

Voedingsgenomicsonderzoek in Nederland

Mogelijke producten en maatschappelijke aspecten

© Rathenau Instituut, Den Haag, 2003

Rathenau Instituut
Koninginnegracht 56

Correspondentieadres:
Postbus 85525
2508 CE Den Haag

Telefoon 070 - 342 15 42
Fax 070 - 363 34 88
E-mail info@rathenau.nl
Website www.rathenau.nl

Uitgever: Rathenau Instituut
Eindredactie: Julika Vermolen
Basisvormgeving: Hennie van der Zande, Amsterdam
Opmaak: Henny Scholten, Amsterdam
Grafische productie: Herbschleb & Slebos, Monnickendam
Pre-press en druk: Meboprint, Amsterdam
Bindwerk: Meeuwis, Amsterdam
Vertaling summary: English Text Company, Den Haag

Dit boek is gedrukt op kringlooppapier.

Eerste druk: april 2003

ISBN nummer 90 806772 7 2

Deze publicatie kan als volgt worden aangehaald:
Voedingsgenomicsonderzoek in Nederland: Mogelijke producten en
maatschappelijke aspecten. Den Haag: Rathenau Instituut, 2003;
Werkdocument 89.

Preferred citation:
Voedingsgenomicsonderzoek in Nederland: Mogelijke producten en
maatschappelijke aspecten. Den Haag: Rathenau Instituut, 2003;
Working document 89.

Niets uit deze uitgave mag worden veelevoudigd en/of openbaar
gemaakt door middel van druk, fotokopie of op welke wijze dan ook,
zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van het Rathenau
Instituut.

No part of this book may be reproduced in any form, by print, photo-
print, microfilm or any other means without prior written permission
of the holder of the copyright

Voedingsgenomics- onderzoek in Nederland

Mogelijke producten en maatschappelijke aspecten

Onderzoekers:

dr. Christien Enzing

drs. Annelieke van der Giessen

Projectleiders:

dr.ir. Rinie van Est

drs. Olga Crapels

Bestuur Rathenau Instituut

dr. C.J. Kroese (voorzitter)

mw. prof.dr. I. de Beaufort

ir. P.P. 't Hoen

prof.dr. W.K.B. Hofstee

mw. Dr. B.E.C. Plesch

mw. Mr. J.A. Schaap

prof.ir. E.J. Tuininga

prof.dr. W. van Vierssen

dr. D. van Zaane

Voorwoord

Voedingsgenicsonderzoek in Nederland. Mogelijke producten en maatschappelijke aspecten

Genomics is een nieuw onderzoeksterrein. Het is ontstaan doordat in steeds sneller tempo de complete DNA-informatie (het genoom) van micro-organismen, dieren, planten en de mens beschikbaar komt. Genomics omvat het in kaart brengen van het genoom en het onderzoek naar de wijze waarop erfelijke eigenschappen zich vertalen naar het functioneren van een cel, en uiteindelijk van het gehele organisme. Wereldwijd investeren overheden en het bedrijfsleven heel veel geld in genomicsonderzoek. De Nederlandse overheid zal er bijvoorbeeld in vier jaar (2002-2006) bijna 190 miljoen euro in steken. Het Nationaal Regie-Organ Genomics is in het leven geroepen om deze middelen zorgvuldig in te zetten voor de opbouw van 'een kennis-infrastructuur van wereldformaat'.

Zowel de regering als de Tweede Kamer hebben daarbij de politieke wens uitgesproken om al tijdens het genomicsonderzoek rekening te houden met maatschappelijke wensen en zorgen. Eerdere ervaringen met (het gebrek aan) maatschappelijke acceptatie van biotechnologie, vooral met genetisch gemodificeerde gewassen, hebben die behoefte versterkt. Daarom is binnen het programma van het Nationaal Regie-Organ Genomics een fiks bedrag (20 miljoen euro) gereserveerd voor onderzoek naar maatschappelijke aspecten en communicatie. Om te kunnen bepalen welke activiteiten moeten worden opgezet, is het van belang dat er een agenda totstandkomt van te onderzoeken, te discussiëren en te communiceren maatschappelijke vraagstukken. Het Rathenau Instituut heeft daartoe een inventarisatie gemaakt van maatschappelijke vragen op het gebied van landbouw, voedselverwerking en voeding.

In alle schakels van de voedingsketen verwacht men wel een of meerdere toepassingen van genomicsonderzoek. Genomics aan de productiekant van de voedingsketen betreft bijvoorbeeld het in kaart brengen van het genoom van voedselgewassen, landbouwdieren of belangrijke industriële enzymen. Aan de consumptiekant gaat het bijvoorbeeld om kennis over de relatie tussen de genetische achtergrond van individuen en hun voedingsbehoeften. De specifieke toepassing van genomics op onderzoeksvraagstukken op het brede gebied van landbouw, voedsel en voeding duidt het Rathenau Instituut aan met

de generieke term voedingsgenomics. Door de term voedingsgenomics te gebruiken, benadrukken we het belang van het perspectief van de consument.

In de studie *Voedingsgenomicsonderzoek in Nederland. Mogelijke producten en maatschappelijke aspecten* bieden Christien Enzing en Annelieke van der Giessen van TNO-STB de stand van zaken op het gebied van voedingsgenomicsonderzoek in Nederland en de producten die daaruit mogelijk zullen voortkomen. Daarnaast hebben zij geïnventariseerd welke maatschappelijke vraagstukken onderzoekers signaleren die met voedingsgenomics samenhangen. Deze publicatie dient daarmee als basis voor verdere reflectie en discussie over de maatschappelijke impact van voedingsgenomics.

Parallel aan onderhavige studie is de publicatie *Genen voor je eten – Eten voor je genen. Maatschappelijke vragen en dilemma's rondom voedingsgenomics* verschenen. Deze publicatie bevat vijf essays en een inventarisatie van maatschappelijke vragen en issues die samenhangen met voedingsgenomics.



Mr.dr.s. Jan Staman
Directeur Rathenau Instituut

Inhoudsopgave

Samenvatting	9
Inleiding	17
1 Wat is voedingsgenomics?	19
1.1 Functional genomics	19
1.2 Voedingsgenomics	24
1.2.1 Productie van plantaardig en dierlijk uitgangsmateriaal	26
1.2.2 Agrarische productie	27
1.2.3 Productie van ingrediënten voor de voedings- en genotsmiddelenindustrie	27
1.2.4 Productie van voedingsmiddelen	28
1.2.5 Voedselveiligheid	35
2 Voedingsgenomicsonderzoek in Nederland	37
2.1 Publieke onderzoeksprogramma's op het gebied van voedingsgenomics	37
2.2 Voedingsgenomicsonderzoek aan universiteiten en onderzoeksinstituten	42
2.3 Voedingsgenomicsonderzoek van het Nederlandse bedrijfsleven	45
2.4 Het Nederlandse voedingsgenomicsonderzoek in internationaal perspectief	48
2.4.1 Sterktes en zwaktes in Nederlands onderzoek	48
2.4.2 Voedingsgenomics-onderzoeksprogramma's in de Verenigde Staten, het Verenigd Koninkrijk, Frankrijk en Denemarken	50
3 Maatschappelijke issues op het gebied van voedingsgenomics volgens onderzoekers	55
3.1 Maatschappelijke impact van voedingsgenomicsonderzoek	55
3.2 Maatschappelijke discussie: wenselijkheid, wie en weerstand	57
3.3 Issues in een maatschappelijke discussie over voedings- genomicsonderzoek	59
3.4 Nieuwe en oude issues	65
3.5 Slotwoord	71
Summary	73
Literatuur	79

Bijlage 1	81
Geïnterviewde onderzoekers van bedrijfsleven en onderzoeksinstellingen	
Bijlage 2	83
Overzicht Nederlandse voedingsgenomics-onderzoeksprojecten	
Bijlage 3	99
Overzicht onderzoeksprogramma's voedingsgenomics in de Verenigde Staten, Verenigd Koninkrijk, Frankrijk en Denemarken	
Bijlage 4	109
Issues in de maatschappelijke discussie over biotechnologie (genetische modificatie en functional foods)	
Bijlage 5	119
Lijst met afkortingen	
Over de auteurs	121

Samenvatting

De afgelopen jaren is in groot tempo het genoom van de mens en van verschillende planten, dieren en micro-organismen in kaart gebracht. We weten daardoor van verschillende organismen het aantal en de plaats van de genen op het DNA, we weten dat RNA de genetische code van het DNA overschrijft en aan de hand daarvan eiwitten maakt, en dat het hele stofwisselingsproces draait om deze eiwitten en metaboliëten. Niettemin is het mechanisme waarmee de genen de stofwisseling dirigeren nog totaal onbekend. *Functional genomics* is het onderzoeksveld dat zich bezighoudt met het verklaren van complete biologische processen gebaseerd op de informatie van het DNA (genoom), het RNA (transcriptoom), het eiwit (proteoom) en de metaboliëten (metabooloom).

Bijdrage van functional genomics aan de voedselproductieketen

Vooral door de ontwikkeling van enkele nieuwe technieken zoals de DNA-chip en de beschikbaarheid over steeds grotere en snellere computers en geavanceerde software om alle onderzoeksgegevens met elkaar te vergelijken (bioinformatica), is het functional-genomics-onderzoek aan het eind van de jaren negentig in een enorme stroomversnelling gekomen. Steeds meer genomen van planten, dieren en micro-organismen zijn in kaart gebracht. Meerdere landbouw-, voedsel- en voedingsvraagstukken worden al met functional-genomics-technieken onderzocht. De specifieke toepassing van functional genomics op onderzoeksvraagstukken op het gebied van landbouw, voedsel en voeding noemen we voedingsgenomics.

In alle schakels van de voedselproductieketen – die begint bij de productie van uitgangsmateriaal en via de agrarische productie (de productie van ingrediënten) eindigt bij de productie van voedingsmiddelen en de daaraan gekoppelde dienstverlening aan de consument – zijn wel een of meerdere toepassingen van functional-genomics-onderzoek te verwachten. In de toekomst zal functional genomics ook oplossingen helpen vinden voor vraagstukken over voedselveiligheid.

