Duitsland (18%), Groot-Brittannië (11%)
Haver (granen)	Polen (16%), Spanje (14%), Finland (14%), Zweden (10%)
<i>Potentieel nieuwe grondstoffen</i>	
Zonnebloemen (zaden)	Frankrijk (28%), Hongarije (21%), Spanje (15%), Bulgarije (12%), Roemenië (11%)
Paddenstoelen	Nederland (24%), Spanje (16%), Polen (14%), Frankrijk (12%), Italië (10%)

Noot: Groot-Brittannië is inclusief Noord-Ierland.

De productie van soja, koolzaad, tarwe en zonnebloemen in de wereld is weergegeven in Tabel 9.

Tabel 9 Grootste producenten per gewas in de wereld in 2007. Bron: FAO, 2009.

Grondstof	Herkomst	Wereldproductie (ton)
<i>Traditionele grondstoffen</i>		
Sojabonen	VS (33%), Brazilië (26%), Argentinië (22%)	220.532.612
Koolzaad	China (21%), Canada (19%), India (15%), Duitsland (11%)	50.577.880
Tarwe	China (18%), India (13%)	605.994.942
<i>Potentiële nieuwe grondstoffen</i>		
Zonnebloemen	Rusland (21%), Oekraïne (16%), Argentinië (13%)	26.841.965

2.4.2 Handelsstromen

In deze paragraaf worden de handelsstromen in kaart gebracht van de eiwithoudende grondstoffen (Tabel 10). Het betreft de import vanuit Europa naar Nederland. Voor soja, koolzaad, tarwe, harde tarwe en zonnebloemen is de mondiale import naar Nederland weergegeven. De landen van herkomst staan in volgorde van volumegrootte. Deze landen tezamen nemen tachtig procent van de import voor hun rekening. Tabel 10 laat zien dat

sojabonen en -schroot voornamelijk geïmporteerd worden vanuit Noord en Zuid Amerika. Tarwe wordt geïmporteerd vanuit Frankrijk en Duitsland terwijl harde tarwe vooral geïmporteerd wordt vanuit Canada en de Verenigde Staten. Koolzaad en zonnebloemen worden voornamelijk vanuit Europa geïmporteerd. Handelsdata betreffen het verhandelen van goederen. Vanwege de doorvoer van goederen is de herkomst van het geïmporteerde niet per definitie gelijk aan de plaats van primaire productie. Geïmporteerde grondstoffen kunnen worden geëxporteerd. Daarom geeft de import niet direct een inzicht in het verbruik binnen Nederland.

Tabel 10 Herkomst en hoeveelheid (ton) geïmporteerde grondstoffen naar Nederland in 2007.
Bron: Eurostat, 2009.

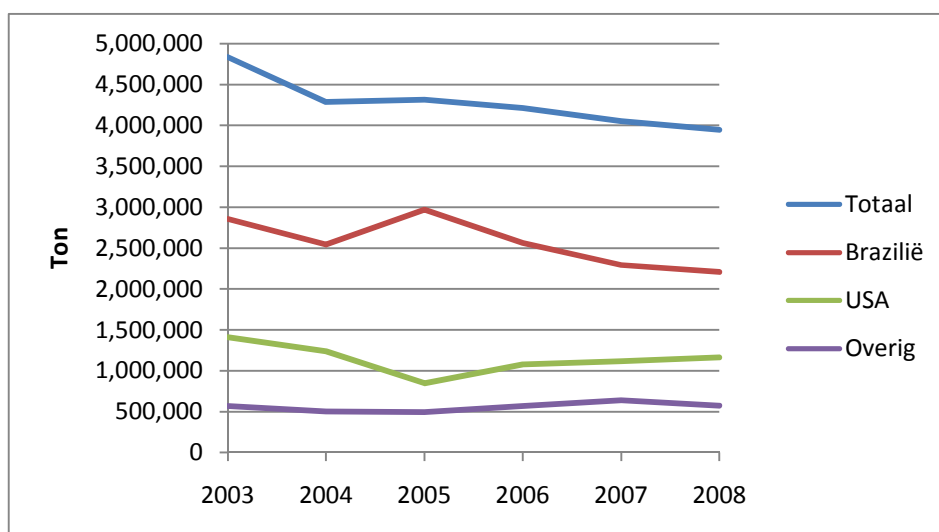
Productnaam	Herkomst	Import (ton)
<i>Traditionele grondstoffen</i>		
Sojabonen	Brazilië (57%), Verenigde Staten (27%)	4.188.717
Sojaschroot	Argentinië (50%), Brazilië (43%) Duitsland (29%), Frankrijk (21%), Oekraïne (11%), Groot-Brittannië (10%), Polen (6%), Denemarken (5%)	3.009.465
Koolzaad	Frankrijk (43%), Duitsland (40%)	929.749
Groene erwten	Duitsland (48%), Turkije (44%)	88.954
Linzen	Duitsland (31%), Spanje (26%), Frankrijk (16%), België (13%)	3.671
Bonen	Turkije (82%)	18.321
Kikkererwten	Frankrijk (62%), Duitsland (19%)	1.303
Tarwe en spelt	Canada (54), Verenigde Staten (14%), Frankrijk (11%), Duitsland (8%)	4.693.494
Harde tarwe	Polen (31%), Duitsland (28%), Groot-Brittannië (15%), Frankrijk (13%)	252.304
Haver		54.338
<i>Potentieel nieuwe grondstoffen</i>		
Zonnebloemen	Hongarije (33%), Duitsland (15%), Oekraïne (11%), Frankrijk (8%), Roemenië (7%), Slowakije (7%)	352.333
Paddenstoelen	Polen (56%), België (30%)	31.690
<i>Potentiele nieuwe restgrondstoffen</i>		
Reststromen maïszetmeel industrie	Frankrijk (63%), Duitsland (34%)	67.884
Aardappelzetmeel	Duitsland (40%), Frankrijk (38%), Zweden (13%)	61.413

Noot: Gegevens voor sojabonen, sojaschroot, koolzaad, tarwe en zonnebloemen betreffen de wereldhandel. Voor de overige producten betreft het de Europese handel. Alle importhoeveelbeden zijn exclusief zaaigoed.

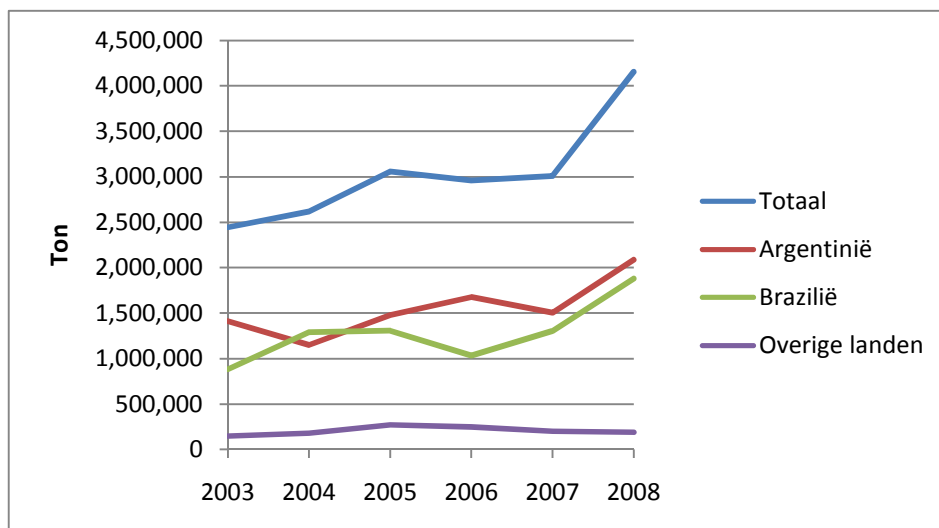
Van de producten sojabonen, sojaschroot, koolzaad, tarwe, harde tarwe en zonnebloemzaden staan hieronder figuren weergegeven betreffende de import voor de jaren 2003 t/m 2008.

Figuren 1 en 2 geven de import van respectievelijk sojabonen en sojaschroot weer. De import van sojabonen vertoont in de periode 2004 t/m 2008 een constante lichte daling. Deze daling wordt voornamelijk veroorzaakt door een daling van de import vanuit Brazilië. Brazilië neemt de helft van de import van sojabonen naar Nederland voor haar rekening.

Sojaschroot wordt voornamelijk geïmporteerd vanuit Argentinië en Brazilië (Figuur 2).

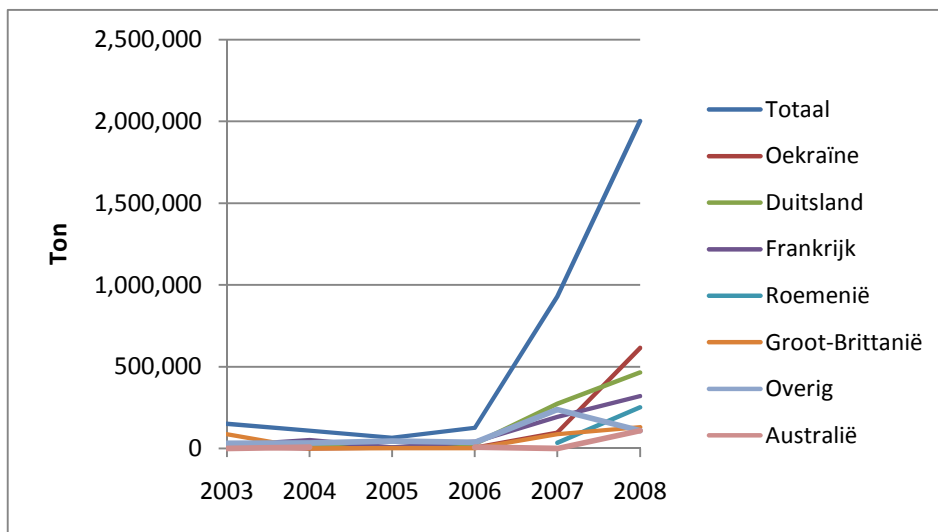


Figuur 1 De import van sojabonen naar Nederland (ton) in de periode 2003 t/m 2008.
Bron: Eurostat, 2009.



Figuur 2 De import van sojaschroot naar Nederland (ton) in de periode 2003 t/m 2008.
Bron: Eurostat, 2009.

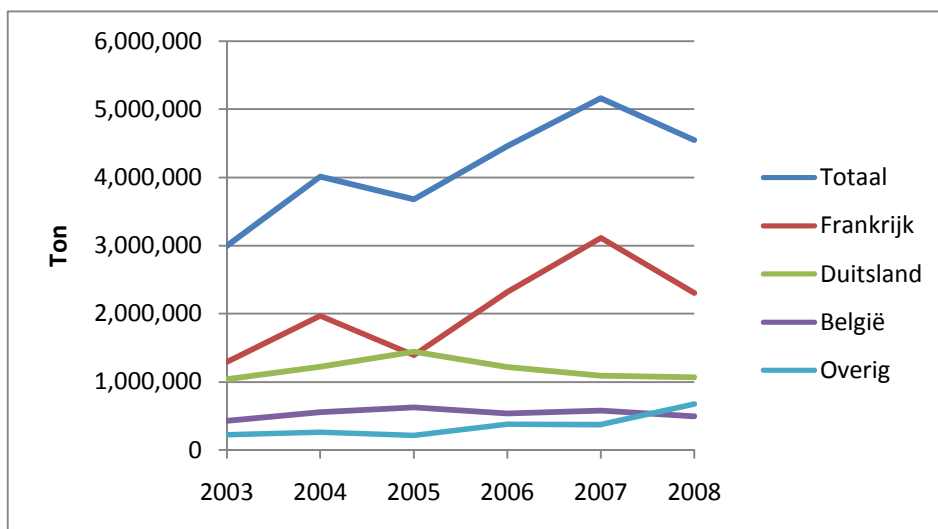
Uit Figuur 3 is af te lezen dat de import van koolzaad vanaf 2006 sterk is toegenomen. Waar de import vóór 2007 onder de 150.000 ton bleef is deze in 2008 gestegen naar meer dan 2 miljoen ton. Met name de import vanuit Oekraïne nam in 2007 toe. De import vanuit overige landen steeg ook sterk. Tussen 2006 en 2007 kwam deze stijging vooral door een aantal nieuwe importen vanuit Oost-Europa (Polen, Roemenië, Letland en Litouwen). Ook de import uit Denemarken steeg sterk. De import van deze landen daalde vervolgens in 2008 naar marginale waarden, met uitzondering van Roemenië, waarvan de import tussen 2007 en 2008 toenam van 35.000 ton naar ruim 250.000 ton. Opvallend is de importtoename vanuit Australië. Dit land kwam vanuit het niets opzetten met in 2008 een aandeel van vijf procent van de import.



Figuur 3 De import van koolzaad naar Nederland (ton) in de periode 2003 t/m 2008.

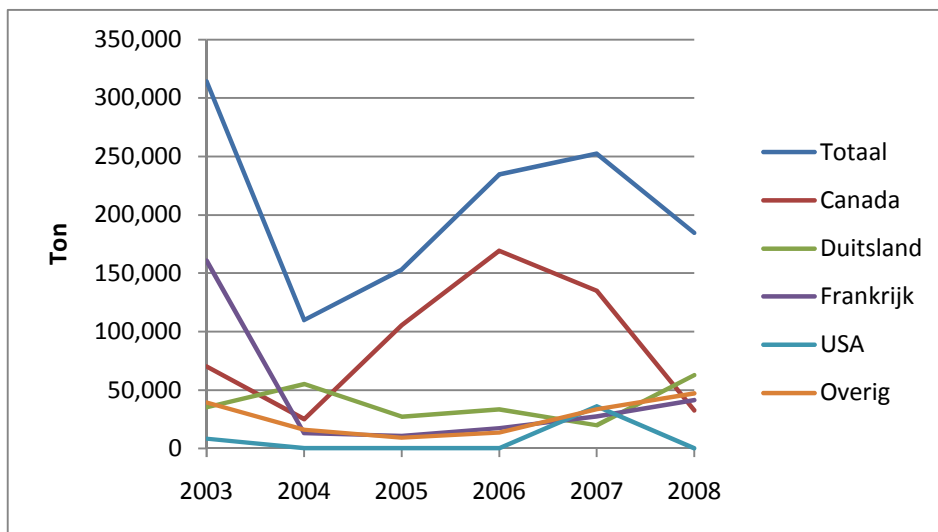
Bron: Eurostat, 2009

De import van tarwe verloopt in de periode 2003-2008 voor het grootste deel vanuit Frankrijk en Duitsland (Figuur 4). De schommeling in de totale import is te verklaren door de schommeling in de import vanuit Frankrijk.



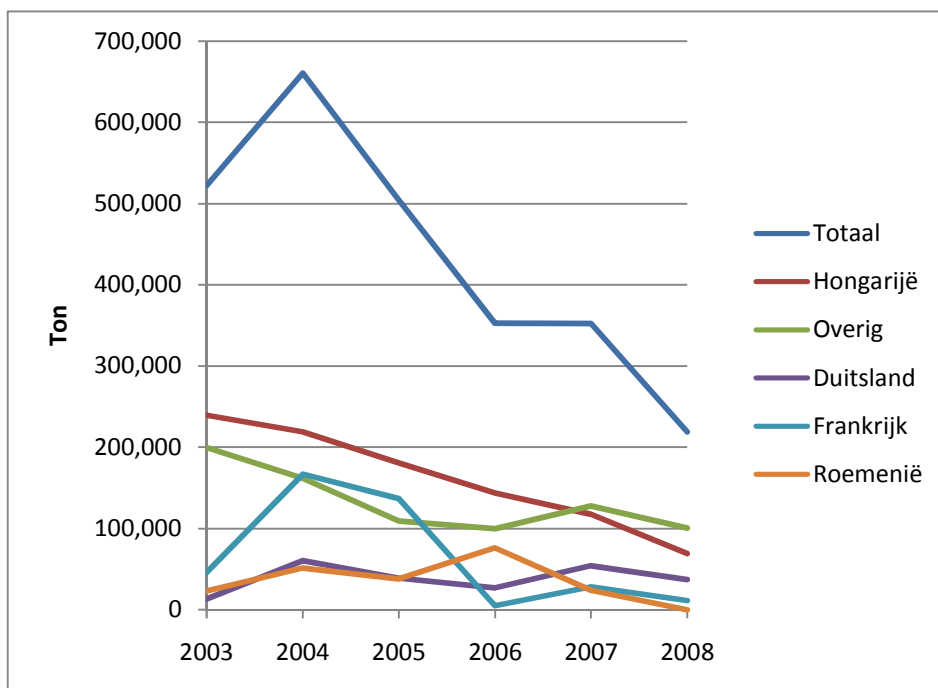
Figuur 4 De import van tarwe (granen en meel) naar Nederland (ton) in de periode 2003 t/m 2008. Bron: Eurostat, 2009

Canada is de voornaamste bron van import voor harde tarwe (Figuur 5). Schommelingen van tarwe uit Canada verklaren ook de schommelingen in de totale import. Het hoge aandeel import vanuit de Verenigde Staten in 2007, gegeven in Tabel 10, is een uitzondering. In overige jaren wordt geen/nauwelijks harde tarwe vanuit dit land geïmporteerd.



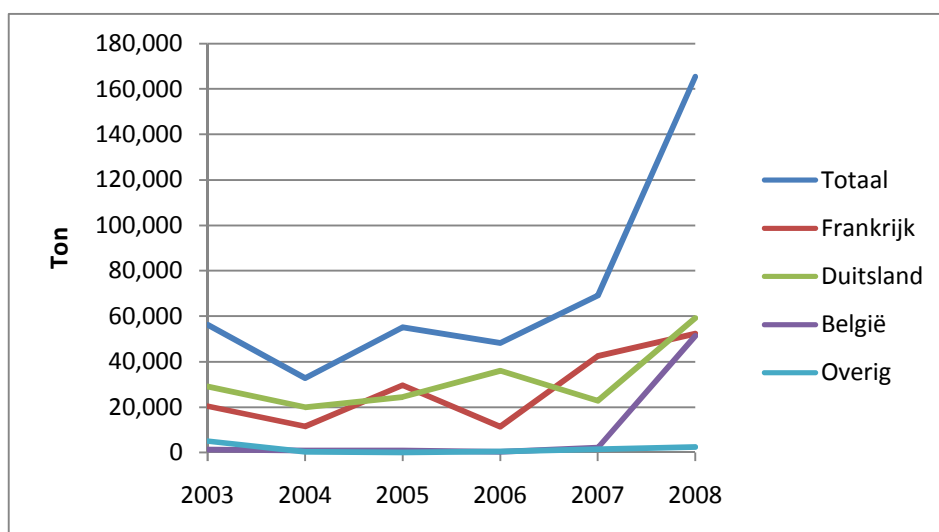
Figuur 5 De import van harde tarwe (granen en meel) naar Nederland (ton) in de periode 2003 t/m 2008. Bron: Eurostat, 2009.

De import van zonnebloemzaden in de periode 2003-2008 staat weergegeven in Figuur 6. Na 2004 is de import van deze zaden met bijna 70 procent gedaald.



Figuur 6 De import van zonnebloemzaden naar Nederland (ton) in de periode 2003 t/m 2008. Bron: Eurostat, 2009.

De reststromen uit de maïszetmeel industrie zijn vooral afkomstig uit Frankrijk, Duitsland en België (Figuur 7). Vanaf 2006 is de import van deze reststromen verdriedubbeld.



Figuur 7 De import van reststromen uit de maïszetmeelindustrie naar Nederland (ton) in de periode 2003 t/m 2008. Bron: Eurostat, 2009.

2.4.3 Handelsprijzen

In deze paragraaf worden de gewogen handelsprijzen van de grondstoffen in 2007 weergegeven (Tabel 11). Handelsprijzen verschillen per product en per land van herkomst. De prijzen in Tabel 11 zijn gewogen naar de geïmporteerde hoeveelheid van het product per land.

Het goedkoopste product uit de lijst is de reststroom uit de maïszetmeel industrie. Samen met tarwe, sojabonen en erwten zijn dit het enige producten die in 2007 geïmporteerd werden voor minder dan 250 euro per ton. Soja is hiermee de goedkoopste bron per gram eiwit.

Paddenstoelen zijn de duurste producten uit de lijst, met een prijs van ruim 1500 euro.

Paddenstoelen, bonen en kikkererwten vormen de top drie van duurste producten uit de grondstoffenlijst.

Tabel 11 Handelsprijzen (euro/ton) van de grondstoffen in 2007. Bron: Eurostat, 2009.

Productnaam	Gewogen prijzen (euro/ton)
<i>Traditionele grondstoffen</i>	
Sojabonen ¹	240
Sojaschroot ¹	240
Koolzaad ¹	310
Groene erwten	225
Linzen	520
Bonen	926
Kikkererwten	730
Tarwe en spelt ¹	180
Harde tarwe ¹	250
Haver	250
<i>Potentieel nieuwe grondstoffen</i>	
Zonnebloemen ¹	300
Potentiële nieuwe restgrondstoffen	
Paddenstoelen	1520
Reststromen maïszetmeel industrie	170

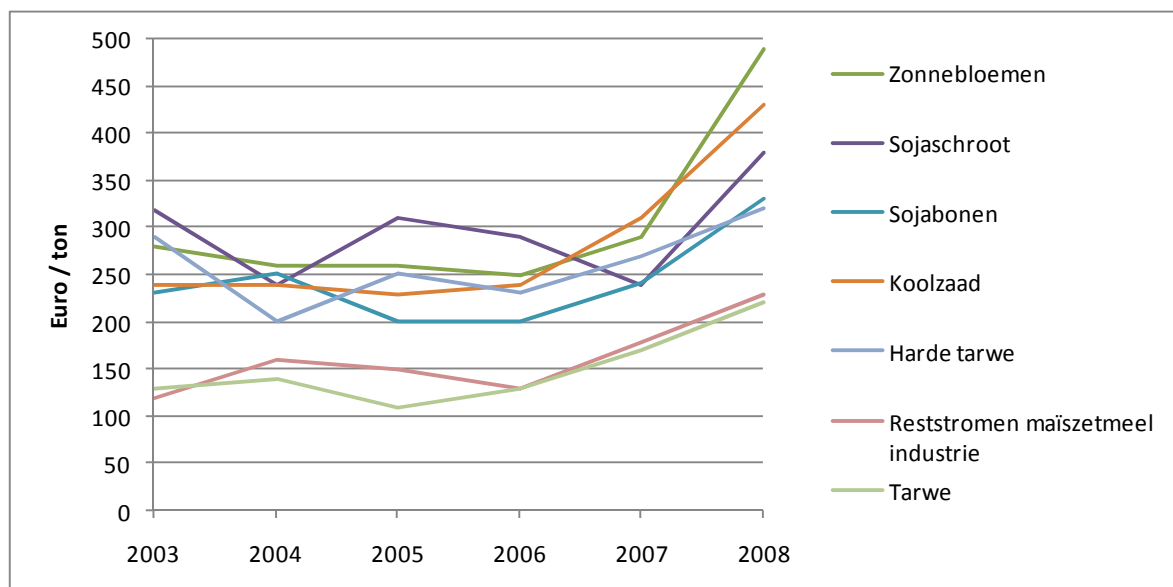
¹ Prijzen van de wereldmarkt

Een overzicht van de ontwikkeling van importprijzen van enkele producten is gegeven in Figuur 8. Tarwe is het goedkoopste product. Over het algemeen geldt dat de prijzen tussen 2003 en 2006 redelijk stabiel zijn gebleven en dat zich na 2006 een stijging van de prijs heeft voorgedaan. De prijsstijging tussen 2007 en 2008 is sterker dan die tussen 2006 en 2007. Dit laatste geldt het sterkst voor zonnebloemzaden.

2.4.4 Conclusies en discussie

Sojaschroot, koolzaad, en reststromen uit de maïszetmeel industrie kennen sinds 2006 een grote importstijging. De import van zonnebloemzaden laat in de periode 2003-2008 een redelijk constante daling zien.

Sojabonen: De import van sojabonen is relatief constant gebleven terwijl de prijs gestegen is. Dit betekent dat de vraag naar sojabonen in de rest van de wereld moet zijn toegenomen. In de toekomst zal de concurrentie om deze producten aanwezig zijn en de beschikbaarheid daarom beperkt en tegen hoge prijs.



Figuur 8 Importprijzen van enkele producten in de periode 2003-2008 (Euro per ton).

Door de toegenomen vraag is de import van koolzaad de laatste jaren verviervoudigd, waarbij de prijs met 70 procent gestegen is. Ook voor de aardappelzetmeel- en de reststromen uit de maïszetmeel industrie is zowel de import als de prijs toegenomen. De import van zonnebloemzaden heeft de laatste jaren een dalende trend laten zien terwijl de prijs is gestegen. De prijzen voor tarwe en harde tarwe zijn vanaf 2003 constant gestegen terwijl de import sterk heeft gefluctueerd.

Veel producten zijn onderling uitwisselbaar. Zo kunnen sojabonen, afhankelijk van hun toepassing, vervangen worden door sojaolie en sojaschroot (en zijn oliën van soja, koolzaad en zonnebloemen onderling uitwisselbaar). Een prijsdaling van één van deze substituten zal leiden

tot een verhoging van de vraag naar dit product waardoor de prijsdaling weer wordt afgevlakt of omgebogen.

Voor deze studie zijn de import hoeveelheden en importprijzen in kaart gebracht. Nederland is, met name dankzij de Rotterdamse haven, een groot doorvoerland van bulkproducten als soja, zonnebloemzaden en tarwe. De geïmporteerde hoeveelheden zijn hierdoor ongelijk aan de gebruikte hoeveelheden. Veel van de bulkproducten, waaronder sojabonen, worden in Nederland verwerkt en vervolgens doorgevoerd. Bovendien vinden er bij de grote verwerkers enorme voorraadmutaties plaats. Deze factoren maakt het zeer ingewikkeld en tijdrovend om de werkelijke gebruikte hoeveelheden in kaart te brengen. De beschikbaarheid van deze bulkproducten is afhankelijk van vele factoren zoals productie, klimaat, vraag naar deze producten elders in de wereld, de prijs die wordt geboden door de hoogste bieder en handelsbelemmeringen.

2.5 Conclusie

Er zijn diverse mogelijke plantaardige grondstoffen beschikbaar die in aanmerking komen als alternatieve eiwitbron. Vanwege hun hoge eiwitgehalte komen Leguminosen (vlinderbloemigen) zaden het meest in aanmerking en op de tweede plaats granen, maar andere aspecten, waaronder vooral smaak en kostprijs, moeten eveneens in beschouwing worden genomen.

Naast granen en Leguminosen zijn er nog tal van andere plantaardige bronnen beschikbaar en denkbaar die verdere studie verdienen. Koolzaad en zonnebloemen lijken relatief duur, ook vanwege de toepassing als bron voor biodiesel. Wanneer de extractie van de plantaardige olie uit deze gewassen zo uitgevoerd kan worden dat de eiwitfractie ook zonder ongewenste componenten en met voldoende functionaliteit voor verdere verwerking verkregen kan worden, zouden deze stromen ook een alternatieve plantaardige eiwitbron kunnen betekenen. Dit zou voor verduurzaming kunnen zorgen omdat uit één gewas zowel biodiesel als ook eiwitten voor voeding geëxtraheerd kunnen worden. De extractiemethoden moeten dan wel compatibel met elkaar zijn. Bovendien moet de nutritionele en industriële kwaliteit van de eiwitten wel hoogwaardig zijn. Deze optie om een gewas voor zowel food, feed als fuel te kunnen gebruiken vraagt voor alle biobased gewassen (eerste en tweede generatie) meer onderzoek. Paddenstoelen en algen zijn goede kandidaten wat betreft eiwitgehalte en beschikbaarheid. Macroalgen hebben het additionele voordeel dat ze een goede vetzuursamenstelling hebben met een hoog gehalte aan ω -3 PUFAs, inclusief visvetzuren als eicosapentaeen zuur (EPA, C20:5). Ook insecten lijken een goede eiwitbron. Echter hier zal meer onderzoek nodig zijn richting de teelt en technologie voor de winning en verwerking van het eiwit. Hiernaast zal consumentenacceptatie van producten uit insecten noodzakelijk zijn voor een succes van deze producten. Tenslotte dienen ook de mogelijkheden van grassen en reststromen verder onderzocht te worden.