Aan het begin van de keten – de veredeling van landbouwgewassen en landbouwhuisdieren – zullen er, zodra de genen van landbouwgewassen in kaart zijn gebracht, nieuwe aangrijpingspunten komen voor plantenveredeling op ziekteresistentie en productiviteit. Gewassen kunnen dan beter worden geselecteerd op vitaliteit, levensduur en ziekteresistentie. Behalve resistentieveredeling en productiviteit biedt functional genomics nieuwe aanknopingspunten voor verede-

ling op agronomische eigenschappen van gewassen, zoals droogte-tolerantie en metaalresistentie. Voor de *non-food*toepassingen van planten kan met behulp van informatie uit functional-genomicsonderzoek veel gericht worden veredeld op de productie van *tailormade* biopolymeren, plantaardige oliën en diagnostica of geneesmiddelen voor de farmaceutische industrie. Hetzelfde geldt voor fokkerijprogramma's: omdat de genenkaarten van landbouwhuisdieren daarvoor belangrijke informatie aanleveren, kan ook hier gericht worden veredeld. Op het gebied van dierenwelzijn zal genomics een belangrijke rol spelen in de ontwikkeling van veterinaire diagnostica en vaccins, en kunnen objectievere parameters voor dierenwelzijn worden ontwikkeld.

Voor de teelt van gewassen – de volgende stap in de keten – kan functional genomics informatie verschaffen over de manier waarop planten zo kunnen worden verbouwd dat bepaalde eigenschappen (zoals smaak of samenstelling) of de hoogte van de opbrengsten (bijvoorbeeld dikte van de korrel, grootte van de knol) tegelijkertijd geoptimaliseerd worden. Daarnaast biedt deze kennis mogelijkheden om objectieve kwaliteitsparameters van planten en siergewassen op te stellen voor gebruik in de logistieke keten naar de consument.

Ook bij het *upgraden* van micro-organismen verschaft functional genomics winst. Bepaalde ingrediënten van voedselproducten worden met behulp van micro-organismen (gisten, bacteriën en schimmels), gemaakt. Bekende voorbeelden van deze ingrediënten zijn bakkersgist en de enzymen die worden gebruikt om vruchtensappen die van nature troebel zijn, helder te maken. Metabolomicstechnieken verschaffen methoden om in de toekomst het 'productieproces' in micro-organismen beter te *finetunen*. Functional-genomicstechnieken kunnen ook worden gebruikt om de productie van bier, wijn, kaas en yoghurt – producten die van nature met behulp van micro-organismen (meestal bacteriën) worden gemaakt – te verbeteren op smaak en kwaliteit.

Een belangrijk terrein van het functional-genomicsonderzoek betreft de gezondheidsaspecten van voeding. Het gaat om onderzoek naar de effecten van voedsel ingrediënten (nutriënten) op de gezondheid, onderzoek naar de individuele genetische verschillen tussen mensen en het effect van deze verschillen op voeding en dieet (*genotyping*) en onderzoek naar de rol van (darm)bacteriën op de gezondheid. Deze combinatie van functional genomics met voedingswetenschappen heet nutrigenomics. Onderzoekers naar nieuwe voedingsmiddelen zijn voortdurend op zoek naar actieve biomoleculen en bijbehorende stofwisselingsprocessen die samenhangen met bepaalde aandoeningen en waarvan de werking door voedselcomponenten kan worden beïnvloed. Het functional-genomicsonderzoek zal naar verwachting allereerst meer inzicht opleveren in de werking van voedingscomponenten in het lichaam. Dat kan de noodzakelijke onderbouwing geven

aan de gezondheidsclaims van bestaande en nieuwe voedingsmiddelen. Vervolgens kan functional-genomicsonderzoek de basis leggen voor de ontwikkeling van geheel nieuwe typen hoogwaardige voedingsmiddelen, zoals *personalised foods*, die aansluiten bij het individuele genetische profiel van de consument.

Ook kan functional-genomicsonderzoek belangrijke informatie verschaffen over de uiteenlopende reacties van mensen op voeding door de graduele verschillen in hun individuele chromosomen. Bovendien kan het meer inzicht opleveren in de werking van omgevingsfactoren, zoals voeding op genetische activiteit. Daarbij kan het gezondheidseffect van bacteriën die aan ons voedsel worden toegevoegd – de zogenoemde *probiotica* – met behulp van functional-genomicstechnieken worden gemeten (en gezondheidsclaims onderbouwd). Daarnaast heeft functional genomics een plaats in het onderzoek naar de functie van darmflorabacteriën.

Op het gebied van voedselveiligheid kan functional genomics heel concreet bijdragen aan de ontwikkeling van nieuwe *biomarkers* om de veiligheid en kwaliteit van voedsel door de hele keten heen te meten. Hetzelfde geldt voor nieuwe biomarkers om specifiek voedselbederf of de aanwezigheid van ziekteverwekkende micro-organismen in voedsel aan te kunnen tonen.

Alle inspanningen ten spijt zullen de meeste van de genoemde ontwikkelingen pas op de langere termijn – tien à vijftien jaar – zijn gerealiseerd. Functional genomics voegt belangrijke methodieken, technieken en onderzoeksstrategieën toe aan veredelings-, voedings- en medisch onderzoek, maar het gaat hier om langdurige onderzoeks- en ontwikkelingsprocessen.

Voedingsgenomicsonderzoek in Nederland

In 2001 is een omvangrijk genomicsprogramma gestart, dat de Nederlandse kennisinfrastructuur op dit gebied de komende vijf jaar aanzienlijk versterkt. Het Nationale Regie-Organ Genomics heeft van de overheid een budget van 188,8 miljoen euro gekregen om te komen tot een gecoördineerde aanpak van de verschillende onderdelen (onderzoek, apparatuur, innovatie, maatschappelijke aspecten, communicatie). Voedingsgenomics is een belangrijk onderdeel van dit programma: het is een van de vier inhoudelijke thema's.

Ons overzicht van het huidige voedingsgenomicsonderzoek in Nederland laat zien dat er al een aanzienlijk inspanning op dit gebied wordt gepleegd. Op zes universiteiten en acht onderzoeksinstituten werken onderzoekers al in minstens 106 projecten (gezamenlijk) aan voedingsgenomicsonderzoek. In het hele scala van voedingsgenomicsonderzoek is het aandeel over vraagstukken die aan het eind van de keten

aan de orde zijn, het grootst (circa 73 procent). Het gaat om onderzoek naar voedselproductieprocessen en nieuwe voedingsmiddelen, en om medisch onderzoek naar de relatie tussen voeding en gezondheid. Hier is het recent opgerichte Centre for Human Nutrigenomics – een samenwerkingsverband van WURC, UM, TNO-Voeding, RIVM en NIZO – de belangrijkste uitvoerende partij. Daarna volgen het voedselveiligheid- en -kwaliteitsonderzoek dat voornamelijk bij het RIKILT plaatsvindt (circa 15 procent) en ten slotte het functional-genomics-onderzoek ten behoeve van de plantenveredeling (circa 12 procent). Onder de hoede van het Nationaal Regie-Organ Genomics zijn op dit moment vier genomicszwaartepunten in opbouw. Twee daarvan zijn (deels) actief het gebied van voedingsgenomics: plantenveredeling en microbiële genomics (voedselingrediënten).

Een groot aantal bedrijven is betrokken bij voedingsgenomicsonderzoek in Nederland. Echter, nog geen handvol voert zelf voedingsgenomicsonderzoek uit. Het merendeel van de bedrijven is uitsluitend via IOP-projecten betrokken bij voedingsgenomicsonderzoek dat voor hen relevant is, of zal dat in de nabije toekomst zijn via het onderzoek in de Genomics Zwaartepunten, dat bij de universiteiten of onderzoeksinstituten wordt uitgevoerd.

Plaatsen we de Nederlandse inspanningen in internationaal perspectief, dan zien we dat Nederland, vooral in vergelijking met Frankrijk, Duitsland en Denemarken, redelijk scoort als het gaat om overheidsstimulering van voedingsgenomicsonderzoek. De Europese inspanningen staan echter in de schaduw van de VS-budgetten. Nederland heeft ook een sterke positie op het gebied van het aardappelveredelingsonderzoek. Dit zal straks, wanneer het Wageningse Centre for Biosystems Genomics Zwaartepunt is opgericht, nog weer verder worden versterkt. Frankrijk is echter bezig Nederland op het gebied van plantenveredelingsonderzoek in te halen. Het onderzoek naar de relatie voeding-gezondheid (*nutrigenomics*) wordt vooral in de VS en Groot-Brittannië programmatisch gesteund. In Nederland is dit gebied nog sterk in ontwikkeling.

Maatschappelijke discussie over voedingsgenomics onderzoek: visie van de onderzoekers

Een van de belangrijkste doelstellingen van dit onderzoek is om van de onderzoekers die betrokken zijn bij voedingsgenomicsonderzoek, te horen welke issues in een maatschappelijke discussie over dit onderwerp aan de orde zouden moeten komen. In de interviews met de onderzoekers van onderzoeksinstituten en bedrijven was dit het belangrijkste onderwerp van gesprek.

Onderzoekers zijn het eens over de maatschappelijke impact van voedingsgenomicsonderzoek: het draagt bij aan de verhoging van de

algemene gezondheidsstatus van de bevolking. Het leidt tot gezondere, maar ook tot langer levende en gelukkiger mensen. Dat neemt niet weg dat er zeer verschillende meningen en aandachtspunten over de maatschappelijke discussie over voedingsgenomics bestaan.

Zo is er verschil van inzicht over de vraag *wanneer* een maatschappelijke discussie over voedingsgenomics moet worden gehouden. Veel onderzoekers vinden het daarvoor veel te vroeg, omdat het voedingsgenomicsonderzoek nog maar net is gestart. Het duurt zeker nog tien jaar voordat concrete toepassingen beschikbaar komen. Een maatschappelijke discussie is volgens hen pas nodig en mogelijk als er concrete producten zijn waarover je kunt praten. Daarentegen vindt een andere groep onderzoekers het nu juist wel het goede moment voor een maatschappelijk discussie. Nu worden immers diverse initiatieven op dit gebied ondernomen, waarbij ook aandacht is voor de maatschappelijke aspecten van genomics (NWO-programma's, Genomics Zwaartepunten van het Nationaal Regie-Organ Genomics).

Een van de meest terugkerende opmerkingen tijdens de interviews is de vrees dat de discussies – en vooral de negatieve emoties – rondom genetische gemodificeerd voedsel naar voedingsgenomics zullen overslaan. Volgens de onderzoekers beschouwt het algemene publiek genetische modificatie, biotechnologie en genomics als één pot nat. Het is nauwelijks in staat onderscheid te maken tussen de verschillende technologieën, hun toepassingen en de bijbehorende consequenties. Daarnaast constateert een onderzoeker, aangewakkerd door bijvoorbeeld de BSE- en dioxinecrises, een algemeen groeiend wantrouwen over wat er in het voedsel zit, iets waar dus ook de 'klassieke landbouw' last van heeft. Dit wantrouwen speelt een rol in de discussie over genetische modificatie en kan er mogelijk toe leiden dat het algemene publiek tevens negatief tegenover voedingsgenomics komt te staan.