3 Potentiële verwerkingstechnologieën

Voor de verwerking van potentiële grondstoffen tot voedingsproducten moet veelal de hoeveelheid eiwit geconcentreerd en ontdaan worden van ongewenste componenten. Hierna volgt een texturerings- en vormgevingstechniek voor de bereiding van halffabricaten of eindproducten.

3.1 Opwerking van de grondstof/winning van de eiwitten

Scheiding van de grondstoffen in een eiwitrijke en een eiwitarme fractie wordt grofweg uitgevoerd via een droog proces en een nat proces.

3.1.1 Droge scheiding

Bij de droge scheiding wordt de droge (of gedroogde) grondstof in eerste instantie vermalen, waarna scheiding in een eiwitrijke en een eiwitarme fractie op basis van een fysisch proces plaatsvindt. De scheiding vindt normaliter plaats m.b.v. windziften op basis van soortelijk gewicht/deeltjes grootte na malen. Afhankelijk van de techniek en het uitgangsmateriaal bevat de eiwitrijke fractie 40-75 % eiwit. Grove maling levert vaak een beperkte scheidingsgraad doordat slechts een gedeelte van het eiwit los wordt gemaakt van de zetmeeldeeltjes. Door verder te malen kan meer eiwit los worden gemaakt. Een te hoge mate van malen levert echter te kleine deeltjes op die niet gemakkelijk meer gewonnen kunnen worden (en worden afgevoerd met de luchtstroom).

Een technologie die al in andere sectoren wordt ingezet en op dit moment in ontwikkeling is voor het scheiden van agromaterialen is elektrostatisch scheiden. Bij deze techniek vindt scheiding plaats door verschil in oplaadbaarheid van droge poeder componenten (vezel, eiwit- en zetmeelfactie). Verwacht wordt dat de techniek het mogelijk maakt kleinere deeltjes van elkaar te scheiden dan mogelijk is met windziften. Ook bij minimale verschillen in dichtheid en deeltjesgrootte biedt de techniek nieuwe mogelijkheden. Hierdoor zou een hogere mate van scheiding mogelijk zijn. (Hamoen *et al.*, 2009).

3.1.2 Natte scheiding

Concentratie

Uitgaande van bijvoorbeeld ontvette soja of andersoortige cakes kan de eiwitfractie hiervan verhoogd worden door eerst wateroplosbare componenten op te lossen en te verwijderen tijdens een wasstap. Afhankelijk van de reststroom of andere te gebruiken invoerstroom moet mogelijk nog een maal en/of ontvettingsstap plaatsvinden tegelijk of voordat de wateroplosbare componenten verwijderd worden. Koolhydraten en eiwitten blijven bijna volledig onopgelost en na een verwijdering van het water spreekt men van een eiwitconcentraat. Concentraten bevatten ongeveer 65% eiwit.

Isolatie

Moet een hogere zuiverheid /concentratie van het eiwit bereikt worden, dan worden na het verwijderen van de wateroplosbare componenten de onoplosbare eiwitten eerst opgelost door

aanpassing van de procescondities en vervolgens weer gewonnen na afscheiding van de andere componenten. Afhankelijk van de oplosbaarheid van het eiwit en de gewenste zuiverheid/efficiency kan oplossing van de eiwitten plaatsvinden door de pH van de vloeistof aan te passen of door toevoeging van zouten. Na oplossing van de eiwitten worden de vaste delen afgescheiden door centrifuge of filtratie. De eiwitten worden vervolgens weer neergeslagen door aanpassing van de pH (iso-elektrisch punt precipitatie) of verhoging van de zoutconcentratie (uitzouten), waarna het eiwit verder geconcentreerd wordt d.m.v. membraanfiltratie en drogen.

3.1.3 Toepassing op potentiële grondstoffen

Waar voor de traditionele grondstoffen op het moment goede manieren voor het opwerken van de eiwitfractie bestaan en toegepast worden is dit niet altijd zo voor de nieuwe grondstoffen en reststromen.

Op het moment worden paddenstoelen alleen verkleind en als ingrediënt aan vegetarische producten als burgers toegevoegd. Over winning van eiwitten uit paddenstoelen voor de productie van hoogwaardige vleesvervangers is in de openbare literatuur geen kennis gevonden. Het natte proces biedt hiervoor mogelijk perspectief, maar mogelijk kan ook het gehele product na droging verder verwerkt worden.

Ook voor algen en wieren zal nog bestudeerd moeten worden welke technologie ingezet moet worden voor de winning van eiwitten. Die noodzaak van winning zal ondermeer afhankelijk zijn van de eiwitgehalten en andere ongewenste componenten, als kleur- en smaakstoffen, in de algen. Op dit moment worden uit wieren wel polysachariden (alginaten, agar-agar, etc.) geëxtraheerd, maar naar winning van de eiwitten is nog geen onderzoek verricht. Ook over de winning van eiwitten uit micro-algen voor toepassing in vleesalternatieven is weinig of niets bekend. Een van de grote nadelen van veel soorten algen is de zeer stevige celwand die het moeilijk maakt de eiwitten vrij te maken (Muylaert, 2009).

Hoewel al langere tijd wordt gesproken over het eten van insecten, is ook over insecten (of insectencellen) nog geen onderzoek bekend naar de winning van eiwitten uit deze grondstof. De gewenste manier van winning zal mede afhankelijk zijn van het insectensoort. Bij insecten met een pantser of ander ongewenste delen zullen deze delen waarschijnlijk eerst verwijderd moeten worden. Hierna zal het vlees wellicht direct verder verwerkt kunnen worden na bijvoorbeeld droging. Deze vragen worden nader onderzocht in een 4 jarig project dat in juni 2010 gestart is (SUPRO2, 2010).

Landbouw reststromen komen vaak vrij in een grote hoeveelheid water. Voor de verdere verwerking houdt dit in dat het water verwijderd moet worden, wat direct een negatief effect op de kostprijs van het eindproduct heeft. Voor sommige reststromen is deze droogstap niet (altijd) noodzakelijk. Raapschroot is bijvoorbeeld na de oliewinning droog, maar de reststroom die overblijft na ethanol productie uit tarwe (DGS, Distiller's Grains and Solubles) is relatief nat met 10% droge stof, waarvan 30% eiwit. In zo'n geval kan het beste voor de natte scheiding voor de winning van eiwit gekozen worden.

Nadeel van DGS is dat de reststroom bij 120°C is geweest, waardoor eiwitten denatureren en hun functionaliteit verliezen. Dit probleem zou opgelost kunnen worden door zetmeel enzymatisch te winnen. Burcon NutraScience (Canada) heeft een nieuw proces ontwikkeld om functioneel eiwit met verbeterde kleur en smaak uit raapzaadafval te winnen. Deze eiwitten zijn van een dusdanige kwaliteit dat ze geschikt zijn voor humane voeding (Schiavone, 2009). Op het land zou op kleine schaal grasraffinage kunnen plaatsvinden. Na eiwitverwijdering kunnen vezels terug op het land en waterverwijdering is niet nodig.

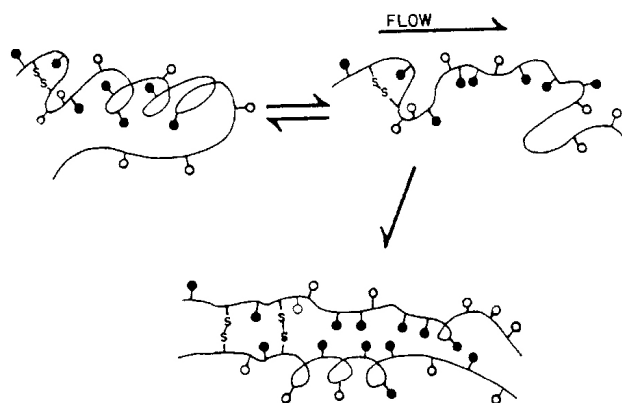
Opgemerkt dient te worden dat de beste manier van extractie van de eiwitten uit landbouwreststromen verder onderzoek vergt. Omdat naar de verdere verwerking van eiwitten uit deze landbouwreststromen, maar ook van eiwitreststromen na oliewinning uit koolzaad en zonnebloempitten, weinig onderzoek verricht is, is op dit moment niet aan te geven of deze eiwitten (nog) beschikken over de functionaliteit die noodzakelijk is voor de verdere verwerking richting plantaardige vleesvervangers. Vaak wordt verondersteld dat eiwitten zo min mogelijk gedenatureerd mogen zijn en dat daarom milde extractie methoden bij lage temperaturen toegepast moeten worden. Mogelijk kunnen echter ook (gedeeltelijk) gedenatureerde en minder pure eiwitten goed verder verwerkt worden, zoals ook het geval is bij bijvoorbeeld soja-eiwitten. Verder onderzoek per soort eiwitrijke grondstof naar de verwerkbaarheid is noodzakelijk om hier meer duidelijkheid over te krijgen.

3.2 Verdere verwerking

3.2.1 Extruderen

Een van oudsher veel gebruikte technologie voor het fabriceren van getextureerde eiwitten is extrusie onder invloed van hitte en druk. Traditioneel is ontvet soja meel (waaraan een geringe hoeveelheid water is toegevoegd) de meest populaire grondstof voor de productie van getextureerde plantaardige eiwitten. Ook (mengsels met) andere eiwitten als tarwe, lupine en erwt, zijn onderzocht en worden toegepast, maar de verwerkbaarheid van soja blijkt veelal beter te zijn dan van andere eiwitbronnen. Met deze grondstof kunnen op gecontroleerde wijze getextureerde eiwit 'brokken' en andere vormen (zoals vlokken) verkregen worden. Onder invloed van de hoge afschuifkrachten, verhoogde druk en temperatuur in de extruder, denatureren de eiwitten en smelt het product tot een zeer viskeuze massa. De krachten die de tertiaire en quarternaire structuren van de eiwitten stabiliseren worden door een combinatie van temperatuur, druk en afschuifkrachten in de extruder verbroken. Indien het driedimensionale netwerk in de grondstof erg rigide is kan deze vooraf gedestabiliseerd worden door toevoeging van proteases die door een beperkte hydrolyse van de eiwitten de flexibiliteit van het eiwitmolecuul verhogen.

Door het verbreken van het netwerk en de stroming in de extruder ontvouwen individuele eiwitten zich en richten deze zich in de stroming van het materiaal, zie Figuur 9.



Figuur 9 Schematische weergave van een eiwitmolecuul dat zich ontvouwt en richt met de stroming in de extruder, en de vorming van nieuwe bindingen met een ander molecuul. De open cirkels vertegenwoordigen hydrofiele aminozuren; gesloten cirkels hydrofobe residuen; S-S zijn covalente disulfidebruggen. Bron: Camire (1991).

Eerder afgeschermd aminozuren treden naar buiten en kunnen nu reageren met elkaar. Nieuwe inter-moleculaire banden tussen en binnen de eiwitten worden gevormd voordat het product de matrijs verlaat en het zijn uiteindelijke vorm krijgt. De nieuwe bindingen ontstaan bijvoorbeeld door de vorming van S-S bruggen en capillaire krachten tussen de vezels. Tot op zekere hoogte draagt het matrix materiaal (extra eiwit materiaal, onoplosbare vezels, water, olie en vetten) ook bij tot de vorming van het netwerk.

Voor het verkrijgen van vezelige texturen met anisotrope structuur is het tevens noodzakelijk dat de grondstof uit verschillende componenten bestaat. Dit is bijvoorbeeld het geval voor sojaisolaat, dat bestaat uit verschillende globulaire eiwitten, zowel natief als gedenatureerd, en niet-eiwit componenten. Incompatibiliteiten van de verschillende componenten gaan volledige menging tegen, waardoor een anisotroop materiaal ontstaat. Ook bijmengen van koolhydraten, andere eiwitbronnen, zoals tarwe eiwit, en (in geringe mate) vetten kan voor deze noodzakelijke anisotropie zorgen.

Tijdens het extrusieproces verlaat het plastische materiaal de extruder via een gekoelde matrijs. Doordat het materiaal van hoge druk opeens aan de atmosferische druk wordt blootgesteld expandeert het product direct na de matrijs waarbij water het product als damp verlaat en het product zijn uiteindelijke stevige vaste en getextureerde vorm krijgt. Na rehydratatie met water (en smaakstoffen) verkrijgt het product een redelijk mondgevoel en chewiness (kauwbaarheid) vergelijkbaar met gehakt, echter niet met een lapje vlees. Vroeger werden deze droge sojabrokken als eindproduct verkocht, maar nu worden ze veelal samen met andere ingrediënten in een verdere vormgevingsstap verwerkt tot het uiteindelijke product.

Om de texturele nadelen (de niet echt vezel-achtige maar meer sponsachtige textuur) tegen te gaan worden tegenwoordig plantaardige eiwitten met een hoger vochtgehalte en meer vet in

zogenaamde dubbelschroefsextruders verwerkt. Deze dubbelschroefsextruders is goed in staat het vet en water in de matrix in te mengen. Dit proces wordt ondermeer ontwikkeld in een parallel lopende BO-onderzoeksproject “vezels als vleesvervangers”. De op deze wijze geproduceerde producten vertonen een veel grotere gelijkenis met vlees.

Naast de eisen die gesteld worden aan het eiwit(mengsel) met betrekking tot de thermoplastische verwerking worden eisen gesteld aan het systeem voor het verkrijgen van de gewenste macrostructuur. Voor het nabootsen van vlees is het belangrijk dat de geëxtrudeerde producten sappig zijn. Sappigheid is gerelateerd met de hoeveelheid water en vet dat gebonden is aan het product en vrijkomt tijdens het eten. Vet bindende capaciteiten en emulgerende eigenschappen van het startmateriaal zijn daarom heel belangrijk. De distributie van vetbolletjes in de eiwitmatrix is echter niet alleen afhankelijk van de eiwitten, maar ook van de procescondities en het aandeel vet in de grondstof. Als de noodzakelijke vetbinding niet bereikt kan worden met de eiwitten en procesomstandigheden alleen kunnen extra vetbindende ingrediënten toegevoegd worden. Ook moeten de producten hun gelvormend vermogen behouden na extrusie. Dit geldt in het bijzonder voor hoog vocht- en vethoudend materiaal dat verkregen kan worden met dubbelschroefsextruders. Veel eiwitten hebben deze gelvormende eigenschappen, maar de geleigenschappen kunnen worden verbeterd door toevoeging van koolhydraten en andere componenten. Een bijkomend voordeel van de toegepaste procescondities tijdens extrusie is dat het kan leiden tot een verlaging van de hoeveelheid anti-nutritionele factoren in het product: componenten waarvan bekend is dat ze worden verminderd door extrusie zijn protease remmers, glycoalkaloïden, ricine, glucosinolaten en aflatoxinen.

Uit bovenstaande blijkt dat er veel eisen aan de grondstof voor extrusie worden gesteld. De eisen zijn vaak empirisch opgesteld en zijn niet hard te vertalen in fysische karakteristieken van de eiwitgrondstof. Uit het verleden blijkt dat praktisch bepaald wordt of en hoe bepaalde grondstoffen te verwerken zijn met een extruder. Dit is de reden dat nog steeds veel van soja uitgegaan wordt. Andere eiwitrijke grondstoffen zullen vaak ook verwerkbaar zijn, maar in dat geval moet praktisch onderzocht worden hoe zuiver en functioneel de eiwitten moeten zijn en welke andere ingrediënten en procesomstandigheden nodig zijn om te kunnen komen tot een vezelachtig vleesgelijkend eindproduct. Dit type onderzoek is tijdrovend en wordt slechts beperkt uitgevoerd door kleine partijen die in deze, op het moment nog niche markt, willen stappen.

3.2.2 *Spinnen*

Spinnen is een ander veel onderzocht, maar niet echt toegepast proces voor de bereiding van vleesvervangers. Voor plantaardige eiwitten wordt meestal het natte spinproces gebruikt. Tijdens het proces wordt de pH van de eiwitoplossing verhoogd tot boven de 10. Deze verhoogde pH zorgt voor een alkalische denaturatie (ontvouwing) van de eiwitten, waardoor een viskeuze massa verkregen wordt. Vervolgens wordt de viskeuze oplossing met een doseerpomp door kleine gaatjes in een spinneret geleid waar de initiële richting van de eiwitmoleculen plaatsvindt. De eiwitfilamenten coaguleren vervolgens tijdens het trekken van de draad door een aangezuurd

zoutbad. Na dit bad worden de filamenten van eiwitten verder gestrekt en georiënteerd om hun uiteindelijke sterkte en elasticiteit te krijgen. Tegelijkertijd worden de filamenten gebundeld en ontdaan van het grootste gedeelte van het zout en zuur tijdens de wasstap. Voor het verkrijgen van vleesachtige structuren worden eetbare bindmiddelen gebruikt om de filamenten fysiek te binden. Hiernaast is het van belang een bepaalde hoeveelheid vet toe te voegen aan de vezels zodat vleesvezels beter gesimuleerd worden. Hierbij moet zodanig gewerkt worden dat het vet niet uittreedt en aan de buitenkant van de vezel, als een mantel, gaat zitten waardoor een te grote heterogeniteit ontstaat. Het voordeel van deze heterogeniteit is wel de grotere gelijkheid met de gewenste structuur van vlees.

Met het spinproces wordt een duidelijk vezelachtige structuur à la vlees verkregen. Ook maakt het proces het mogelijk producten met variërende verschijningsvormen en nutritionele waarden te creëren. Het proces vereist echter zeer zuivere eiwitgrondstoffen. In de jaren 70 van de vorige eeuw heeft Unilever een proces uitontwikkeld waarmee producten verkregen zijn met de eigenschappen van kippenvlees. Het product was echter te duur, waardoor er geen marktvraag naar was en het project gestopt is.

Als alternatief van natspinnen kan spinnen in de smeltfase uitgevoerd worden, waarmee het vergelijkbaar is met extrusie. Dit smeltspinproces is in eigenlijk een kritische vorm van extrusie, waarbij een stevige draad wordt gevormd op het moment dat het materiaal de matrijs verlaat. In dit geval worden t.o.v. extrusie extra eisen aan de grondstof gesteld. Het eiwit mag bijvoorbeeld niet te rigide/stijf zijn, zodat het kan denatureren en kan smelten. De meeste natieve eiwitten vormen echter geen (viskeuze) smelt als ze alleen verwarmd worden. Dit wordt veroorzaakt door het stabiele driedimensionale netwerk. Molecuulaanpassingen maken het in sommige gevallen mogelijk om het netwerk te verzwakken. Ten eerste kunnen additieven toegevoegd worden, zoals reducerende en denaturerende componenten (bv. oppervlakreactieve stoffen) voor het verkrijgen van een smelt. Ten tweede kan een beperkte proteolyse uitgevoerd worden. Dit heeft als gunstige bijeffect dat de viscositeit tijdens rek daalt, resulterend in een betere spinbaarheid.

Een derde vorm van spinnen is het zogenaamde elektrospinnen. Bij deze techniek worden vezels verkregen met een diameter van enkele nanometers. Het huidige onderzoek naar deze techniek richt zich volledig op biomedische applicaties; productie van matjes voor tissue-engineering. Eisen die gesteld worden aan de grondstoffen zijn vergelijkbaar met de andere soorten van spinprocessen. Vanwege de kosten van het proces wordt aangenomen dat deze techniek niet ingezet zal gaan worden voor de productie van eiwitproducten voor humane consumptie.

3.3 Fermentatie

Fermentatie is een zeer traditionele manier om voedselproducten langer houdbaar te maken. Van oudsher worden in Azië sojabonen geweekt, gekookt en gefermenteerd met een schimmel (tempé), of na het weken gemalen en als een soort kaas bereid (tofu). Hierbij ontstaat een soort kaas/koek waarbij de houdbaarheid van het product verlengd is en tevens de verteerbaarheid van

de sojabonen verhoogd is. Gefermenteerde producten zijn homogene producten en vertonen op zichzelf niet de gewenste vleesachtige vezeltextuur.

3.4 Conventionele vleestechnologie

Voor de productie van vegetarische producten wordt op het moment veel gebruik gemaakt van conventionele vleesverwerkingapparatuur. Voorbeelden van deze apparatuur zijn:

- Cutters / mengers / wolven
- Injectoren
- Kolloïdmolens
- Rook/kookhuizen
- Vormmachines

Deze technologieën kunnen in het bijzonder van belang zijn in de voor- en nabehandlingsstappen, bijvoorbeeld voor het mengen/mixen van de ingrediënten en smaakstoffen, voor het vormen, of “setten” van de producten. In sommige gevallen worden al vezelachtige grondstoffen (zoals de schimmeleiwitten uit Quorn of geëxtrudeerde eiwitten) als halffabricaat verder verwerkt met deze conventionele technieken (mengen, coaten, vormen) tot eindproduct. Vaak ontstaan hierbij producten met een vrij homogene, hamburger-achtige textuur. Ook bij de productie van bijvoorbeeld Valess en Meatless worden conventionele technieken ingezet. Hierbij wordt gestart met de eiwitrijke massa waarna na inmengen van hulpstoffen en aanpassen van de procescondities (temperatuur, zoutconcentratie) een vezelachtige structuur van de eiwitten gekregen wordt. Aangenomen wordt dat bij de verwerking van nieuwe grondstoffen ook gebruik gemaakt zal worden van deze conventionele technieken. Ook op dit moment worden bijvoorbeeld al bij de bereiding van bestaande vegetarische producten geëxperimenteerd met toevoeging van alternatieve eiwitrijke ingrediënten.

3.5 Andere technologieën in ontwikkeling

Naast de hierboven beschreven toegepaste technologieën worden of zijn andere technologieën ontwikkeld en onderzocht op hun toepasbaarheid voor het creëren van de vezelachtige vleesalternatieven. Voorbeelden hiervan zijn:

Stoom /druk textureren

Vooraf in de patentliteratuur zijn meerdere technieken beschreven waarbij plantaardige (soja) eiwitten thermisch coaguleren terwijl de eiwitten onder afschuifkrachten georiënteerd worden en een vezelachtige structuur opleveren. De benodigde warmte wordt aan de viskeuze eiwitmassa toegevoegd middels hoge druk stoom, waarna het product na verlaten van het vat zijn uiteindelijke vorm krijgt. Ook zijn technieken bekend waarbij een zeer hoge druk wordt aangebracht op het vat met hierin het eiwitmengsel waardoor na afdrukken van de druk het water als stoom vrijkomt en voor een open structuur in het uiteindelijke product zorgt. Voor zover bekend worden deze technieken niet (meer) op industriële schaal toegepast.

Vries textureren

Bij deze technologie wordt uitgegaan van een eiwitsuspensie die vervolgens langzaam wordt bevroren. Afhankelijk van de ingestelde temperatuur, temperatuurgradiënt en tijd vormen zich ijskristallen in een bepaalde richting en ontstaan geconcentreerde eiwitgebieden. Het ijs kan vervolgens of direct met vriesdrogen verwijderd worden of kan na een hittecoagulatie (met behulp van bijvoorbeeld microgolven) van de eiwitten verwijderd worden waarna een vezelachtige structuur verkregen wordt. In Japan wordt vries texturering van oudsher toegepast voor het maken van een vezeligere tofu soort (kori-tofu). Voor zover bekend wordt het proces verder niet op grote schaal toegepast.

Textureren met behulp van een shear cell reactor

Een groot nadeel van een extruder voor de productie van eiwitrijke getextureerde producten is dat de verschillende procesvariabelen als druk, afschuiving, temperatuur en verblijftijd slechts in beperkte mate beheerst kunnen worden, waarbij de parameters variëren over de lengte van de extruder. De gebruikte (en naar verwachting optimale) instellingen zijn veelal empirisch bepaald. Met behulp van een shear cell reactor kunnen deze procesomstandigheden onafhankelijk van elkaar ingesteld worden, en kan het stromingsprofiel ingesteld worden, waardoor de textuur van het eindproduct beter beheerst kan worden. De technologie is in ontwikkeling, maar de eerste resultaten geven aan dat vezelachtige eiwitstructuren op een gecontroleerde wijze bereid kunnen worden (Manski *et al.*, 2008). Kennis die hierbij wordt opgedaan kan mogelijk ook vertaald worden naar eisen aan grondstoffen en procescondities in een extruder. Mogelijk kan deze technologie ook direct ingezet worden bij de productie van nieuwe vezelachtige vleesalternatieven uit de in dit rapport genoemde potentiële grondstoffen.

3.6 Conclusies

Voor de productie van hoogwaardige eiwitproducten moeten in eerste instantie de eiwitten gewonnen worden, waarna ze verder verwerkt worden tot eindproducten.

Voor de eiwitwinning bestaan meerdere standaard droge en natte winningsprocessen die al ingezet worden voor meer traditionele grondstoffen en mogelijk aangepast moeten worden voor nieuwe eiwitrijke grondstoffen. Voor vele nieuwe grondstoffen zal extra onderzoek nodig zijn naar deze aanpassingen in extractietechnieken. Bij voorkeur zal deze onder milde omstandigheden (bij lage temperatuur, zo min mogelijk gebruikmaken van agressieve oplosmiddelen) moeten plaatsvinden, waarbij de eiwitten zo min mogelijk denatureren. Hierdoor hebben zij het breedste toepassingsbereik, van vleesvervangers tot vervangers van ei-eiwit en melk-eiwitten. Uit ervaring blijkt echter ook dat de mate van denaturatie niet altijd bepalend is voor de verwerkbaarheid van de grondstof tot vleesvervanger. Verschillende soorten sojapreparaten met hierin koolhydraten en gedatureerde soja-eiwitten kunnen bijvoorbeeld nog goed met een extruder verwerkt worden tot een vezelachtige vleesvervanger. Het zal daarom noodzakelijk zijn per type grondstof te onderzoeken welke combinatie van eiwitwinning (bepalend voor de mate van zuiverheid en denaturatie/functionaliiteit van de eiwitten) en verdere verwerkingstechniek een kwalitatief goed product oplevert. Voor het verwijderen van ongewenste

componenten als pantsers van insecten, geur-, kleur- en smaakstoffen en celwanden bij bijvoorbeeld algen zullen wellicht (droge en natte) technieken aangepast of ontwikkeld moeten worden.

Wat betreft de verdere verwerkingstechnieken tot vleesvervangers bieden extrusie, maar ook conventionele vleesverwerkingstechnieken (alleen of in combinatie met een vorm van extrusie voor de bereiding van halffabricaten) goede mogelijkheden om te komen tot een kwalitatief goed eindproduct. Conventionele vleesverwerkingstechnieken zijn zeer goed inzetbaar bij de verwerking van eiwitrijke halffabricaten tot kant-en-klare hoogwaardige eiwitrijke eindproducten. Recente ontwikkelingen binnen de extrusietechnologie laten zien dat er steeds meer begrip wordt opgedaan over het verkrijgen van vezelachtige structuren die sensorisch vergelijkbaar zijn met kippenvlees (nog niet met varkens- en rundvlees). Verwacht wordt dat verder onderzoek waarbij ook minder traditionele grondstoffen dan soja en tarwe onderzocht zullen worden, het mogelijk zal maken ook deze grondstoffen een dergelijke vezelachtige structuur op te leggen. Onderzoek met shear cel reactoren maakt het mogelijk sneller kennis op te bouwen over eisen aan grondstoffen en procescondities in een extruder. Verder zou dergelijk onderzoek een basis kunnen leggen voor de ontwikkeling van technologieën die het mogelijk maken de vezelachtige structuur van varkens- en rundvlees nog dichter te benaderen

Andere verdere verwerkingstechnieken lijken minder potentie te bieden voor het creëren van hoogwaardige eiwitproducten met vleeskaracteristieken: het spinproces is te duur, fermentatieprocessen leveren niet de gewenste vezelige structuren, en ook stoom, druk en vries textureringstechnieken leveren niet de beoogde vleeskaracteristieken op of zijn te duur/slecht industrieel toe te passen.