In de lijst met genoemde issues die in een maatschappelijke discussie over voedingsgenomics aan de orde moeten komen, scoort voedselveiligheid opvallend genoeg het hoogst, op de voet gevolgd door het onderwerp informatievoorziening en communicatie. Andere onderwerpen zijn privacy, verantwoordelijkheid van de overheid, bedrijven en wetenschap, voeding als geneesmiddel, ethische vraagstukken rond wel of juist niet handelen, dierenwelzijn en keuzevrijheid, ook in verband met verschillende voedselproductiesystemen. Hoewel onderzoekers onderkennen dat voedingsgenomics alleen maar zal bijdragen aan een hogere voedselveiligheid, verwachten velen van hen, gelet op het al genoemde groeiende wantrouwen, toch ook dat er discussie komt over de relatie tussen voedingsgenomics en voedselveiligheid.

Sommige onderzoekers geven de hoogste prioriteit aan informatievoorziening en communicatie. Bijvoorbeeld: 'Duidelijke, open en neu-

trale communicatie is heel belangrijk om mensen te overtuigen van het nut van voedingsgenomics. Voedingsgenomics biedt hier een goede gelegenheid voor, omdat het juist de methoden verschaft om consumenten te laten zien dat iets goed of slecht is. In plaats van het alleen te geloven, kunnen de consumenten en de professionals die dicht bij de consument staan, de bewijzen zien. Dit is een kans voor de wetenschap en voor de fabrikanten, want zij kunnen nu eindelijk hun claims waarmaken! De maatschappelijke discussie zou dan ook vooral moeten worden aangegrepen om het publiek openhartig te informeren over de mogelijke toepassingen en het mogelijke nut ervan voor de maatschappij. Andere onderzoekers merken op dat het publiek niet is geïnteresseerd in deze materie en communicatie daarover dus geen zin heeft.

Hoe je het ook wendt of keert, de maatschappelijke discussie over voedingsgenomicsonderzoek zal onvermijdelijk te maken krijgen met de discussies over biotechnologie en vooral over genetische modificatie. Ook al zijn het technologisch gezien geheel verschillende zaken, voor het publiek is dit onderscheid er niet. Het is dan ook zeer waarschijnlijk dat een maatschappelijke discussie over voedingsgenomics zal gaan over issues die al in de discussies over genetische modificatie en functional foods aan de orde zijn gekomen. Dit volgt tevens uit het feit dat een groot aantal discussiepunten die onderzoekers hebben genoemd bij die lopende debatten aansluit. Dat geldt voor voedselveiligheid, informatievoorziening, verantwoordelijkheid van de overheid, wetenschap en het bedrijfsleven, enkele ethische vraagstukken en dierenwelzijn. Daarentegen noemen de onderzoekers ook belangrijke issues niet die in de discussies over biotechnologie wel aan de orde zijn, zoals het milieu- en het machtsvraagstuk. Nieuwe issues die de onderzoekers naar voren brengen, zijn het privacyvraagstuk in verband met het gebruik van het zogenoemde genenpaspoort en de verantwoordelijkheid van de consument, als het gaat om voedingsgedrag.

Ten slotte

Informatievoorziening en communicatie vinden zowel de voedingsgenomicsonderzoekers als de deelnemers aan eerdere debatten uiterst belangrijk. Ontwikkelingen als voedingsgenomics zijn echter complex van aard, waardoor concrete toepassingen pas op de langere termijn gerealiseerd zullen worden. De ontwikkelingen bevinden zich nog in het beginstadium, de realisatie ervan zal nog zo'n tien jaar duren. Wat betekent dit voor de informatie- en communicatieprocessen, die bij wijze van spreken beter vandaag dan morgen zouden moeten starten?

Er ligt een belangrijke uitdaging voor alle relevante partijen om op basis van de lessen die uit het recent gevoerde debat *Eten en Genen*

kunnen worden getrokken een maatschappelijk proces te starten, waar onderzoekswereld, bedrijfsleven, consumenten en maatschappelijke organisaties bij betrokken worden. Doel van dit proces is toekomstige gebruikers nauw(er) te betrekken bij de besluitvorming over onderzoek in voedingsgenomics en de toepassingen ervan. Aan de orde zal moeten komen welke informatie wanneer beschikbaar is en waarover gecommuniceerd moet worden. Onderzoekers zullen moeten vertellen over vorderingen in hun onderzoek en toekomstige technologische trends; consumenten en andere relevante maatschappelijke organisaties zullen moeten aangeven hoe hun huidige en toekomstige behoeften die mogelijk met behulp van genomicsonderzoek bevredigd kunnen worden, eruitzien.

Het gaat om interactie tussen alle relevante stakeholders (betrokkenen én 'betroffenen'), die moet leiden tot innovaties die vanuit maatschappelijk én economisch oogpunt relevant zijn. Deze interactie tussen de aanbod- en vraagpartijen betekent de komende jaren een belangrijke uitdaging voor de nationale regie van het genomicsonderzoek.

Inleiding

'The emerging 'science and society' agenda identifies the need to change institutional terms of reference and procedures, including the development of a broader base of public consultation and dialogue on risk issues' (L. Frewer, Institute of Food Research, UK).

'One of the biggest challenges in the development of nutraceutical (through genomics) is the clear demonstration of consumer benefits' (Roche Vitamins, Zwitserland).

Deze twee uitspraken, gedaan op de eerste International Conference on Human Nutrigenomics in 2002 te Noordwijk, laten zien dat de veelbelovende ontwikkelingen op het gebied van voedingsgenomics heel duidelijk binnen bepaalde maatschappelijke kaders moeten worden beschouwd. Ook is het duidelijk dat bij de introductie van nieuwe technologieën in het domein landbouw en voeding rekening moet worden gehouden met de wensen van de consument.

Dit Werkdocument bevat in de eerste plaats achtergrondinformatie over onderzoeksactiviteiten op het gebied van voedingsgenomics. Het wil een ruimere kring dan de meest direct betrokkenen informeren over wat er op dit gebied gaande is.

In hoofdstuk 1 wordt uitgelegd wat voedingsgenomicsonderzoek is, wat de mogelijke resultaten van dit onderzoek kunnen zijn in termen van nieuwe of verbeterde producten en productieprocessen in de verschillende onderdelen van de voedselproductieketen, en op welke termijn deze te verwachten zijn. Hoofdstuk 2 gaat in op de stand van zaken van het voedingsgenomicsonderzoek in Nederland en geeft een overzicht van de verschillende overheidsprogramma's. Daarna bevat het een beschrijving van het Nederlandse onderzoek in universiteiten, onderzoeksinstituten en het bedrijfsleven. De sterktes en zwaktes van het Nederlandse voedingsgenomicsonderzoek komen ook aan de orde. Ten slotte wordt in de laatste paragraaf ingegaan op de huidige positie van het Nederlandse voedingsgenomicsonderzoek in internationaal perspectief.

We hebben met een representatieve selectie van voedingsgenomicsonderzoekers (onderzoeksinstituten en bedrijfsleven; landbouwsector en voedings- en genotmiddelen; plant en dier) uitvoerige interviews gehouden over de maatschappelijke impact van hun onderzoek, over de mogelijkheid en wenselijkheid van een maatschappelijke discussie over voedingsgenomics en over de vraag wat de belangrijkste issues zijn die in deze discussies aan bod moeten komen. De belang-

rijkste resultaten hiervan zijn samengevat in hoofdstuk 3 en naast de issues gezet die tot nu toe het debat over biotechnologie en voedsel bepaalden.

1. Wat is voedingsgenomics?

Voedingsgenomics is een optelsom van genomicsonderzoeksactiviteiten die betrekking hebben op de verschillende onderdelen van de voedselproductieketen. Deze keten strekt zich uit van ‘grond tot mond’ (bij de plantaardige voedselproductieketen) of van ‘zaadje tot koolnaadje’ (bij de dierlijke voedselproductieketen). We zullen in dit hoofdstuk eerst de belangrijkste elementen van het genomicsonderzoek uitleggen. Vervolgens bespreken we voor elke schakel van de voedselproductieketen de belangrijkste bijdrage van voedingsgenomicsonderzoek aan de ontwikkeling van nieuwe of verbeterde producten en/of productieprocessen.

1.1 Functional genomics

Bij genomics (letterlijk: ‘het benoemen van genen’) spreken we over *sequenties* en *genen*. Het genoom is de verzameling van alle genen van een levend organisme; deze genen zitten op het DNA-molecuul. Er zijn maar vier typen bouwstenen voor genen, de vier basen. De volgorde waarin de vier basen voorkomen, bepaalt de erfelijke informatie in een genoom. Deze volgorde vormt een gecodeerde genetische boodschap. Een willekeurig stuk van die genetische boodschap wordt een sequentie genoemd.

In iedere cel van ons lichaam zit een DNA-molecuul en dus een exemplaar van het genoom. Een groot aantal genen van het genoom codeert, met behulp van RNA, voor eiwitten. Het RNA schrijft namelijk de genetische code van genen over en zorgt met deze informatie voor de fabricage van specifieke eiwitten. Eiwitten zijn cruciaal: ze starten en begeleiden nagenoeg alle reacties die nodig zijn voor het overleven, groeien, delen en functioneren van de cel. Er zijn verschillende soorten eiwitten: eiwitten die als bouw materiaal dienen voor cellen, organen en het skelet. Een andere serie zorgt voor het stofwisselingsproces; ze fungeren als enzymen, receptoren (ontvangers van signalen), transporteurs of hormonen. Tussen deze eiwitten is een variabele stroom van kleine moleculen gaande. Deze kleine moleculen zijn de stofwisselingsproducten, ook wel metabolieten genoemd. In iedere lichaamscel zitten dus behalve het genoom ook RNA, eiwitten en metabolieten.