4 Nieuwe voedingsmiddelen

In de voorgaande hoofdstukken zijn belangrijke voorwaarden voor (nieuwe) duurzame eiwitproducten benoemd. Echter, voordat een product op de markt gebracht kan worden moet gegarandeerd kunnen worden dat het product veilig is om te consumeren. Hiervoor is binnen de Europese Unie de verordening nieuwe voedingsmiddelen opgesteld. (EU 258/97). In deze verordening is bepaald dat alle voedingsmiddelen of voedselingrediënten die voor 15 mei 1997 niet in significante mate in de Europese gemeenschap voor humane consumptie zijn gebruikt, de zogenaamde Nieuwe voedingsmiddelen, eerst toegelaten moeten worden voordat deze op de markt worden gebracht. Onder Nieuwe Voedingsmiddelen vallen de volgende categorieën:

- voedingsmiddelen en voedselingrediënten met een nieuwe of doelbewust gemodificeerde primaire molecuulstructuur;
- voedingsmiddelen en voedselingrediënten bestaande of geïsoleerd uit micro-organismen, schimmels of algen;
- voedingsmiddelen en voedselingrediënten bestaande of geïsoleerd uit planten, evenals voedselingrediënten die uit dieren zijn geïsoleerd, met uitzondering van voedingsmiddelen en voedselingrediënten die volgens traditionele vermeerderings- of teeltmethodes zijn verkregen en die sinds lang voor voedingsdoeleinden worden gebruikt;
- voedingsmiddelen en voedselingrediënten waarop een weinig gebruikt productieprocedé is toegepast, voor zover dit procedé wijzigingen in de samenstelling of de structuur van de voedingsmiddelen en voedselingrediënten veroorzaakt die significant zijn voor hun voedingswaarde, hun metabolisme of hun gehalte aan ongewenste stoffen.

Voordat een firma een voedingsmiddel op de Europese markt kan introduceren zijn er - afhankelijk van de aard van het product - twee procedures die doorlopen moeten worden: de autorisatie (voor volledige nieuwe voedingsmiddelen) en de notificatie (vereenvoudigde procedure voor producten die gelijkwaardig zijn aan producten die al op de markt zijn).

4.1 Autorisatie

Een autorisatieaanvraag voor een nieuw voedingsmiddel moet bij één van de Europese lidstaten ingediend worden. Bij een aanvraag in Nederland moet een veiligheidsdossier met alle relevante gegevens worden ingediend bij het ministerie van VWS en gelijktijdig bij de Europese Commissie. Vervolgens beoordelen het bureau nieuwe voedingsmiddelen (BNV) en de commissie Veiligheidsbeoordeling Nieuwe Voedingsmiddelen (VNV) het veiligheidsdossier, waarbij het BNV de aanvrager zo nodig om aanvullende informatie vraagt. Op basis van de huidige stand van de wetenschap concludeert de commissie of het nieuwe product voldoende veilig is voor consumptie. Het bureau maakt een verslag van de bevindingen en biedt de minister van VWS dit adviesrapport aan. De minister formuleert op basis hiervan een Nederlands standpunt over het nieuwe voedingsmiddel.

Vervolgens krijgen alle Europese lidstaten de gelegenheid hun oordeel (een zogeheten tweede beoordeling) te geven over het dossier en de eerste beoordeling door Nederland. Als een dossier veel vragen oproept waardoor geen consensus onder de Europese lidstaten bereikt wordt kan de

Europese Commissie wetenschappelijk advies aan de European Food Safety Authority (EFSA) vragen. De formele besluitvorming over toelating van een nieuw voedingsmiddel vindt plaats in het Permanent Comité voor de voedselketen en de diergezondheid en eventueel in de Europese Ministerraad. Een positieve beslissing betekent dat het product in de hele Europese Unie mag worden verhandeld.

4.2 Notificatie

Bij een notificatie moet de aanvrager aantonen dat zijn product *wezenlijk gelijkwaardig* is aan een bestaand voedingsmiddel. In de praktijk moet het beroep dat de firma doet op wezenlijke gelijkwaardigheid door één van de lidstaten worden ondersteund. Daartoe baseert die lidstaat zich op een dossier met relevante gegevens van de aanvrager. Samen met de medewerkers van het Bureau Nieuwe Voedingsmiddelen vormt de commissie VNV op grond van de door de aanvrager verstrekte informatie een wetenschappelijk oordeel over de veiligheid van het product. Het beoordelingsrapport dient als advies aan de minister van VWS.

4.3 Praktische implicaties van de verordening

Duurzame eiwitproducten geproduceerd van een groot deel van de in dit document genoemde nieuwe grondstoffen (algen, reststromen, insecten) zullen vallen onder de verordening, waardoor een procedure gestart dient te worden voordat het product op de markt kan komen. Het verzamelen van de noodzakelijke data (zie Bijlage 2 voor de gewenste documenten) is tijdrovend en kan gepaard gaan met hoge kosten indien onderzoek naar de veiligheid en het voedingskundig onderzoek nog uitgevoerd moet worden.

De wettelijke termijn waarbinnen de afhandeling van een autorisatieaanvraag moet plaatsvinden is op zich kort: na indienen van een aanvraag bij het ministerie van VWS heeft het BNV 90 dagen de tijd om het dossier te behandelen (1^e beoordeling). De 2^e beoordeling door de andere Europese landen dient vervolgens binnen 60 dagen plaats te vinden. Praktisch blijkt vaak dat tijdens bestudering van het dossier extra vragen gesteld worden en er een verzoek komt voor additionele informatie. De 1^e beoordeling neemt hierdoor gemiddeld al snel 1 jaar in beslag (van Rossum, 2009). Ook tijdens de 2^e beoordeling bestaat de mogelijkheid dat om extra informatie wordt gevraagd, waardoor het proces niet binnen 60 dagen wordt afgerond. In de praktijk blijkt het volledige traject (van indienen tot marktintroductie) al snel meer dan 1 jaar te duren, voor sommige nieuwe voedingsmiddelen is hier 5-8 jaar over gedaan. Hieraan vooraf komt nog de noodzakelijke periode van dossier vorming.

4.4 Geplande wijzing in de procedure

Op het moment wordt er bij de EU gewerkt aan een aanpassing van de regulering nieuwe voedingsmiddelen (EC, 2008), welke mogelijk al in 2010 van kracht wordt. De aanpassing heeft o.a. als doel het proces beter te stroomlijnen en het veiligheidsbeoordelingssysteem beter af te stemmen op traditionele levensmiddelen (die in de huidige verordening als nieuwe voedingsmiddelen worden beschouwd). Bij goedkeuring van deze aanpassingen zal er één

gecentraliseerde Europese beoordelingsprocedure komen in plaats van de huidige nationale en Europese beoordelingen. De afstemming op traditionele levensmiddelen houdt in dat als de geschiedenis van veilig gebruik in het land van oorsprong (buiten de Europese Unie) is aangetoond en er geen wetenschappelijk gegrond bezwaar (van lidstaten en EFSA) bestaat voor marktintroductie, er geen autorisatieaanvraag nodig is. In dat geval is alleen een melding aan de hand van een kennisgeving noodzakelijk.

Hoewel nieuwe duurzame eiwitproducten niet direct als traditionele levensmiddelen beschouwd kunnen worden, wordt verwacht dat bijvoorbeeld voor producten gemaakt van insecteneiwitten het garanderen van voedselveiligheid in de toekomst gemakkelijker zal kunnen gaan verlopen indien de volledige insecten al lang onderdeel uitmaken van het normale voedselpatroon van een groot deel van de bevolking van derde landen.

5 Conclusie en discussie

Tijdens deze inventarisatie zijn verschillende eiwitbronnen geïdentificeerd als potentiële grondstof voor duurzame eiwitproducten. Vanwege hun hoge eiwitgehalte komen **peulvruchten** (leguminosomen zaden) het meest in aanmerking, maar andere aspecten, waaronder vooral smaak en kostprijs, moeten eveneens in beschouwing worden genomen. Tot op heden is de peulvrucht soja een van de belangrijkste grondstoffen voor vegetarische producten. Over soja en de verwerking hiervan is dan ook de meeste kennis aanwezig.

Vanwege de duurzaamheid (i.v.m. transport, ontbossing ten gevolge van sojateelt, meer directe grip op duurzaamheidsaspecten door Europa) lijkt het raadzaam gebruik te maken van locale/Europese grondstoffen en reststromen. Juist naar verwerking van deze grondstoffen is minder onderzoek verricht of praktische ervaring aanwezig. Aangenomen wordt dat soja (gedeeltelijk) vervangen kan worden door zaden van andere **peulvruchten** en **granen** waarbij producten verkregen kunnen worden met gelijksoortige structuren als nu op de markt zijn.

- Standaard technieken kunnen toegepast worden om uit deze zaden het eiwit te concentreren of isoleren.
- Voor het textureren van deze grondstoffen zullen de nu voor soja toegepaste technieken waarschijnlijk aangepast en geoptimaliseerd moeten worden. De eiwitten zijn slechter verwerkbaar dan soja, wat in eerste instantie opgevangen kan worden door menging van deze eiwitten met soja-eiwit. Verder onderzoek moet het mogelijk maken de hoeveelheid soja te verlagen.
- Tegelijkertijd zal extra onderzoek nodig zijn naar verwerking van zoveel mogelijk de gehele zaden.
- Concentratie/isolatie van eiwitten levert een grondstof die beter te textureren is, maar bij de eiwit-opwerkingsstap ontstaat tegelijkertijd een zetmeelstroom die ook afgezet moet worden. Dit kan een nadeel zijn op het moment dat de vraag naar vleesvervangers sterk stijgt.
- De textuur van de huidige op soja gebaseerde vegetarische producten is vezelig, maar duidelijk minder vezelig dan vlees. Extra onderzoek blijft nodig en loopt ook al om de structuur nog vezeliger te krijgen met behoud van water- en vetbindende eigenschappen, zeker als de nu nog minder toegepaste grondstoffen gebruikt worden.

Naast granen en peulvruchten zijn er nog tal van andere plantaardige bronnen beschikbaar en denkbaar, die wat samenstelling en beschikbaarheid potentie hebben gebruikt te worden als eiwitgrondstof:

- **Koolzaad en zonnebloemen** tonen potenties maar lijken relatief duur. Wanneer er een duaal gebruik gemaakt kan worden van deze oliehoudende gewassen en naast de olie ook de eiwitfractie geïsoleerd kan worden op een dusdanige manier dat nutritionele en industriële eigenschappen behouden blijven, wordt de prijs per kg eiwit relatief lager.
- **Paddenstoelen en algen** zijn goede kandidaten en hun potentieel moet duidelijk verder uitgediept worden. Sommige micro- en macroalgen hebben het additionele voordeel dat ze een goede vetzuursamenstelling hebben met een hoog gehalte aan ω -3 vetzuren.

- Verder dienen ook de mogelijkheden van **grassen en reststromen (zoals snij-afval)**, die nu als veevoer of helemaal niet worden gebruikt, verder onderzocht te worden.
- Tenslotte verdient ook een opkomende reststroom de aandacht, namelijk de **reststroom van eerste en tweede generatie biobased gewassen**. Gewassen waarvan ofwel suiker of zetmeel, ofwel de lignocellulose gebruikt wordt voor de productie van biobrandstoffen, kunnen ook een eiwitreststroom opleveren. Ook hier geldt dat deze plantaardige eiwitten mogelijk voor dierlijke of humane consumptie gebruikt kunnen worden wanneer de juiste extractiemethode gevonden kan worden en wanneer de eiwitten goede nutritionele en industriële kwaliteiten hebben. Ook dit vraagt nog zeer veel onderzoek, maar levert een verduurzaming op van zowel de landbouw als ook van de biobased economy. Kennis hierover reikt verder dan de Nederlandse landbouw en geeft Nederland een regiefunctie op het gebied van de landbouw handelsstromen die via Rotterdam binnen komen.

Hiernaast bieden de volgende grondstoffen mogelijkheden:

- **Insecten en insectencellen**
- **Kweekvlees**
- Over de verwerking van deze potentiële grondstoffen is nog weinig bekend. De opwerking van deze grondstoffen tot verder te verwerken en te textureren eindproducten is veelal niet of beperkt onderzocht. Voor een rendabele winning van eiwitten zal bij de ontwikkeling van opwerkingstechnieken aandacht besteed moeten worden aan de nieuwe (zetmeel-, vezel-, en vet-houdende) reststromen die hierbij vrij kunnen komen. Hiernaast is onderzoek nodig naar textureringstechnologie voor de nieuwe eiwitrijke grondstoffen.
- In het specifieke geval van insecten kan opgemerkt worden dat voor het eten hiervan momenteel grote mediabelangstelling bestaat. Naast aandacht voor technologische aspecten zal ook veel aandacht voor marketing nodig zijn om de westerse (Nederlandse) bevolking aan het eten van insecten(producten) te krijgen en zal de kostprijs naar beneden moeten.
- Dit laatste zal ook gelden voor kweekvlees. Vanwege de stamcellen die gebruikt worden om het vlees uit te kweken, brengt kweekvlees ethische aspecten met zich mee die, als deze niet goed toegelicht worden, de faalkans van kweekvlees drastisch zullen verhogen. Op dit moment is het onderzoek naar kweekvlees nog niet in het stadium dat al producten gemaakt zijn voor consumptie. Volgens de onderzoekers zal het ook nog minimaal vijf jaar duren voordat kweekvlees zodanig ontwikkeld is dat het product rijp is voor de markt.

De verordening Nieuwe Voedingsmiddelen zorgt voor een extra rem op toepassing van veel van de nieuwe grondstoffen in voedingsmiddelen. Door deze verordening zullen waarschijnlijk de meeste producten bereid uit de nieuwe grondstoffen via een formeel circuit toegelaten moeten worden als voedingsmiddel. Hierbij vergt zowel de aanvraagprocedure als het onderbouwen van een veiligheidsdossier veel tijd. Met de verwachte aanpassing van de verordening zal de procedure in de toekomst waarschijnlijk sneller verlopen, maar ook dan zal het naar verwachting meerdere jaren duren voordat een vleesvervanger gebaseerd op insecten of algen op de markt gebracht kan worden.