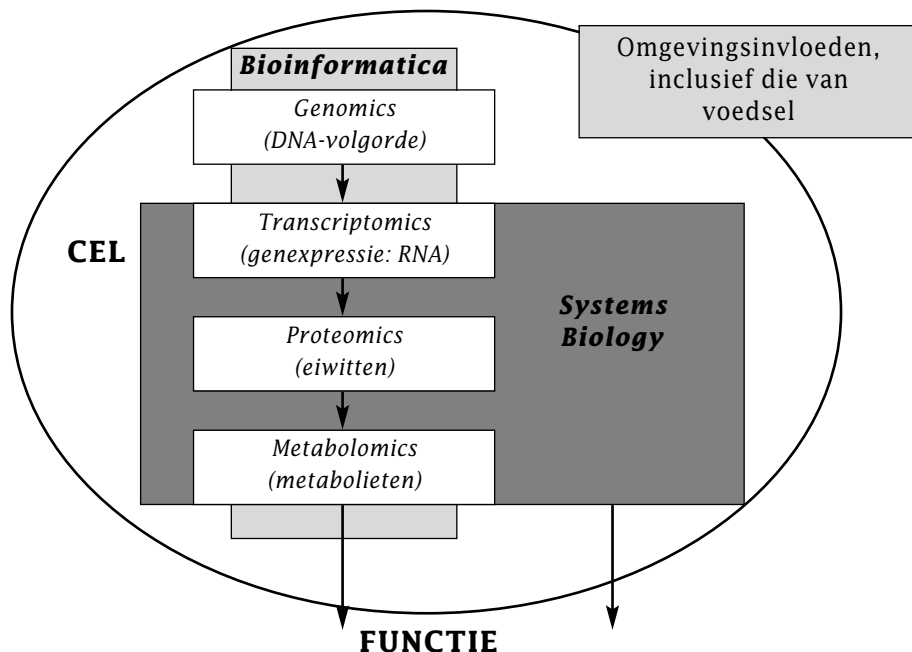
Lang niet alle genen van het genoom zijn op elk moment actief. Het wel of niet actief zijn van bepaalde genen ‘stuurt’ de loop van levens-

processen in de cel en dus in het hele organisme. Dit geldt voor alle organismen: voor mensen, planten, dieren en micro-organismen (bacterie, virus, schimmel, gist).

De afgelopen jaren is in hoog tempo het genoom van de mens en van verschillende planten, dieren en micro-organismen ontrafeld. Ook al weten we van verschillende organismen het aantal genen en de plaats van de genen op het chromosoom, weten we dat RNA de genetische code van het DNA overschrijft en vervolgens eiwitten maakt, en dat het deze eiwitten en metabolieten zijn waar het in stofwisselingsprocessen om draait, toch is het mechanisme waarmee de genen de stofwisseling (door de werking van de eiwitten) dirigeren nog totaal onbekend. Dit is in feite de kern van het functional-genomicsonderzoek: onderzoek naar hoe deze levensprocessen in elkaar zitten. Vooral door de ontwikkeling van enkele nieuwe technieken, steeds snellere computers en bijbehorende software, is dit onderzoeksgebied aan het eind van de jaren negentig in een enorme stroomversnelling gekomen.

Functional genomics is dus het onderzoeksveld dat zich bezighoudt met het verklaren van complete biologische processen op basis van de – gecombineerde – informatie van het DNA (genoom), het RNA (transcriptoom), het eiwit (proteoom) en de metabolieten (metabooloom). We leggen deze drie termen hieronder uit.

Figuur 1. Het integrale karakter van functional genomics



Transcriptomics

De activiteit van een gen, op een bepaalde plaats en tijd, noemen we genexpressie. De genexpressie kun je meten doordat de code van één gen of een combinatie van genen is overgeschreven (transcriptie) in een nieuw gevormd RNA-molecuul. Door met behulp van zogenoemde DNA-chips (zie kader) een momentopname te maken van de verzameling van RNA-moleculen in een cel (het transcriptoom), weet je welke (combinatie van) genen tot expressie zijn gekomen en dus welke genen actief zijn.

De DNA-chip

Een van de ontwikkelingen die functional genomics zo revolutionair maakt, is de DNA-chip, ook wel micro array genoemd. Op een oppervlakte van circa 3 cm² kunnen zo'n 8000 puntjes met elk een zeer kleine hoeveelheid DNA van een specifiek gen worden geplaatst. Dit maakt het mogelijk om, in plaats van de expressie van één RNA, de expressie van alle RNA's tegelijkertijd te meten.

Het RNA van een bepaald gen bindt aan het bijbehorende puntje op de DNA-chip. Dit puntje licht op (door het fluorescerend label dat aan het RNA is gehangen). Zo kan men meten dat het gen actief is (en ook hoe actief, dit is afhankelijk van de lichtsterkte van de opgelichte puntjes). Door op bepaalde tijdstippen te meten welke genen tot expressie zijn gekomen (en dit te vergelijken met een controlesituatie), kunnen de genen die bij specifieke levensprocessen zijn betrokken, worden geïdentificeerd.

Deze nieuwe technologie, ontwikkeld door het Amerikaanse bedrijf Affymetrix, is medeverantwoordelijk voor de doorbraak in het functional-genomicsonderzoek.

Proteomics

Een tweede belangrijke onderdeel van functional genomics is *proteomics*. Met proteomics wordt de aanwezigheid van eiwitten in een cel (het proteoom) zichtbaar gemaakt. Op dit moment zijn er nog niet zulke geavanceerde methoden als de DNA-chip beschikbaar om gedetailleerde momentopnamen van het proteoom te maken. Met de huidige technieken, die trouwens al langere tijd bestaan, is het mogelijk ongeveer tienduizend eiwitten van elkaar te scheiden (dit gebeurt met de tweedimensionale gel-electroforesetechniek) en te identificeren (dit gebeurt met de massaspectroscopie-techniek).

Genen besturen de belangrijkste levensprocessen door middel van de werking van eiwitten in een cel. Naar schatting kunnen van de dertigduizend humane (= menselijke) genen meer dan honderduizend verschillende RNA-vormen en dus primaire eiwitvormen worden gemaakt. Behalve deze primaire vormen zijn er in de cel ook allerlei veranderde eiwitvormen aanwezig. Op deze manier zouden er wel eens meer dan een miljoen verschillende humane eiwitten kunnen bestaan. Omdat in een cel continu omzettingen plaatsvinden waarbij eiwitten betrokken zijn en een cel een open systeem is (door de celwand komen eiwitten binnen en gaan eiwitten naar buiten), zal het niemand verbazen dat het eigenlijk niet mogelijk is om het humane proteoom in kaart te brengen.

Metabolomics

De laatste algemene ontwikkeling die hier van belang is, is *metabolomics*: het meten en vergelijken van de metabolieten die in een cel aanwezig zijn (het metaboloom). De aanwezigheid van metabolieten is het resultaat van processen die door de eiwitten tot stand zijn gebracht. Bij de vorming en afbraak van een metaboliet zijn meestal meerdere genen (via hun eiwitten) betrokken. De samenstelling van het metaboloom is dan ook niet direct te relateren aan het genoom, zoals dat wel voor transcriptoom en proteoom geldt. Met behulp van al langer bestaande technieken (gas- en vloeistofchromatografie in combinatie met massaspectroscopie) is het technisch mogelijk om bijna alle metabolieten te meten. De ontwikkeling van een met de DNA-chip vergelijkbare techniek als de *Lab on a Chip* zal het in de toekomst mogelijk maken om sneller en grotere hoeveelheden metabolieten tegelijkertijd te meten.

Bio-informatica

In het functional-genomicsonderzoek maakt men, behalve van gegevens uit onderzoek in het laboratorium of in de klinieken, steeds meer gebruik van data uit de diverse genoom- en andere databases, die door onderzoekers van over de hele wereld worden gevuld. Onderzoekers kunnen de grote hoeveelheid gegevens die functional-genomicstechnieken opleveren alleen verwerken met behulp van grote computers en geavanceerde software die veel data tegelijkertijd aankunnen. Bio-informatica is de ontwikkeling en het gebruik van programma's om gegevens van transcriptomics-, proteomics- en metabolomicsonderzoek met elkaar te vergelijken. Omdat in transcriptomics- en proteomicsonderzoek de opnames van het transcriptoom (met DNA-arrays) respectievelijk het proteoom (met 2D gel-electroforese) moeten worden 'gelezen', maakt men gebruik van patroonherkenningstechnieken. Dit zijn methodes van data-analyse om wetenschappelijke hypothesen te maken door mathematisch het grote aantal parameters te reduceren en het clustergedrag van parameters te visualiseren. Bio-informatica

is daarnaast ook het ontwikkelen en gebruiken van gecomputeriseerde technieken voor de opslag en het beheer van gegevens over de functie en structuur van biomoleculen (DNA, eiwitten en andere moleculen) en het modelleren en simuleren van cellulaire processen. Bio-informatica is misschien wel het essentieelste onderdeel van het data-intensieve vakgebied functional genomics.

Integrale karakter van functional genomics

Functional genomics kenmerkt zich door het integrale karakter van het onderzoek: inzicht in gensequentie (DNA) en genexpressie (RNA) wordt gecombineerd met inzicht in stofwisselings- en andere biologische processen (eiwitten en metabolieten). Het gaat in het onderzoek vooral om veranderingen in het fenotype. Het fenotype is de verschijningsvorm van levende wezens zoals die ontstaat uit het samenspel van erfelijke informatie – het genoom – en invloeden vanuit het milieu. Het zijn de ‘zichtbare’ fysieke, fysische en biochemische kenmerken van een organisme. De brug tussen genoom en fenotype wordt gevormd door een ingewikkeld netwerk van veel verschillende stofwisselingsreacties, elk met zijn eigen kenmerken en gevoeligheden.

Volgens Roberts et al. (2001) is het ironische van functional genomics dat de meeste technieken die in proteomics en metabolomics worden gebruikt, al veel ouder zijn dan de nieuwe DNA-chiptechniek die in transcriptomics wordt gebruikt. Het nieuwe van functional genomics is volgens hem vooral het experimentele onderzoeksconcept: biologische processen worden in zijn geheel en simultaan gemeten en geobserveerd. Van der Werf (2002) merkt op dat in tegenstelling tot het traditionele onderzoek, dat zich kenmerkt door een reductionistische aanpak waarin een bepaald onderdeel van het stofwisselingsproces (met daarbijbehorende eiwitten en metabolieten) wordt bestudeerd, functional genomics zich juist kenmerkt door een holistische aanpak. Alle eiwitten, alle metabolieten in de cel worden gemeten; onderzoekers zijn daardoor gedwongen onbevooroordeeld te observeren en kunnen zo tot hele nieuwe en onverwachte inzichten komen in wat er in een cel gebeurt.

Systems biology is de nieuwste onderzoeksstrategie, waarbij tegelijkertijd zowel het transcriptoom als het proteoom en het metabooloom van de cel wordt gemeten (er worden als het ware drie verschillende typen foto-opnames tegelijkertijd gemaakt). Zo kunnen door een nog meer geïntegreerde aanpak de volledige biologische systemen worden beschreven, inclusief de interacties in de cel. Daarna kunnen op grond van dit systeem integrale conclusies worden getrokken.

Een voorbeeld: in functional-genomicsonderzoek vergelijken onderzoekers de gegevens van zieke en gezonde organismen of van oude en jonge organismen. Door de verschillen op een samenhangende manier

te verklaren, wordt getracht relaties te leggen tussen genexpressie en stofwisselingsprocessen en (de veranderingen in) de verschijningsvorm, het fenotype. Door informatie uit het functional-genomicsonderzoek te combineren met fenotypische eigenschappen, gebruikmakend van statistisch (epidemiologisch) onderzoek, kunnen relevante moleculen in een bepaald biologisch proces worden geselecteerd die een sleutelpositie in het proces innemen. Op basis hiervan kunnen dan *biomarkers* worden ontwikkeld die de werkzaamheid van de betreffende stoffen kunnen aantonen.

1.2 Voedingsgenomics

Steeds meer genomen van planten, dieren en micro-organismen die bij de voedselproductie worden ingezet, zijn bekend. Functional-genomics-technieken kunnen daardoor voor steeds meer verschillende landbouw-, voedsel- en voedingsvraagstukken worden gebruikt. Dit noemen we *voedingsgenomics*: de specifieke toepassing van functional genomics op onderzoeksvraagstukken op het gebied van landbouw, voedsel en voeding. Tabel 1 geeft een overzicht van de verwachte toekomstige bijdrage van functional-genomicsonderzoek aan de ontwikkeling van nieuwe en/of verbeterde producten en productieprocessen in de voedselproductieketen. De tabel laat zien dat – voorzover we dat nu weten op basis van de nog beperkte hoeveelheid uitspraken die hierover zijn gedaan – in alle schakels van de keten wel een of meerdere toepassingen van functional-genomicsonderzoek zijn te verwachten. De bijdrage van functional genomics aan vraagstukken op het gebied van voedselveiligheid betreft alle onderdelen van de keten.

Tabel 1. Bijdrage van voedingsgenomics aan de voedselproductieketen.

Voedselproductieketen: VAN GROND TOT MOND (Farm to Fork)	Toekomstige bijdrage van voedingsgenomicsonderzoek (producten, processen, diensten)
Productie van plantaardig en dierlijk uitgangsmateriaal (zoals zaadveredelaars)	<p>Kweken van planten:</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ waaraan functionele voedingseigenschappen (bijvoorbeeld vitamines) worden toegevoegd of de bestaande voedingswaarde sterk is toegenomen (functional foods); ■ met eigenschappen voor non-foodtoepassingen (fijnchemie, biomaterialen); ■ waaruit niet-gewenste componenten (bijvoorbeeld allergene componenten) zijn verwijderd. <p>Agronomische veredeling op ziekteresistentie, droogte-tolerantie, metaalresistentie, productiekennmerken, et cetera (<i>plant genomics</i>).</p> <p>Veredelen van dieren gericht op gezondheid en op productie (<i>animal genomics</i>).</p> <p>Testen veiligheid van genetische modificatietechniek.</p>
Agrarische productie (veehouderij, land- & tuinbouw, visserij)	<p>Objectieve kwaliteitsparameters tuinbouwgewassen voor tele-veilen.</p> <p>Teeltvoorschriften.</p>
Productie van voedselingrediënten	<p>Verhoging van de efficiëntie van de productie (door micro-organismen) van gist en andere voedselingrediënten (microbiële genomics).</p> <p>Ontwikkeling van nieuwe ingrediënten.</p>
Productie van voedingsmiddelen	<p>Productie van nieuwe voedingsmiddelen: <i>functional foods</i> en <i>nutriceuticals</i> (klinische voeding; 'voedsel op maat', personalised foods).</p> <p>Ontwikkeling van <i>biomarkers</i> om de werkzaamheid van nieuwe en bestaande voedingsmiddelen aan te tonen (nutrigenomics).</p> <p>Ontwikkeling van op nutrigenomics gebaseerde screenings-systemen voor detectie van voedings(componenten) met bioactieve waarde.</p> <p>Gerichte sturing van fermentatieprocessen (zuivel en dranken); optimalisatie groeiparameters (microbiële genomics).</p>
Dienstverleners (diëtisten artsen en bedrijven)	<p>Voedings- en dieetadviezen voor groepen mensen met bepaald risicoprofiel (onder andere op basis van gentests).</p>

Voor de hele keten: moleculair-biologische toetsen (onder andere biosensoren, biomarkers) voor kwaliteitsbewaking en -sturing (optimalisatie), voor bewaken en vergroten voedselveiligheid (toxicogenomics).

1.2.1 Productie van plantaardig en dierlijk uitgangsmateriaal

Functional genomics zal een belangrijke en brede impact hebben op de ketenbeheersing en productie-efficiëntie in de agrosector. De genomen van voedselgewassen worden in hoog tempo in kaart gebracht. Het genoom van de zandraket (*Arabidopsis thaliana*) is al bekend. Deze plant, die op zich geen agronomische waarde heeft, heeft een zeer klein genoom en een korte generatieduur. De zandraket wordt wereldwijd als model gebruikt voor dicotyle (tweezaadlobbige) plantensoorten in het moleculair-biologisch plantenonderzoek. De organisatie van het genoom van dit modelgewas blijkt onverwachte overeenkomsten te vertonen met het genoom van voedselgewassen, voorzover deze bekend zijn. Die overeenkomsten vergemakkelijken het verdere onderzoek naar deze voedingsgewassen. Rijst is als modelplant aangewezen voor monocotyle (eenzaadlobbige) plantensoorten. Recent publiceerden het Internationale Rice Genome Sequencing project (geleid door Japan) en het Zwitserse bedrijf Syngenta het genoom van twee rijstrassen.

Als de genen van landbouwgewassen in kaart zijn gebracht, zullen ze nieuwe aangrijpingspunten opleveren voor veredeling op ziekteresistentie en productiviteit. Ook zal beter geselecteerd kunnen worden op vitaliteit, levensduur en ziekteresistentie. Naast resistentieveredeling en productiviteit biedt functional genomics nieuwe aangrijpingspunten voor veredeling op agronomische eigenschappen van gewassen, zoals droogtetolerantie en metaalresistentie. De genen die corresponderen met de gewenste eigenschappen kunnen dan tijdens het veredelingsproces worden ingekruist. Dit kan op verschillende manieren: met de klassieke verdelingsmethoden, al dan niet ondersteund door de MAB-techniek (*Marker Assisted Breeding*) of met behulp van de genetische-modificatietechniek. Verrips et al. (2001) verwachten dat functional genomics aan wetenschappelijke onderzoekers de data zal verschaffen om de recombinant DNA-techniek succesvoller toe te passen en te bewijzen dat deze techniek, als ze goed wordt gebruikt, veilig is.

Voor de *nonfood*toepassingen van planten kan met informatie uit functional-genomicsonderzoek veel sterker en preciezer worden veredeld, gericht op de productie van *tailormade* biopolymeren, plantaardige oliën en diagnostica, of geneesmiddelen voor de farmaceutische industrie.

In internationale samenwerkingsverbanden wordt het genoom van verschillende landbouwhuisdieren in kaart gebracht: van het varken (PigMaP), het rund (BoVMaPE) en de kip (ChiCKMaP), maar ook van een groot aantal andere dieren (zoals het schaap, het paard, de kalkoen, de kat, het hert). Potentieel interessante genen worden op basis van

deze kaarten in combinatie met de resultaten van fysiologisch en moleculair biologisch onderzoek geïdentificeerd. Dit levert belangrijke informatie op voor fokkerijprogramma's, omdat gericht kan worden veredeld.

Op het gebied van dierenwelzijn zal genomics een belangrijke rol spelen in de ontwikkeling van veterinaire diagnostica en vaccins. Tevens kunnen objectievere parameters voor dierenwelzijn worden ontwikkeld.

1.2.2 Agrarische productie

Functional genomics zal kunnen worden gebruikt om planten te kweken met bepaalde waardevolle eigenschappen voor de productie van functional foods. Verrips et al. (2001) verwachten dat het telen van deze planten zich zodanig zal ontwikkelen dat het een *hightech* proces wordt, vergelijkbaar met veel microbiële fermentatieprocessen. Functional genomics zal ook informatie verschaffen over de manier waarop planten 'traditioneel' kunnen worden gekweekt, zodat bepaalde eigenschappen zoals smaak, functionele eigenschappen of opbrengsten tegelijkertijd worden geoptimaliseerd.

Functional genomics biedt op termijn ook de mogelijkheid om objectieve kwaliteitsparameters te ontwikkelen van planten en siergewassen die noodzakelijk zijn voor tele-veilen, waardoor veel transportbewegingen kunnen worden bespaard.

1.2.3 Productie van ingrediënten voor de voedings- en genotmiddelenindustrie

Bepaalde ingrediënten van voedselproducten worden met behulp van micro-organismen (gisten, bacteriën en schimmels) gemaakt. Bekende voorbeelden van deze ingrediënten zijn bakkergist en de enzymen die worden gebruikt om vruchtensappen die van nature troebel zijn, helder te maken. Een van de doelstellingen van de producenten van voedselingrediënten is om de opbrengsten van de productieprocessen in deze micro-organismen zo hoog mogelijk te krijgen, zodat er zo weinig mogelijk energie en voedingsstoffen worden gebruikt en zo weinig mogelijk afvalstoffen worden geproduceerd. Een methode om dit te bereiken is door de stofwisselingsprocessen in deze organismen op de gewenste manier bij te sturen (*metabolic pathway engineering*). Metabolomicstechnieken leveren nieuwe methoden om na te gaan welke metabolieten de productie van het ingrediënt in het micro-organisme beïnvloeden en waar het metabole netwerk het best kan worden veranderd om tot de meest efficiënte productie van het ingrediënt te komen. Ook kunnen kritische groeifactoren (zoals het voedsel dat de micro-organismen krijgen en de fysische groeiomstandigheden, als temperatuur en vochtigheid) beter worden bestudeerd door de holis-

tische aanpak die de functional-genomicstechnieken bieden. Hierdoor kan het 'productieproces' in de micro-organismen optimaler worden gestuurd (*ge-engineerd*).

1.2.4. Productie van voedingsmiddelen

Optimalisatie fermentatieprocessen

Een belangrijk deel van ons voedsel wordt met behulp van zogeheten fermentatieprocessen bereid. Bij de productie van bier, wijn, kaas en yoghurt zorgen micro-organismen (meestal bacteriën) voor de omzettingprocessen. Functional-genomicstechnieken kunnen worden gebruikt om het metabooloom of proteoom van bijvoorbeeld starterculturen vast te stellen en op basis daarvan de kwaliteit van het eindproduct te voorspellen. Ook kunnen de effecten van specifieke groeiomstandigheden (voedsel voor de bacteriën) of fysisch-chemische groeiparameters die het smaakprofiel van de starterculturen beïnvloeden, met behulp van functional-genomicstechnieken worden vastgesteld. Op basis hiervan kunnen deze processen beter worden gecontroleerd en bijgestuurd, gericht op bepaalde smaakkenmerken van het eindproduct.