Toekomst: combinatie van food-feed-fuel in een biobased economy

Voor de meeste geïdentificeerde traditionele grondstoffen besproken in paragraaf 2.1 bestaat op dit moment al een afzetmarkt. De grondstoffen met hogere eiwitfracties worden nu vaak afgezet als veevoeders. Er lijkt nu wel een verschuiving te komen om de eiwitten via mildere extractiemethoden te extraheren zodat ze ook voor humane consumptie ingezet kunnen worden (Voorbeeld: eiwitextractie uit de zetmeelaardappel waar het eerste product het zetmeel is; door verandering in het extractieproces kunnen veel hoogwaardiger eiwitten geïsoleerd worden). In de groep nieuwe grondstoffen en biobased reststromen (§2.2) lijken de grondstoffen met veel koolhydraten of olie zoals eerste generatie biobased gewassen, oliehoudende zaden en algen vooral bruikbaar te zijn voor de productie van biobrandstoffen. Het is de verwachting dat de vraag naar deze groep grondstoffen sterk zal toenemen in de komende decennia bij de transitie naar een biobased economy. Bij de ontwikkeling van nieuwe processen voor de productie van biobrandstoffen ligt nu veelal de aandacht op winning van de componenten noodzakelijk voor de biobrandstofproductie (het winnen van energie uit de reststromen) en eventueel verdere valorisatie van de stromen door afzet van het restant richting veevoeders. Daarnaast wordt onderzocht of de eiwitrijke reststromen beter gevaloriseerd kunnen worden door verdere afbraak tot aminozuren, inzetbaar als stikstofrijke grondstof voor de chemische industrie (Brehmer *et al.*, 2008). De zogenaamde bioraffinage richt zich hiermee volledig op de driehoek biobrandstof-veevoer-chemie (of wat nu nog voornamelijk gebeurt: de koppeling biobrandstof/veevoer), waarmee er geen rekening wordt gehouden met afzet richting de humane voeding. Veel onderzoek vindt hierbij nog plaats op kleine schaal. Het is noodzakelijk meer onderzoek te richten op de pure eiwitwinning, of op een raffinage waarbij eiwitten als een van de belangrijke componenten wordt gezien, voordat conclusies getrokken kunnen worden over de potenties van het gebruik van deze reststromen voor humane consumptie. Bij dit onderzoek zal ook bestudeerd moeten worden wat het effect van winning van de eiwitten op de (functionele) eigenschappen van de eiwitfractie is. Dit is niet alleen van belang wat betreft aanwezigheid van mogelijke anti-nutritionele factoren of toxische componenten, maar ook wat betreft de verwerkbaarheid en smaak en acceptatie van de consument.

Een competitie om deze grondstoffen kan wellicht voorkomen worden door bij de bioraffinage rekening te houden met de grondstofeisen die gesteld worden aan eiwitten voor humane consumptie. **Een samenwerking tussen onderzoek gericht op biobrandstof, diervoeders en voedingsmiddelen is daarom zeer gewenst.**

Samenvattend is in Tabel 12, pagina 48, een quickscan gemaakt van de perspectieven die de diverse grondstoffen bieden om nader onderzocht te worden op hun potentie om ingezet te worden als vleesvervanger. De eerste drie kolommen zijn ook terug te vinden in Tabel 2, omdat deze facetten; eiwitgehalte, opbrengst in ton/ha en in €/ha de basis vormen voor zo'n perspectief. Daarnaast in een algemeen indruk van het teeltperspectief gegeven, waarbij ook ziektegevoeligheid en geschiktheid voor aanpassing aan het Noord-West Europese klimaat is opgenomen. De volgende kolom geeft een indruk voor de perspectieven vanuit

verwerkingstechnologie en de laatste kolom geeft een totaalimpressie van het perspectief voor de betreffende grondstof als vleesvervanger, gebaseerd op de teelt- en verwerkingsperspectieven maar waarbij ook smaakperceptie en publieke acceptatie als criteria zijn meegenomen. Natuurlijk kunnen deze criteria in de loop van de tijd veranderen; de hier gegeven waardering is een inschatting, door de auteurs van het rapport, voor de huidige situatie en nabije toekomst.

Tabel 12 Toekomstperspectieven van potentiële grondstoffen.

	Eiwit g/kg FW*	Opbrengst ton/ha in NL	Netto opbrengst €/ha in NL	Teelt Perspectief - = slecht +++ = zeer goed	Perspectief i.v.m., processing - = slecht +++ = zeer goed	Totaal Perspectief
<i>Traditionele grondstoffen</i>						
Soja	365-500	2-5 (USA)	Niet in NL	-	+++	+++
Erwten	54	5-7	170-541	++	++	++
Veldbonen (<i>Vicia faba</i>)	250-350	6	-153	+++	++?	++
Phaseolus vulg. (Stamslaboon)	Geen data aanwezig	6.5-10	690	++	++?	+
Phaseolus vulg. (Tuinboon)	215-240	14	1235	++	++?	+
Kikkererwt	200	2-4 (Midden- Oosten)	Geen data	-	+++?	+++
Lupine	280-480	1-5	Geen data	+++	++	+++
Tarwe	105-135	8-9	500-800	++	+++	++
Gerst	80-130	6-8	190-360	++	++	+
Haver	120-170	4-5.5	165	++	++	++
Winterkoolzaad (in "cake")	350	4	15	+++	++	+
Suikerbiet	16	63-74	650-1150	+++	?	+
Consumptie- aardappel	17-21.5	42-57	1900-2600	++	+	+
Zetmeel- aardappel	Geen data	45	1045	++	+?	+
Grassen	4-6	4.5-6	350-800	+++	+?	-
<i>Potentieel nieuwe grondstoffen</i>						
Algen		4	15	+++?	++?	+++
Paddenstoelen	150-330	nvt	Nvt	+++	++?	++
<i>Potentieel nieuwe restgrondstoffen</i>						
Bietenloof + -stengel	22		650-1150 (inclusief knol)	++	+?	+
Tarwestro	120-300	3-4.5	500-800 (inclusief zaad)	+++	+?	+
Koolzaad stro	Geen data	2.5	15 (inclusief zaad)	+++	+?	+
Sojaschroot	10.5-14.4	Niet in NL	Niet in NL	-	+++	+
Kweekvlees	400- 750/kgDM			+++	-	+++?
Insecten	10-20			++	+?	++?

* FW is op basis van versgewicht.

5.1 Aanbevelingen voor beleid en verder onderzoek

Uit de studie blijkt dat er veel potentiële mogelijkheden voor de ontwikkeling van duurzame hoogwaardige eiwitrijke producten als vleesvervanger zijn, maar dat tegelijkertijd nog veel vragen open staan voordat overgegaan kan worden tot het produceren van hoogwaardige vleesvervangers. Op dit moment komen de toegepaste grondstoffen nog voornamelijk van buiten Europa en is soja de belangrijkste grondstof voor vleesvervangers. Over deze grondstof is het meeste bekend wat betreft agronomische facetten, inhoudsstoffen, voedselveiligheid en verwerkbaarheid. Opgemerkt moet worden dat de soja-eiwitten die als vleesvervangers dienen eigenlijk een ‘reststroom’ zijn die vrijkomt bij de oliewinning uit de sojabonen. Voor de korte termijn is het aan te bevelen de aandacht op soja te blijven richten, waarbij gezocht wordt naar mogelijkheden voor betere eindproducteigenschappen. Met het oog op duurzaamheid zal het beleid zich op de langere termijn meer moeten richten op Europese alternatieven voor soja (in verband met ontbossing door sojateelt, verlaging van ‘foodmiles’, en het verkrijgen van meer directe grip op duurzaamheidsaspecten door Europa) en zullen andere duurzame oplossingen gevonden moeten worden omdat de noodzaak van nieuwe eiwitbronnen en het gedeeltelijk vervangen van dierlijke eiwitten steeds groter wordt en omdat de hoeveelheid (plantaardige) eiwit(rest)stromen toeneemt.

Aanbevolen wordt in het beleid en de daarmee samenhangende onderzoeksagenda de aandacht te vestigen op de volgende onderwerpen:

- **Verbeterde verwerkingstechnologie voor soja**
Voor de *korte termijn* verdere ontwikkeling van de technologie zodat producten verkregen worden die beter aansluiten bij de wensen van de consument.
- **Toepassing van andere Europese eiwitbronnen als alternatief voor soja**
Voor de *langere termijn* zal een duurzaam alternatief voor soja gezocht moeten worden. Hierbij moet gedacht worden aan toepassing van gewassen als peulvruchten, oliezaden en in mindere mate granen uit Europa, insecten, algen en landbouw- of ‘Biobased’ reststromen. Vooral over deze grondstoffen is meer informatie nodig over potentiële beschikbare volumes, variatie in exacte samenstelling, veiligheidsaspecten, duurzaamheid en manieren ter verwerking van de grondstoffen tot een acceptabel vegetarisch product.
- **Procestechnologisch onderzoek richten op het ontwikkelen van (nieuwe) verwerkingstechnologieën en verbeteren van grondstofkwaliteiten**
Onderzoek wat het mogelijk maakt vleesvervangers te maken uit al gebruikte en nieuwe grondstoffen (zie bovenstaand punt) die voldoen aan de wensen van de consument met betrekking tot vooral vezeligheid en sappigheid. Dergelijke technologieën kunnen zowel gericht zijn op de processing (winning en verwerking) maar ook op aanpassingen van de grondstof zoals een verhoging van vezelige eiwitten in planten.
- **Koppelen van de “Biobased Economy” aan de “Food Economy”:**
Wensen en eisen voor zowel humane voeding, diervoeding als biobrandstoffen dienen simultaan bestudeerd te worden. Dit geldt zowel voor reststromen als voor andere

grondstoffen die gebruikt of onderzocht worden als grondstof voor de biobrandstof- en de veevoerindustrie. Op dit moment wordt gesproken over bioraffinage waarbij, uitgaande van de ruwe grondstof, de verschillende deelstromen afzet vinden binnen de veevoerindustrie (eiwitten en vezels), biobrandstofindustrie en chemie (suikers, aminozuren). Voor het verkrijgen van duurzame oplossingen voor de productie van vleesvervangers is het belangrijk het onderzoek te koppelen aan dit bioraffinageconcept. Wanneer de transitie naar een Biobased Economy echt doorgang gaat vinden, treedt er een verschuiving op van nieuwe plantaardige reststromen die duurzaam ingezet zouden kunnen worden als nieuwe eiwitbron en als vleesvervangers voor humane voeding. Verdeling kan dan een rol spelen om naast een hoog vet of suikergehalte ook de eiwitcompositie als kwaliteitsmerker mee te nemen. Er moet ook gedacht worden aan de eiwitten in het loof van gewassen.

- **Aanpassen van de Europese regelgeving mbt “Nieuwe Voedingsmiddelen”**

Op dit moment lijkt de regelgeving voor nieuwe voedingsmiddelen een belemmering op te leveren voor het gebruik van nieuwe grondstoffen. Door de noodzakelijke dossieropbouw en doorlooptijd van de aanvraag die deze regeling met zich meebrengt, kan deze innovaties in de weg staan. Er zal bestudeerd moeten worden in hoeverre deze regelgeving nog belemmerend werkt nu deze wordt aangepast en of er mogelijkheden bestaan om de (Europese) regelgeving zodanig aan te (laten) passen dat nieuwe grondstoffen gemakkelijker toegepast kunnen worden.

- **Inzetten op internationale samenwerking**

Omdat zowel de productie van duurzame hoogwaardige eiwitten als de hiermee samenhangende regelgeving voor nieuwe voedingsmiddelen niet alleen nationaal belangrijke onderwerpen zijn is het aan te bevelen deze onderwerpen zowel nationaal als op Europees niveau prominenter op de onderzoeksagenda te plaatsen.

Literatuur

- Abbas, T.E.E., Yagoub, Y.M. (2008) Sunflower cake as a substitute for groundnut cake in commercial broiler chicks diets. *Pakistan Journal of Nutrition* 7 (6), 782-784.
- Achakzai, A.K.K., Bangulzai, M.I. (2006) Effect of various levels of nitrogen fertilizer on the yield and yield attributes of pea (*Pisum sativum* L.) cultivars. *Pakistan Journal of Botany* 38 (2), 331-340.
- Arosemena, A., DePeters, E.J., Fadel, J.G. (1995) Extent of variability in nutrient composition within selected by-product feedstuffs. *Animal Feed Science and Technology* 54 (1-4), 103-120.
- Becker, E.W. (2007), Micro-algae as a source of protein. *Biotechnology Advances* 25, 207-210.
- Bindraban, P., E. Bulte, S. Conijn, B. Eickhout, M. Hoogwijk, en M. Londo (2009), Can biofuels be sustainable by 2010? An assesment for a n obligatory blending target of 10% in the Netherlands, Scientific Assesment en Policy Analysis Climate Change, Bilthoven, WAB report 500102024, jan 2009.
- Boekhoff, M., G. Meijer, R. Bakker, N. Bondt, en A. Smelt (2008), Feed or Fuel. Biofuels en effecten op de kwaliteit en beschikbaarheid van diervoedergrondstoffen in Nederland, Lelystad, Wageningen UR – ASG rapport 132, mei 2008.
- Bondt, N. en M.J.G. Meeusen (2008), Bijproducten voor biobrandstoffen, Den Haag, Wageningen UR - LEI, rapport 3.08.01, feb 2008.
- Braudo, E.E., Danilenko, A.N., Dianova, V.T., Krokha, N.G. (2001) Alternative approaches to the manufacture of plant protein products from grain legumes. *Nahrung - Food* 45 (6), 405-407.
- Brehmer, B., B. Bals, J. Sanders, en B. Dale (2008) Improving the corn-ethanol industry: Studying protein separation techniques to obtain higher value-added product options for distillers grains, *Biotech and Bioeng.* 101 (1), 49-61.
- Camire, M.E. (1991) Protein functionality modification by extrusion cooking, *J. Am. Oil. Chem. Soc.*, 68, 200-205.
- Carr, P.M., Martin, G.B., Horsley, R.D. (2008) Wheat grain quality response to tillage and rotation with field pea. *Agronomy Journal* 100 (6), 1594-1599.
- Dawczynski, C., Schubert, R., Jahreis, G. (2007) Amino acids, fatty acids, and dietary fibre in edible seaweed products. *Food Chemistry* 103 (3), 891-899.
- Doppenberg, J., en P. van der Aar (2007), Biofuels: implications for the feed industry, Wageningen, Wageningen Academic Publishers.
- Dorsselaer, I van (2009) Krokkelkroket met kakkerlak, *De standaard magazine*, april 2009.
- Duc, G., Marget, P., Esnault, R., Le Guen, J., Bastianelli, D. (1999) Genetic variability for feeding value of faba bean seeds (*Vicia faba*): Comparative chemical composition of isogenics involving zero-tannin and zero-vicine genes. *Journal of Agricultural Science* 133 (2), 185-196.
- Duranti, M. (2006) Grain legume proteins and nutraceutical properties. *Fitoterapia* 77 (2), 67-82.
- EPOBIO (2007), Micro- and macro-algae: utility for industrial applications, Carlsson, A.S, J.B. van Beilein, R. Möller, en D. Clayton, Newbury, Berks UK, CPL Press. September 2007.

- Erman, M., Yildirim, B., Togay, N., Cig, F. (2009) Effect of phosphorus application and Rhizobium inoculation on the yield, nodulation and nutrient uptake in field pea (*Pisum sativum* sp. *arvense* L.). Journal of Animal and Veterinary Advances 8 (2),301-304.
- Eurostat (2009), Statistics for International Trade Analysis (SITA).
- FAO (2009), Faostat data. Food and Agriculture Organisation of the United Nations.
- Gooding, M.J., Kasyanova, E., Ruske, R., Hauggaard-Nielsen, H., Jensen, E.S., Dahlmann, C., Von Fragstein, P., Launay, M. (2007) Intercropping with pulses to concentrate nitrogen and sulphur in wheat. Journal of Agricultural Science 145 (5), 469-479.
- Guillamón, E., Pedrosa, M.M., Burbano, C., Cuadrado, C., Sánchez, M.d.C., Muzquiz, M. (2008) The trypsin inhibitors present in seed of different grain legume species and cultivar. Food Chemistry 107 (1), 68-74.
- Haagsman, H.P., K.J. Hellingwerf, en B.A.J. Roelen (2009), Production of animal proteins by cell systems. - Desk study on cultured meat ("kweekvlees"), Utrecht, Faculteit Diergeneeskunde, oktober 2009.
- Hamoen, J.R., T. Voordouw, J.A.H. Willemsen, K.A. Togtema, Energiezuinige Productie van Plantaardige ingrediënten middels Elektrostatisch scheiden, Agrotechnology and Food Science Group Rapport 1003, 18 december 2009.
- Huis, A. van en F. Meerman (2005), Insecten als voedsel, Lezingenserie Insect en Maatschappij, jan. 2005.
- Huis, A. van (2007) Insecten als voedsel, hoofdstuk 6.
- Huis, A. van (2007) Insecten als voedsel, proteïnes op pootjes, Bodytalk.
- Huis, A. van (2009) Duur vlees zet insect op de kaart, Financieel Dagblad, maart 2009.
- Huis, A. van (2009), persoonlijke communicatie, Wageningen University.
- Israël, B. (2009), persoonlijke communicatie, Agrotechnology & Food Science Group, Wageningen UR.
- Itterbeeck, J. (2008) Entomophagy and the West: barriers and possibilities, ecological advantages and ethical desirability. MSc Thesis, Lab. of Entomology and Applied Philosophy Group, Wageningen UR.
- KWIN-AGV: Kwantitatieve Informatie Akker bouw en Vollegrondsgroenteteelt 2009. PPO Publicatienummer PPO 383. ISSN: 1571-3059.
- Langelaan, M.L.P., K.J.M. Boonen, R.B. Polak, F.P.T. Baaijens, M.J. Post, and D.W.J. van der Schaft (2010), Meet the new meat: tissue engineered skeletal muscle, Trends in Food Science & Technology 21, 59-66 .
- Lauk, R., Lauk, E. (2008) Pea-oat intercrops are superior to pea-wheat and pea-barley intercrops. Acta Agriculturae Scandinavica Section B: Soil and Plant Science 58 (2), 139-144.
- Linnemann, A.R. en D. Swaving Dijkstra (2002) Towards sustainable production of protein-rich foods: Appraisal of eight crops for Western Europe. PART 1. Analysis of the primary links of the production chain, Crit Rev. Food Sci. Nut. 42 377-401.
- Reith, J.H., et al. (2005), Bio-Offshore: Grootschalige teelt van zeevieren in combinatie met offshore windparken in de Noordzee, Petten, ECN rapport C--05-008.
- Martens, D. (2009) persoonlijke communicatie, Wageningen University.

- Miller, P.R., Engel, R.E., Holmes, J.A. (2006) Cropping sequence effect of pea and pea management on spring wheat in the northern Great Plains. *Agronomy Journal* 98 (6), 1610-1619.
- Muylaert, K. (2009) Inventarisatie Aquatische Biomassa. K.U.Leuven Campus Kortrijk.
- Nierle, W., El Wahab El Bayd, A. (1977) Examination and composition of some legume seeds [Untersuchung und Zusammensetzung einiger Leguminosen]. *Zeitschrift für Lebensmittel-Untersuchung und -Forschung* 164 (1), 23-27.
- O'Connor, G.E., Evans, J., Black, S., Fettell, N., Orchard, B., Theo, R. (2009) Influence of agronomic management of legume crops on soil accumulation with nitrate. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 1-18, Article in Press.
- Pageau, D., Lajeunesse, J., Lafond, J. (2007) Effect of seeding rate on productivity of dry pea under cool climate | [Influence de la densité de semis sur la productivité du pois sec cultivé sous un climat frais]. *Canadian Journal of Plant Science* 87 (1), 41-48.
- Pyle, D.J., Garcia, R.A., Wen, Z. (2008) Producing docosahexaenoic acid (DHA)-rich algae from biodiesel-derived crude glycerol: Effects of impurities on DHA production and algal biomass composition. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 56 (11), 3933-3939.
- Rabobank (2007), BRICs and biofuels. The modern-day challenge of a mature feed & meat market. Rabobank International, juni 2007.
- Rodiño, A.P., Hernández-Nistal, J., Hermida, M., Santalla, M., De Ron, A.M. (2009) Sources of variation for sustainable field pea breeding. *Euphytica* 166 (1), 95-107.
- Roy, F., Boye, J.I., Simpson, B.K. (2009) Bioactive proteins and peptides in pulse crops: Pea, chickpea and lentil. *Food Research International*. Article in Press.
- Rossum, C.M.A. van (2009) Persoonlijke communicatie, agentschap CBG - Bureau Nieuwe Voedingsmiddelen.
- Sanders, J. (2009) Persoonlijke communicatie. Wageningen University.
- Schiavone, K. (2009) Canola protein to jump in human nutrition game, *US Canola Digest* 4 (4), 20-21.
- Sobkowicz, P., Śniady, R. (2004) Nitrogen uptake and its efficiency in triticale (*Triticosecale* Witt.) - Field beans (*Vicia faba* var. *minor* L.) intercrop. *Plant, Soil and Environment* 50 (11), 500-506 .
- Sonnenberg, A. (2009) Persoonlijke communicatie. Plant Research International (PRI), Wageningen UR.
- Soon, Y.K., Lupwayi, N.Z. (2008) Influence of pea cultivar and inoculation on the nitrogen budget of a pea-wheat rotation in northwestern Canada. *Canadian Journal of Plant Science* 88 (1), 1-9.
- Strydhorst, S.M., King, J.R., Lopetinsky, K.J., Harker, K.N. (2008) Forage potential of intercropping barley with faba bean, lupin, or field pea. *Agronomy Journal* 100 (1), pp. 182-190.
- SUPRO2 (2010), Sustainable production of insect proteins for human productions, Research project, Wageningen UR (Arnold van Huis).

- Veerman, A. (2003) Teelthandleiding zetmeelaardappelen, Agrobiokon / Praktijkonderzoek Plant & Omgeving BV, december 2003.
- Verkerk, M.C., J. Tramper, J.C.M. van Trijp en D.E. Martens (2007) Insect cells for human food, *Biotech. Adv.* 25, 198–202.
- Vercruyssa, L., J. van Camp, N. Morelc, P. Roug ed, G. Herregodsa, en G. Smagghea (2009) Ala-Val-Phe and Val-Phe: ACE inhibitory peptides derived from insect protein with antihypertensive activity in spontaneously hypertensive rats, *Peptides*, article in press.
- Verkerk, M.C., D. Schop, A.S. Miron, M.M. van Oers, J. Tramper, D.E. Martens, The nutritional value of insect cells in terms of protein quality, in prep.
- Vereijken, J., (2009) *Persoonlijke communicatie*. Agrotechnology & Food Sciences Group, Wageningen UR.
- Verkerk, M.C., J. Tramper, J.C.M. van Trijp, D.E. Martens (2007) Insect cells for human food, *Biotech. Advances* 25, 198-202.
- Wang, N., Hatcher, D.W., Gawalko, E.J. (2008) Effect of variety and processing on nutrients and certain anti-nutrients in field peas (*Pisum sativum*). *Food Chemistry* 111 (1), 132-138.
- Wichmann, S., Loges, R., Taube, F. (2006) Grain yield, N₂ fixation and N balance of peas, faba beans and narrow-leafed lupins in monocrop and in intercropping with cereals | [Kornertr age, N₂-fixierungsleistung und N-fl achenbilanz von erbsen, ackerbohnen und schmalbl attrigen lupinen in reinsaat und im gemenge mit getreide]. *Pflanzenbauwissenschaften* 10 (1), 2-15.
- Wiebe, M.G. (2002), Myco-protein from *Fusarium venenatum*: a well-established product for human consumption, *Appl. Microbiol Biotechnol* 58, 421-427.
- Wiebe, M.G. (2004) Quorn™ myco-protein - Overview of a successful fungal product. *Mycologist* 18 (1), 17-20.

Websites:

- www.ambujagroup.com/deoiled.asp
- www.bugsplaza.nl
- erapoly.trustpass.alibaba.com/product/108057537-101304541/RAPESEED_Cake.html
- www.insecteneten.nl
- www.nal.usda.gov/fnic/foodcomp/search/
- www.veneca.nl
- nl.wikipedia.org/wiki/Hoofdpagina
- www.cbg-meb.nl/CBG/nl/nieuwe_voedingsmiddelen
- <http://www.pdv.nl/>

Bijlagen

Bijlage 1 Productie van eiwitrijke gewassen binnen Europa in 2007

Tabel 13 Productie in tonnen van eiwitrijke gewassen binnen Europa in 2007 en procentuele bijdrage per gewas per land.

	Tarwe	%	Tuinbonen	%	Kikkererwten	%	Linzen	%	Sojabonen	%
Ierland	684,900	1		0		0		0		0
Italië	7,260,309	6	97,137	16	7,131	17	1,244	3	442,151	55
Oostenrijk	1,399,341	1	10,055	2		0		0	50,926	6
Letland	807,300	1		0		0		0		0
Litouwen	1,390,700	1		0		0		0		0
Malta	9,200	0	800	0		0		0		0
Nederland	990,000	1	2,500	0		0		0		0
Tsjechische Republiek	3,955,437	3	1,700	0		0	1	0	18,000	2
Polen	8,378,600	7		0		0		0	500	0
Portugal	135,800	0	18,000	3	650	2		0		0
Roemenië	2,866,234	2		0	470	1		0	123,252	15
Slovenië	133,339	0	30	0		0		0	348	0
Slowakije	1,440,637	1	1,500	0	500	1	300	1	11,932	1
Spanje	6,376,900	5	38,600	6	29,900	71	15,400	43	1,200	0
Zweden	2,254,700	2		0		0		0		0
Groot-Brittanië ¹	13,362,000	11	160,000	26		0		0		0
België	1,480,710	1		0		0		0		0
Luxemburg	70,400	0		0		0		0		0
Bulgarije	2,390,610	2		0	264	1	1,503	4	68	0
Cyprus	9,000	0	400	0	90	0	6	0		0
Denemarken	4,519,200	4		0		0		0		0
Estland	322,000	0		0		0		0		0
Finland	796,800	1		0		0		0		0
Frankrijk	33,219,000	27	242,000	39		0	15,000	42	102,000	13
Duitsland	21,366,800	18	38,000	6		0		0	1,000	0
Griekenland	1,403,200	1	5,600	1	3,100	7	1,800	5	4,000	0
Hongarije	3,988,177	3	550	0	45	0	480	1	47,400	6
Totaal	121,011,294	100	616,872	100	42,150	100	35,734	100	802,777	100

Bron: FAO, 2009

¹Inclusief Noord-Ierland

Tabel 14 Productie in tonnen van eiwitrijke gewassen binnen Europa in 2007 en procentuele bijdrage per gewas per land, vervolg.