Microbiële genomics is een snelgroeiend terrein. Tabel 2 geeft een overzicht van de genomen van schimmels en bacteriën die in voedselproductie (inclusief van ingrediënten) worden gebruikt en in kaart zijn gebracht, of waaraan wordt gewerkt.

Tabel 2. Overzicht van afgeronde of lopende genomprojecten van voedselgerelateerde *foodgrade* (door de voedselautoriteiten als veilig gekwalificeerde) micro-organismen.

<i>Micro-organismen</i>	<i>Belangrijkste voedseltoepassing of -functie</i>
Schimmels:	
<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	Brood- en drankproductie
<i>Kluyveromyces lactis</i>	Voedselenzymen en fermentatie zuivelproducten
<i>Aspergillus niger</i>	Voedselenzymen en fermentatie plantenproducten
Bacteriën:	
<i>Bacillus subtilis</i>	Voedselenzymen en fermentatie sojaproducten
<i>Lactococcus lactis</i>	Kaas en fermentatie andere zuivelproducten
<i>Lactobacillus plantarum</i>	Verschillende fermentaties en darm 'isolate'
<i>Bifidobacterium longum</i>	Darm 'isolate' en probiotische activiteit
<i>Bifidobacterium breve</i>	Darm 'isolate'
<i>Lactobacillus acidophilus</i>	Darm 'isolate' en probiotische activiteit
<i>Streptococcus thermophilus</i>	Yoghurt- en kaasfermentatie
<i>Lactobacillus bulgaricus</i>	Yoghurtfermentatie

Bron: W.M. de Vos, 2001

Nutrigenomics

Een tweede belangrijk terrein van het functional-genomicsonderzoek heeft betrekking op de relatie voeding-gezondheid bij mensen. De combinatie van functional genomics met voedingswetenschappen noemen we *nutrigenomics*.

Voedsel is meer dan alleen maar calorieën: het bevat een scala aan andere stoffen (micro- en macronutriënten), die voor de gezondheid van de consument van belang zijn. Van bepaalde groenten, fruit en bepaalde kruiden is bekend dat ze een gezondheidsbevorderend effect hebben. Dat kan variëren van kortetermijneffecten op 'je goed voelen' (stemming, energie) tot langetermijneffecten (voorkomen van ouderdomsziekten zoals hart en vaatziekten). Sommige gezondheidseffecten zijn zuiver anekdotisch en gebaseerd op subjectieve gegevens. Van andere is duidelijk wetenschappelijk bewezen dat bepaalde nutriënten invloed hebben op biologische processen, inclusief het veranderen van genexpressie. Deze voedingscomponenten met een bewezen gezondheidseffect zijn niet alleen de ongeveer dertig vitamines en mineralen die nodig zijn voor de algehele ontwikkeling van de mens, maar ook componenten zoals anti-oxidanten, onverzadigde vetzuren en probiotica (Verrips et al. 2001). Deze inzichten zijn het resultaat van tientallen jaren voedingsonderzoek (zie kader).

De geschiedenis van het voedingsonderzoek

In de geschiedenis van het voedingsonderzoek onderscheidt McCollom (1957) een aantal fasen. Gedurende de Naturalistische periode (400 BC – 1750 AD) ontwikkelde Hippocrates weliswaar zijn ideeën over de 'aangeboren warmte' van het lichaam, maar daarnaast werd er nauwelijks wetenschappelijke kennis over voeding ontwikkeld. In het volgende tijdperk, de Chemische-Analytische periode (1750 – 1900), kon door de ontwikkelingen in de scheikunde en de geneeskunde het effect van voeding op het lichaam meer in detail worden bestudeerd. De chemici bestudeerden de samenstelling van het voedsel en wat er met het voedsel in het lichaam gebeurde: de stofwisselingsprocessen. De doktoren onderzochten de spijsvertering, waarbij voedsel door oxidatie tot afbreekbare (en daardoor voor het lichaam bruikbare) componenten wordt omgezet. Deze periode kenmerkt zich door de calorimetrische studies van Lavoisier: hij ontdekte dat voedsel in het lichaam door oxidatieprocessen wordt omgezet (gemetaboliseerd) in koolstofdioxide, water en warmte. Hij ontwierp de calorimeter, waarmee deze warmte kon worden gemeten. In de negentiende eeuw ontdekte Liebig dat koolhydraten, eiwitten en vetten door het lichaam worden geoxideerd. Hij vond een methode uit om energiewaardes voor elk van deze stoffen te berekenen.

Het derde tijdperk, de Biologische periode (1900 – 1957), bouwt voort op de ontwikkelingen in de scheikunde en de biochemie, vooral bij het steeds beter leren kennen van de verschillende onderdelen van het stofwisselingsproces (de zogenoemde metabolic pathways). Het betreft onderzoek naar de energiehuishouding van het lichaam en naar de eigenschappen van voedselcomponenten. Nadat de werking van de macronutriënten (koolhydraten, eiwitten en vetten) min of meer duidelijk is en er ook goede methoden zijn ontwikkeld om deze te meten, verschuift de aandacht van de voedingsonderzoekers zich naar de micronutriënten (vitaminen en mineralen).

De vierde periode die McCollom in 1975 onderscheidt, is het Cellulaire tijdperk, vanaf 1955 tot 2000. Het onderzoek richt zich vooral op het begrijpen van de functies van de essentiële voedingsbestanddelen en de rol van micronutriënten als co-factoren voor enzymen en hormonen, en dus naar de rol van micronutriënten in stofwisselingsprocessen. Er wordt ontdekt dat koolhydraten en vetten een rol spelen bij aandoeningen als diabetes en arteriosclerotische ziekten.

Met de opkomst van technologische mogelijkheden van functional genomics start een nieuwe fase in het voedingsonderzoek: de Genomics-periode (vanaf 2000). Voortbouwend op de ontwikkelingen in de moleculaire biologie, de biotechnologie en gebruikmakend van de nieuwe functional-genomicstechnieken is het mogelijk om allerlei vragen over de relatie voeding-gezondheid te beantwoorden of te onderzoeken.

We onderscheiden drie onderdelen in het nutrigenomicsonderzoek.

Onderzoek naar:

- (a) de effecten van voedsel ingrediënten (nutriënten) op de gezondheid;
- (b) genotyping: de individuele genetische verschillen tussen mensen en het effect van deze verschillen op voeding en dieet;
- (c) de rol van darmbacteriën op de gezondheid.

Hierna gaan we verder in op de drie onderdelen.

(a) De interactie tussen voedsel en gezondheid

We weten dat veel voedselbestanddelen een positief effect hebben op de gezondheid. Maar hoe dat precies in zijn werk gaat in ons lichaam, dat weten we niet. Met functional-genomicstechnieken kan men de interacties tussen bioactieve stoffen uit ons voedsel en het humane genoom tijdens de transcriptie (van DNA naar RNA), de translatie (van

RNA naar eiwit) en de expressie (als het eiwit zijn werk doet in het stofwisselingsproces) meten en op moleculair niveau verklaren. Door het transcriptoom, het proteoom en/of het metabooloom in de aan- en afwezigheid van een nutriënt te meten, proberen onderzoekers het mechanisme te achterhalen. Vervolgens kan dit mechanisme als model dienen voor de screening van voedsel en ingrediënten. Vooral de darmwandcellen zijn een geliefd object van onderzoek naar het effect van voedselcomponenten (zoals absorptie van nutriënten, peristaltiek en immuunrespons).

Een voorbeeld hiervan is de vergelijking van genexpressieprofielen van normaal weefsel en van weefsels van patiënten die lijden aan de ziekte van Crohn en aan darmkolieken (Lawrence et al. 2000; Dieckgreafe et al. 2000, genoemd in Roberts et al. 2001). Een ander voorbeeld van de interactie tussen voedsel en gezondheid is het verband tussen een caloriearm dieet en levensverwachting. Op basis van gegevens uit statistisch, epidemiologisch onderzoek is er een positief verband aan te tonen tussen minder eten (reductie in energie-inname) en ouder worden (hoge levensverwachting). Hoe dit precies werkt, is echter nog onbekend. Het zou wel eens zo kunnen zijn dat een caloriearm dieet effect heeft op een veelvoud van leeftijdgerelateerde processen, variërend van het energiemetabolisme en oxidatieve stress tot de mogelijkheid van het lichaam om DNA te repareren. Dit leidt tot nieuw onderzoek, waarin de DNA-expressiegegevens van jonge en oude weefsels in normale dieren en dieren met een dieet worden geanalyseerd (Verrips et al. 2001).

In het onderzoek naar nieuwe voedingsmiddelen wordt voortdurend gezocht naar actieve biomoleculen (biomarkers) en bijbehorende stofwisselingsprocessen die samenhangen met bepaalde aandoeningen en waarvan de werking door voedselcomponenten kan worden beïnvloed (meestal zoeken onderzoekers naar zogenoemde receptoren). Biomarkers geven een te meten verschil aan tussen twee toestanden, bijvoorbeeld een gezonde en zieke toestand (zo wordt een hoog cholesterolniveau geassocieerd met arteriosclerose; cholesterol is dan de biomarker). De nieuwe biomarkers zijn er vooral om de claims van de werkzaamheid van de bestaande (en nieuwe gezonde/gezondheidsproducten) te ondersteunen, maar ze kunnen ook worden gebruikt in de selectie van nieuwe functional foods.

Voedingsmiddelenproducenten verwachten voorlopig als eerste toepassing van het voedingsgenomicsonderzoek wetenschappelijk inzicht in de werking van voedingscomponenten in het lichaam. Met behulp van hiermee gevonden nieuwe biomarkers kan de noodzakelijke onderbouwing worden gegeven aan de gezondheidsclaims van bestaande en nieuwe voedingsmiddelen. Het bedrijfsleven beschouwt het wetenschappelijk onderbouwen van gezondheidsclaims als een van de belangrijkste kritieke succesfactoren voor de lancering van nieuwe voedingsmiddelen

op de markt. Ze ziet het als haar eigen verantwoordelijkheid om, binnen de wettelijke kaders inzake voedselveiligheid, een methodiek te ontwikkelen die de consument vertrouwen inboezemt én wetenschappelijk verantwoord is. Een goed werkende nationale en Europese voedselautoriteit kan hier een belangrijke functie in hebben.