	Zonnebloemzaden	%	Koolzaad	%	Groene erwten	%	Paddenstoelen	%	Haver	%
Ierland		0	20,000	0	2,600	0	75,000	7	144,100	2
Italië	271,090	6	14,962	0	90,000	8	100,000	10	407,315	5
Oostenrijk	62,991	1	142,131	1	8,459	1	900	0	98,948	1
Letland		0	211,700	1	200	0	500	0	130,200	1
Litouwen		0	311,900	2	328	0	3,500	0	119,500	1
Malta		0		0	100	0	1,000	0		0
Nederland		0	14,000	0	30,000	3	245,000	24	8,000	0
Tsjechische Republiek	51,888	1	1,038,400	6	6,000	1	350	0	171,584	2
Polen	5,000	0	2,112,600	12	39,100	3	138,000	14	1,486,500	16
Portugal	16,500	0		0	7,700	1	1,050	0	47,900	1
Roemenië	521,489	11	348,169	2	7,344	1	2,600	0	239,997	3
Slovenië	427	0	14,740	0	210	0	1,200	0	5,547	0
Slowakije	135,376	3	336,368	2	3,000	0	1,000	0	40,349	0
Spanje	743,400	15	37,800	0	62,000	5	160,000	16	1,274,200	14
Zweden		0	223,000	1	40,000	3		0	892,300	10
Groot-Brittannië ¹		0	2,108,000	12	330,000	28	72,000	7	740,000	8
België		0	38,470	0	53,840	5	43,000	4	23,877	0
Luxemburg		0	18,400	0	10	0	5	0	5,600	0
Bulgarije	564,447	12	93,018	1	4,867	0	1,716	0	22,532	0
Cyprus		0		0	800	0	1,200	0	500	0
Denemarken		0	596,300	3	10,000	1	11,000	1	311,600	3
Estland		0	132,400	1	100	0	100	0	81,500	1
Finland		0	114,000	1	6,400	1	2,000	0	1,265,900	14
Frankrijk	1,376,000	28	4,554,000	25	355,000	30	125,000	12	443,000	5
Duitsland	47,000	1	5,320,000	29	27,100	2		0	800,000	9
Griekenland	19,000	0	6,000	0	9,500	1	2,500	0	130,000	1
Hongarije	1,032,300	21	498,200	3	92,000	8	21,200	2	122,167	1
Totaal	4,846,908	100	18,304,558	100	1,186,658	100	1,009,821	100	9,013,116	100

Bron: FAO, 2009

¹Inclusief Noord-Ierland

Definitie nieuwe voedingsmiddelen

Nieuwe voedingsmiddelen zijn voedingsmiddelen of voedselingrediënten die vóór 15 mei 1997 niet in significante mate in de Europese gemeenschap voor de menselijke voeding zijn gebruikt en die vallen onder de volgende categorieën:

- voedingsmiddelen en voedselingrediënten met een nieuwe of doelbewust gemodificeerde primaire molecuulstructuur;
- voedingsmiddelen en voedselingrediënten bestaande of geïsoleerd uit micro-organismen, schimmels of algen;
- voedingsmiddelen en voedselingrediënten bestaande of geïsoleerd uit planten, alsmede voedselingrediënten die uit dieren zijn geïsoleerd, met uitzondering van voedingsmiddelen en voedselingrediënten die volgens traditionele vermeerderings- of teeltmethodes zijn verkregen en die sinds lang voor voedingsdoeleinden worden gebruikt;
- voedingsmiddelen en voedselingrediënten waarop een weinig gebruikt productieprocedé is toegepast, voor zover dit procedé wijzigingen in de samenstelling of de structuur van de voedingsmiddelen en voedselingrediënten veroorzaakt die significant zijn voor hun voedingswaarde, hun metabolisme of hun gehalte aan ongewenste stoffen.

Producten die als additief of aroma worden gebruikt in voedingsmiddelen, of als extractiemiddel bij de productie, worden niet als NV beschouwd. Levensmiddelen bestaande uit of geproduceerd met genetisch gemodificeerde organismen vielen oorspronkelijk onder de Nieuwe Voedingsmiddelen verordening, maar zijn sinds september 2003 opgenomen in een eigen verordening (1829/2003/EC).

Toelating

Net als bij een geneesmiddel dient een bedrijf officieel toestemming te vragen voor het introduceren van een nieuw voedingsmiddel op de Europese markt. Een aanvraag moet worden ingediend bij de bevoegde autoriteit van één van de Europese lidstaten en moet tegelijkertijd worden aangemeld bij de Europese Commissie. In Nederland is de bevoegde autoriteit het Ministerie van Volksgezondheid, Welzijn en Sport (VWS).

In opdracht van de minister van VWS beoordeelt het Bureau Nieuwe Voedingsmiddelen (BNV) van het College ter Beoordeling van Geneesmiddelen (CBG) de veiligheid van nieuwe voedingsmiddelen. Uitgangspunten daarbij zijn de Europese verordening 258/97 en de daarbij behorende aanbeveling 97/618/EG. Het bureau maakt voor de beoordeling gebruik van de expertise van een onafhankelijke commissie van deskundigen: de commissie Veiligheidsbeoordeling Nieuwe Voedingsmiddelen (VNV).

¹ Bron: College ter Beoordeling van Geneesmiddelen, http://www.cbg-meb.nl/CBG/nl/nieuwe_voedingsmiddelen

Hoe breng ik een nieuw voedingsmiddel op de markt?

Een officiële aanvraag voor markttoelating moet worden ingediend bij zowel de Europese Commissie te Brussel als bij de bevoegde autoriteit van één van de Europese lidstaten. In Nederland is de bevoegde autoriteit het Ministerie van Volksgezondheid, Welzijn en Sport (VWS). De minister vraagt het Bureau Nieuwe Voedingsmiddelen om een wetenschappelijke beoordeling van de voedselveiligheid van het product. Het Bureau stelt haar adviezen op samen met een commissie van onafhankelijke deskundigen: de Commissie Veiligheidsbeoordeling van Nieuwe Voedingsmiddelen (VNV).

Autorisatie aanvraag (volledige toelatingsprocedure)

De aanvraag voor autorisatie van een nieuw voedingsmiddel (Voor definitie van een voedingsmiddel zie EG Verordening Nr. 178/2002, zie artikel 2) bestaat uit een dossier met alle relevante gegevens vergezeld van een brief waarin het verzoek wordt toegelicht. Het dossier inclusief de bijlagen dient voorzien te zijn van een duidelijke inhoudsopgave en paginanummering. Dit geldt ook voor latere aanvullingen. In de dossiertekst moet duidelijk worden verwezen naar elk van de bijlagen.

Notificatie aanvraag (verkorte toelatingsprocedure)

Het dossier voor een notificatie aanvraag dient alléén bij het Ministerie van VWS te worden aangeleverd. Bij het ministerie moeten in totaal twintig volledige dossiers worden ingediend en daarnaast één dossier geschoond van bedrijfsgevoelige informatie. Deze dossiers dienen aangeleverd te worden zoals beschreven in paragraaf 1.1. Hierbij hoort een brief met het verzoek de wezenlijke gelijkwaardigheid te beoordelen. Dit wordt hieronder toegelicht.

Bij het Ministerie van VWS moet het volgende worden ingediend:

- Zes volledige dossiers, dat wil zeggen inclusief samenvatting en alle bijlagen. In principe technische details, tabellen met gegevens, onderzoeksrapporten en gerefereerde artikelen (complete tekst) in bijlagen verwerken; de belangrijkste informatie hieruit dient duidelijk in de dossiertekst te worden besproken. In het dossier zelf, of in de begeleidende brief, aangeven welke informatie bedrijfsgevoelig is (zie hieronder). Het verdient de voorkeur om de volledige dossiers op Cd-rom aan te leveren in combinatie met één volledige papieren versie. Deze zending moet vergezeld gaan van een verklaring dat de elektronische informatie identiek is aan de papieren versie.
- In twintigvoud een papieren versie van het dossier, echter zonder bijlagen. Dit zogeheten kern dossier bevat – behalve de beschrijvende tekst – een inhoudsopgave van het volledige dossier inclusief de referentielijst en een lijst met titels van alle bijlagen.
- Eén exemplaar van het dossier dat geschoond is van bedrijfsgevoelige informatie. Dit exemplaar kan op verzoek door derden worden ingezien. Bedrijfsgevoelige informatie (Conform artikel 6, lid 2 van de EG Verordening 258/97, zie paragraaf 5). bestaat uit productie- of samenstellingsgegevens voor zover niet uit openbare bronnen bekend (absolute uitzonderingsgrond) en informatie die bij openbaarmaking zou leiden tot

onevenredige benadeling van het bedrijf (relatieve uitzonderingsgrond), zie Wet Openbaarheid van Bestuur.

Bij de Europese Commissie moet voor verspreiding aan andere lidstaten het volgende worden ingediend:

- Een volledig dossier (zie eerste punt hierboven). Ook in dit exemplaar dient bedrijfsgevoelige informatie duidelijk te zijn gemarkeerd. Over de gewenste digitale vorm graag vooraf overleg plegen met het secretariaat in Brussel. Op verzoek van een individuele lidstaat kan het nodig zijn het dossier digitaal (CD-ROM, DVD of e-mail) aan deze lidstaat te verstrekken.
- Een samenvatting van het dossier van 5-10 pagina's in de Engelse taal en zonder bedrijfsgevoelige informatie. Bij voorkeur per mail toezenden aan de heer Klepsch van de Europese Commissie.

Hoe werkt de Europese toelating voor nieuwe voedingsmiddelen?

Als een firma een voedingsmiddel op de Europese markt wil introduceren zijn er - afhankelijk van de aard van het product - twee procedures die doorlopen kunnen worden: de autorisatie en de notificatie (vereenvoudigde procedure).

Autorisatie

Een firma die een aanvraag wil indienen voor autorisatie van een nieuw voedingsmiddel, kiest hiervoor één van de Europese lidstaten. Indien men kiest voor Nederland, dan moet een veiligheidsdossier met alle relevante gegevens worden ingediend bij het ministerie van VWS en gelijktijdig bij de Europese Commissie. Vervolgens beoordelen het bureau nieuwe voedingsmiddelen (BNV) en de commissie Veiligheidsbeoordeling Nieuwe Voedingsmiddelen (VNV) het veiligheidsdossier, waarbij het BNV de aanvrager zonodig om aanvullende informatie vraagt. Op basis van de huidige stand van de wetenschap concludeert de commissie of het nieuwe product voldoende veilig is voor consumptie. Het bureau maakt een verslag van de bevindingen en biedt de minister van VWS dit adviesrapport aan. De minister formuleert op basis hiervan een Nederlands standpunt over het nieuwe voedingsmiddel.

Vervolgens krijgen alle Europese lidstaten de gelegenheid hun oordeel (een zogeheten tweede beoordeling) te geven over het dossier en de eerste beoordeling door Nederland. Als een andere lidstaat de eerste beoordeling heeft uitgevoerd, kunnen het Bureau Nieuwe Voedingsmiddelen en de commissie VNV een tweede beoordeling uitvoeren voor Nederland. Als een dossier veel vragen oproept waardoor geen consensus onder de Europese lidstaten bereikt kan worden, kan de Europese Commissie wetenschappelijk advies aan de European Food Safety Authority (EFSA) vragen. De formele besluitvorming over toelating van een nieuw voedingsmiddel vindt plaats in het Permanent Comité voor de voedselketen en de diergezondheid en eventueel in de Europese Ministerraad. Een positieve beslissing betekent dat het product in de hele Europese Unie mag worden verhandeld. De beschikkingen die zijn afgegeven worden gepubliceerd op de

website van het Directoraat Generaal van de Europese Commissie die over gezondheid en consumentenbescherming gaat.

Notificatie

Er bestaat ook een verkorte procedure van toelating in het geval van een notificatie. Hiervoor moet de aanvrager aantonen dat zijn product wezenlijk gelijkwaardig is aan een bestaand voedingsmiddel. In de praktijk moet het beroep dat de firma doet op wezenlijke gelijkwaardigheid door één van de lidstaten worden ondersteund. Daartoe baseert die lidstaat zich op een dossier met relevante gegevens van de aanvrager. In Nederland moet de notificatie aanvraag worden ingediend bij het ministerie van VWS. Het Bureau Nieuwe Voedingsmiddelen en de commissie VNV beoordelen het dossier en adviseren de minister van VWS hierover. De Commissie Veiligheidsbeoordeling Nieuwe Voedingsmiddelen (VNV) Samen met de medewerkers van het Bureau Nieuwe Voedingsmiddelen vormt de commissie VNV op grond van de door de aanvrager verstrekte informatie een wetenschappelijk oordeel over de veiligheid van het product. Het beoordelingsrapport dient als advies aan de minister van VWS.

Welke gegevens dient het dossier te bevatten?

Volgens de Aanbeveling van de Europese Commissie (97/618/EG) dient het dossier de volgende onderdelen te bevatten:

1. Administratieve gegevens van de aanvrager. Indien de aanvrager niet zelf het nieuwe voedingsmiddel of ingrediënt produceert, dan moet duidelijk worden aangegeven wie de leverancier is.
2. Algemene beschrijving van het nieuwe product of nieuw proces dat wordt toegepast.
3. Specificatie van de vereiste informatie aan de hand van de stroomschema's (beslisbomen).
4. Evaluatie en conclusie.
5. Beknopt overzicht van het dossier

Wat betreft punt 3 wordt verwezen naar de uitgebreide beschrijving in hoofdstuk 5 van bovengenoemde aanbeveling. De belangrijkste onderdelen staan hieronder vermeld:

- Productspecificatie: een goede beschrijving van de samenstelling. Uit samenstellingsanalyses van meerdere productiepartijen moet blijken dat het een consistent product is.
- Beschrijving van het productieproces, inclusief kwaliteitsborging (bijv. GMP).
- Nauwkeurige beschrijving van de bron van het nieuwe voedingsmiddel. Hiermee wordt alle relevante informatie met betrekking tot veiligheidsaspecten bedoeld.
- Beschrijving van toepassingen van het voedingsmiddel.
- Gegevens over de verwachte humane consumptie. Bijvoorbeeld bij een voedselingredient de totale consumptie inschatten van de verschillende producten van het voorgestelde assortiment. Indien nodig maatregelen voorstellen zodat de consument bij een gemiddeld consumptiepatroon de veilige bovengrens niet kan overschrijden.

- Gegevens over eerdere blootstelling bij mensen (bijv. ook de inname via de dagelijkse voeding) en de gevolgen voor de gezondheid.
- Gegevens uit voedingskundig (fysiologisch) onderzoek
- Microbiologische informatie.
- Toxicologische gegevens. Beschrijving en resultaten van toxicologisch onderzoek met het nieuwe voedingsmiddel en informatie over het gehalte aan ongewenste stoffen.
- Gegevens over mogelijke allergische reacties.
- Gegevens over veiligheidsonderzoek met mensen.
- Gegevens over post-markt monitoring: overwegen of er naast pre-markt onderzoek ook monitoring gewenst is nadat het product op de markt is toegelaten.

Onderzoeksgegevens kunnen afkomstig zijn van eigen onderzoek en van in opdracht van de firma verricht onafhankelijk onderzoek, en gepubliceerde rapporten in de wetenschappelijke vakliteratuur.