De nieuwe inzichten in de structuur en functie van verschillende essentiële voedingsbestanddelen en in de relatie voeding–gezondheid die functional genomics biedt, zullen de basis leggen voor de ontwikkeling van geheel nieuwe typen hoogwaardige voedingsmiddelen. Dit is een tweede toepassingsmogelijkheid van voedingsgenomics. Deze zal echter veel langer op zich laten wachten, omdat de ontwikkeling en de lancering op de markt veel tijd zal kosten. Een derde toepassing die bedrijven noemen, is de ontwikkeling van *personalised diets* en *personalised foods*: voedsel dat aansluit bij individuele genenprofielen. De eerlijkheid gebiedt te zeggen dat ze zich tegelijkertijd afvragen of dit wel een reële mogelijkheid is: zal het niet veel te duur worden voor de consument?

Op dit moment bestaat er slechts een zeer klein aantal gevalideerde biomarkers om de werkzaamheid en veiligheid van bioactieve voedsel-ingredienten te meten. Functional-genomicstechnieken zijn uitermate geschikt om, zonder dat men al precies het mechanisme op moleculair-genetisch niveau hoeft te weten, nieuwe biomarkers te vinden om de kleine biologische effecten van voedsel op korte termijn te meten (Schaafsma 2002). Met behulp van functional-genomicstechnieken kunnen veranderingen in genexpressie en in het proteoom, die belangrijk zijn voor de gezondheidsstatus of de aandoening, worden gemeten. Het zoeken en selecteren van de functionele ingrediënten kan zo veel effectiever gebeuren en het onderzoek naar de reactie van lichaamscellen op de nutriënten kan enorm worden versneld (Verrips et al. 2001).

Nieuwe typen voedingsmiddelen

We onderscheiden enkele typen nieuwe voedingsmiddelen. Dit zijn in de eerste plaats de zogenoemde functional foods en nutraceuticals. Functional foods zijn voedingsmiddelen met een positief effect op de gezondheid of de fysieke gesteldheid, die uitgaat boven de normale voedingswaarde. Nutraceuticals zijn voedingsmiddelen waaraan een actieve stof is toegevoegd, of die op basis van een of meerdere actieve stoffen nieuw zijn samengesteld. Ze hebben een hoge voedingswaarde of een belangrijk gezondheids-effect voor bepaalde groepen consumenten of zelfs individuen (zui-gelingen, zieken, personen met een speciaal dieet). Vooral nog gaat het om voedingsmiddelen waaraan bepaalde eiwitten (bijvoorbeeld lactoferrine), vezelingrediënten of bacteriestammen die

een bepaald gezondheidseffect hebben, zijn toegevoegd of die speciaal zijn samengesteld. Een tweede type nieuwe voedingsmiddelen zijn voedingsmiddelen waarbij aan een van de grondstoffen door genetische modificatie nieuwe eigenschappen zijn toegevoegd, zoals de rijst of tomaat met extra caroteen (vitamine A) tegen blindheid of met een verhoogd ijzergehalte. Ook denkbaar zijn transgene gewassen die vooral in warme landen worden geconsumeerd, zoals maïs, gierst of soja, waarbij de voedingswaarde door verandering van de samenstelling sterk is toegenomen. Ten slotte kan ook gedacht worden aan gewassen waaruit allergene componenten zijn verwijderd door bepaalde genen uit te schakelen (met behulp van de zogenaamde anti-sensetechnologie).

Voedsel: preventief of curatief?

Sommigen beweren dat het zoeken naar bioactieve componenten in het voedsel met een gezondheidsbevorderend effect min of meer te vergelijken is met zoeken naar nieuwe geneesmiddelen. Voedsel kan dan zelfs als behandelingsmethode worden beschouwd. Het enige voorbeeld hiervan is het ketogeen dieet voor de behandeling van pediatrische epilepsiepatiënten die niet gevoelig zijn voor farmaceutische behandelingen. Anderen benadrukken juist het grote verschil met de *farmacogenomics*. Die maakt gebruik van de traditionele denkwijze 'een medicijn – een doel', gericht op het vinden van specifieke (kleine) moleculen die elk één bepaald mechanisme in het lichaam beïnvloeden. Voedsel bestaat echter uit een combinatie van moleculen, die met elkaar een bepaald effect teweegbrengen. Het is een complex mengsel van moleculen, waarbij elke molecuul op een ander biochemisch mechanisme in de celstofwisseling ingrijpt. Daarom zijn de functional-genomicstechnieken, vooral die van metabolomics, juist zo geschikt voor voedingsonderzoek (Roberts et al. 2001).

Er is wel een duidelijk verschil tussen nutrigenomics en 'gewoon' geneesmiddelenonderzoek. Nutrigenomics richt zich op het voorkomen van ziekten en houdt zich bezig met de relatie tussen nutriënten en de gevoeligheid voor ziekten. De voedselcomponenten moeten de gezondheidsstatus van het lichaam bewaken (Verrips et al. 2001). Het geneesmiddelenonderzoek richt zich op het ontstaan van ziekten met als doel: behandeling. Een ander verschil is dat de gezondheidsbevorderende werking van voedsel, ondanks de belangrijke langetermijngezondheidseffecten, te maken heeft met subtiele verschuivingen in metabole evenwichten. Het effect van een geneesmiddel is juist gericht op een specifiek gen en beoogt een snelle ingrijpende reactie tot stand te brengen (Gilles 2002). Dit verklaart ook waarom het erg moeilijk is om goede biomarkers te vinden om de gezondheidseffecten van voedsel te meten.

(b) Genotyping: genetische verschillen, gezondheid en voeding

Uit onderzoek naar het voorkomen van chronische ziekten (hart- en vaatziekten, artritis osteoporosis en Alzheimer) blijkt dat sommigen mensen deze ziekten pas krijgen als ze 80 worden, maar anderen er al op 60-jarige leeftijd mee worden geconfronteerd. Het blijkt dat bepaalde karakteristieken van deze ouderdomsziekten gerelateerd kunnen worden aan voedingspatronen. Zo blijkt ook dat sommige personen met een erg vet dieet geen enkel verschijnsel van arteriosclerose vertoonden en anderen juist wel. Net als in het eerdere voorbeeld over de ziekte van Crohn, wordt vermoed dat er genetische factoren in het spel zijn. Maar onderzoeksmethoden om dit verband ook op moleculair niveau aan te tonen, waren er tot voor kort niet. Onderzoekers maakten vooral gebruik van statistische epidemiologisch onderzoeksmethodieken.

Functional genomics kan belangrijke informatie verschaffen om (uitlopende) individuele of groepsreacties op een dieet te verklaren. Hierbij is een belangrijk uitgangspunt dat het genoom van mensen onderling van elkaar verschilt. Hoewel het genoom van mensen voor ongeveer 99,9 procent gelijk is, betekent het verschil van 0,1 procent dat er per duizend genen een variatie bestaat. Het totaal aantal punten waarop menselijke genomen van elkaar kunnen afwijken – de zogeheten Single Nucleotide Polymorfisms (SNP's) – loopt zo in de miljoenen. Een internationaal consortium van farmaceutische bedrijven en universiteiten heeft het initiatief genomen om alle humane SNP's in kaart te brengen. Het uiteindelijke doel is de ontwikkeling van therapeutica, maar op basis van reeds behaalde resultaten zijn al verschillende diagnostica in ontwikkeling. De variaties in het menselijk genoom zijn van groot belang om de genetische basis van individuele verschillen te kunnen begrijpen, bijvoorbeeld als reactie op voedingspatronen, maar ook om de werking van omgevingsfactoren, zoals voeding, op genetische activiteit te begrijpen. De meeste van deze verschillen hebben geen effect, maar er zijn ook verschillen die in samenwerking met elkaar een aandoening bepalen.

Een voorbeeld van het onderzoek naar genetische variaties is het onderzoek naar de reactie van het lichaam op ontstekingen. Bij veel chronische ziekten is er iets aan de hand met de wijze waarop het lichaam op ontstekingen reageert. Genetisch onderzoek toonde aan dat een onderscheid kan worden gemaakt in groepen met vergelijkbare genotypes (dit is een groep mensen met dezelfde set SNP's), die overeenkomen met een sterke of juist minder sterke reactie van het lichaam op ontstekingen. Er is een genotype met een hoge productie: dit type heeft een sterke reactie op ontstekingen en wordt tegelijkertijd geassocieerd met een actieve en heftige respons op verschillende chronische ziekten. Uit onderzoek bleek ook dat individuen die tot dit type behoren, gemiddeld een zes keer hogere kans op een hartaanval hebben dan individuen met hetzelfde cholesterolniveau, maar met

een genotype dat een minder sterke reactie geeft. De bepalende genetisch factoren werken via biochemische mechanismen, die te veranderen zijn door verschillende nutriënten. Omdat studies hadden aangetoond dat combinaties van bepaalde vetzuren de ontstekingsreactie beïnvloeden, zijn er experimenten opgezet om te onderzoeken welke combinaties van vetzuren het ontstekingsgedrag van de hoogproducerende types kunnen beïnvloeden en daarmee de kans op meervoudige chronische ziekten kunnen verkleinen. Een van de uitkomsten van dit onderzoek zijn aanbevelingen voor mensen die tot het hoogproducerende risicogenotype behoren; zij kunnen door een dieet met bepaalde vetzuren te volgen, de kans op deze ziekten verkleinen (Kornman 2002).

(c) De rol van darmbacteriën en gezondheid

In de darm zitten verschillende bacteriën, de zogeheten darmflora. Sommige bacteriën hebben een belangrijke functie in de vertering van ons voedsel, maar er zijn ook ziekteverwekkende bacteriën aanwezig. De gen-expressieprofielen van deze bacteriën zijn gevoelig voor het dieet en voor de activiteit van de gastheer waarin de darmbacteriën zitten (de mens). Omdat met behulp van de functional-genomicsaanpak de genexpressieprofielen van darmflorabacteriën en van menselijke cellen in de omgeving van die bacteriën simultaan kunnen worden gemeten, is onlangs onderzoek gestart naar het effect van een bacteriële infectie op de transcriptie van gastheercellen. Ook kan het gezondheidseffect van bacteriën die aan ons voedsel worden toegevoegd – de zogenoemde probiotica – met behulp van functional-genomicstechnieken worden gemeten en kunnen gezondheidsclaims worden onderbouwd (Van der Werf et al, 2001). Mogelijke gezondheidsbevorderende effecten zijn het stimuleren van het immuunsysteem, het omzetten van potentiële kankerverwekkers in onschuldige verbindingen en het produceren van bepaalde gezondheidsbevorderende moleculen (peptiden) (Verrips et al. 2001).

1.2.5 Voedselveiligheid

De laatste bijdrage van functional genomics aan het voedsel- en voedingsonderzoek betreft het terrein van voedselveiligheid en voedselkwaliteit. Dit heeft zijn betekenis voor alle onderdelen van de keten.

In de eerste plaats gaat het om de ontwikkeling van nieuwe biomarkers die de veiligheid en kwaliteit van voedsel ingrediënten meten voordat ze in nieuwe voedingsmiddelen op de markt kunnen worden gebracht. Het biologische effect van de bioactieve stoffen op het transcriptoom, proteoom en/of het metaboom wordt met behulp van de functional-genomicstechnieken vergeleken met de effecten van bestanddelen die aan cellen zijn toegevoegd en waarvan de werking bekend is. Denk daarbij aan onderzoek naar biomarkers die corresponderen met effecten van allergische reacties van mensen op nieuwe voedselbestanddelen.

De ontwikkeling van biomarkers die specifiek voedselbederf of de aanwezigheid van ziekteverwekkend micro-organismen in voedsel kunnen aantonen, is een tweede toepassing. Als deze biomarkers zijn gevonden, kunnen ze gebruikt worden in detectiemethoden om de aanwezigheid van deze micro-organismen in voedsel aan te tonen gedurende de opslag en het vervoer van voedselproducten. De Vos (2001) constateert dat de complete genomen van verschillende belangrijke ziekteverwekkende en bederf veroorzakende micro-organismen al zijn opgehelderd: *Escherichia coli*, *Bacillus subtilis*, *Bacillus cereus*, *Bacillus anthracis*, *Salmonella typhimurium*, *Campylobacter jejuni*, *Listeria monocytogenes*, *Staphylococcus aureus* en *Saccharomyces cerevisiae*. Als mogelijke reden voor het feit dat het genoom van relatief zoveel van dit type micro-organismen al bekend is, noemt De Vos het belang van farmaceutische bedrijven om geneesmiddelen met een anti-infectie- of immunisatiewerking te ontwikkelen, of biomarkers te screenen voor ziekteverwekkende en giftige micro-organismen.

2. Voedingsgenomics- onderzoek in Nederland

Voedingsgenomics is een tamelijk nieuw onderzoeksgebied dat maatschappelijk en economisch zeer relevant is. Met een inventarisatie van de huidige onderzoeksinspanningen op het gebied van voedingsgenomics (bij universiteiten, onderzoeksinstituten en het bedrijfsleven) dachten we dan ook snel klaar te zijn. Dat pakte anders uit: er waren veel meer onderzoeksprojecten dan we veronderstelden. Zijn we in Nederland dan al zo ver? Waarin zijn we dan sterker en verder dan we dachten? En wat betekent dit voor een maatschappelijke agenda?

In dit hoofdstuk gaan we in op de huidige Nederlandse positie op het gebied van voedingsgenomicsonderzoek: de nationale regie hierover en de beschikbare budgetten voor het genomicsonderzoek (paragraaf 2.1), een overzicht van de Nederlandse onderzoeksactiviteiten (2.2), voedingsgenomicsonderzoek in het Nederlandse bedrijfsleven (2.3) en voedingsgenomicsonderzoek in internationaal perspectief (2.4).

2.1 Publieke onderzoeksprogramma's op het gebied van voedingsgenomics

In juli 2001 besloot het tweede kabinet-Kok dat de Nederlandse kennisinfrastructuur op het gebied van genomics aanzienlijk moest worden versterkt (TK 2000-2001, 27 866). Mede op basis van een advies van de Commissie-Wijffels (april 2001), wenste het kabinet een integrale aanpak over het hele innovatietraject. Daarvoor is voor een periode van vijf jaar een budget van 188,8 miljoen euro beschikbaar gesteld. Het programma moet uitgevoerd worden vanuit een nationaal regieorgaan, dat alle onderzoeksactiviteiten op het gebied van genomics, van fundamenteel tot innovatief, van natuurwetenschappelijk tot sociaal-wetenschappelijk, coördineert.

Kort daarna, al in augustus 2001, is het Nationaal Regie-Organ Genomics bij NWO opgericht. De opdracht van het Regie-Organ is het formuleren en ten uitvoer brengen van de nationale strategie. Het moet het genomicsonderzoek stimuleren en coördineren en ervoor zorgen dat er op basis van de resultaten van het innovatieve onderzoek veel nieuwe bedrijvigheid ontstaat, onder andere door het oprichten van nieuwe bedrijven. Ook moet het zorgen voor een goede maatschappe-

lijke inbedding van het onderzoek en voor communicatie met alle belangrijke belanghebbenden (*stakeholders*).

Het tweede kabinet-Kok stelde vier onderzoeksthema's voor als uitgangspunt bij de verdere invulling van de nationale strategie. Het Regie-Organ heeft dit voorstel overgenomen. Deze thema's zijn:

1. de relatie tussen voedsel en gezondheid, inclusief voedselveiligheid;
2. mechanismen van infectieziekten;
3. het ontstaan van multifactoriële ziekten, waarbij zowel genetische als omgevingsfactoren van invloed zijn;
4. het functioneren van ecosystemen, gericht op duurzame, milieuveilige en gezonde plantaardige en dierlijke producten.

De expliciete keuze van de Nederlandse overheid om het voedingsgenomicsonderzoek te stimuleren, komt voort uit thema 1, maar ook uit de thema's 3 (als het gaat om de omgevingsfactor voeding) en 4 (aangezien deze plantaardige en dierlijke producten vooral zijn bedoeld voor voedselconsumptie).

Genomics Zwaartepunten

Het Regie-Organ gaf in de oproep om voorstellen in te dienen voor Genomics Zwaartepunten (5 november 2001) aan dat het streeft naar een zo evenwichtig mogelijke verdeling van het aantal zwaartepunten (maximaal vijf) over de vier thema's. Begin januari 2002 lagen er elf voorstellen voor zwaartepunten. Een internationale jury kandideerde vervolgens vier van de elf ingediende voorstellen. De gelukkigen mochten een businessplan schrijven. In december 2002 zijn definitieve contracten getekend met de vier geselecteerde zwaartepunten.

Twee van de gekandideerde voorstellen gaan over aspecten van voedingsgenomics: het voorstel van het Wageningse Centre for Biosystems Genomics en het voorstel van het Delftse Kluyver Centre for Genomics of Industrial Fermentation. Een voorstel van het Centre for Human Nutrigenomics is afgewezen.

Het voorgestelde onderzoeksprogramma van het Centre for Biosystems Genomics richt zich op de aardappel en de tomaat, met behulp van kennis over functional-genomicstechnieken die ontwikkeld zullen worden, en de interactie van deze twee planten met belangrijke ziekteverwekkers. Hiermee kan een bijdrage aan een duurzamere teelt en verwerking van de gewassen worden geleverd. De genetische modificatietechnieken zullen alleen in het onderzoek worden gebruikt, zo meldt het Centre in spe. Uitsluitend na nauw overleg met alle stakeholders zullen genetische modificatietechnieken eventueel commercieel worden geëxploiteerd. In plaats daarvan zal voor de gewasver-

edeling de zogenoemde *marker assisted breeding*-methodiek verder worden ontwikkeld.

Het Centre is een samenwerkingsverband van onderzoeksgroepen van de universiteiten van Wageningen, Utrecht en Nijmegen en van de onderzoeksinstituten Plant Research International (PRI), Instituut voor Agrotechnologisch Onderzoek (ATO) en het Swammerdam Institute for Life Sciences van de Universiteit van Amsterdam. Er is een grote groep bedrijven die dit voorstel ondersteunt: Avebe, ENZA Zaden, Keygene NV, Agrico Research BV, Aventis Seeds BV, Nickerson-Zwaan, de Vereniging voor de Aardappelverwerkende Industrie (VAVI) en het Hoofdproductschap Akkerbouw.

Het doel van het voorgestelde onderzoek van het Kluyver Centre for Genomics of Industrial Fermentation is de verbetering van fermentatieprocessen. Het gaat om fermentatieprocessen waarbij micro-organismen (gisten, melkzuurbacteriën en schimmels) zijn betrokken die van groot belang zijn voor de fijnchemie, de farmacie, de zuivelindustrie en voor brouwerijen. Vanwege het brede toepassingssterrein is er een brede groep bedrijven uit de vier verschillende sectoren die in dit zwaartepunt willen participeren. De voedingsmiddelenbedrijven die tot deze groep behoren zijn: DSM, Friesland Coberco Dairy Foods, CSM/Purac, Campina en Heineken. De voedingsmiddelenindustrie wil uitsluitend genomics toepassen om de procesvoering en de stammen te verbeteren (de fijnchemie en farmabedrijven kunnen genomics combineren met genetische modificatie; voor de chemische industrie is duurzaamheid een motief om te participeren). Behalve de Delftse onderzoeksgroep participeren in dit centrum onderzoeksgroepen van de universiteiten van Leiden, Wageningen en Nijmegen en de onderzoeksinstituten TNO-Voeding, ATO en NIZO Food Research.

Genomicsprogramma's van NWO

Naast de Genomics Zwaartepunten vallen ook de NWO-programma's Genomics, Biomoleculaire Informatica en De Maatschappelijke Component van Genomics onder de regie van het Nationaal Regie-Organ Genomics. Deze NWO-programma's zijn al verder; ze hebben allemaal al een eerste financieringsronde achter de rug. In de NWO-programma's wordt geen expliciete keuze gemaakt om bepaalde onderdelen van het genomicsonderzoek te stimuleren. Het onderzoeksterrein waarbinnen te financieren onderzoeksprojecten moet passen is gedefinieerd; kwaliteit is verder het enige selectie criterium.

Het NWO-programma Biomoleculaire Informatica is gericht op de versterking van de biomoleculaire informatica in Nederland voor het moderne Life Science-onderzoek, inclusief genomics. Dit doel wordt langs twee lijnen nagestreefd: vorming van gespecialiseerde onderzoeksgroep stimuleren en gespecialiseerde expertise inbrengen in

andere biomoleculaire onderzoeksgroepen. Het NWO-programma Genomics stimuleert en coördineert door nieuwsgierigheid gedreven fundamenteel genomicsonderzoek van hoge kwaliteit. Het NWO-programma de Maatschappelijke Component van het Genomicsonderzoek stimuleert ethisch, juridisch en sociaal-wetenschappelijk onderzoek naar de maatschappelijke component van het genomicsonderzoek en de daaruit voortvloeiende consequenties.

Ten slotte is er het NWO-programma Voeding en Chronische Ziekten, waarin ook voedingsgenomicsonderzoek wordt gefinancierd. Dit valt niet onder de hoede van het Regie-Organ, omdat het al eerder was gestart. Het programma richt zich op onderzoek naar interacties tussen genen en voeding bij het ontstaan van hart- en vaatziekten en darmkanker. Er zijn vier onderzoeksthema's: cholesterol en andere vetachtige stoffen in het bloed (lipiden), stollingsgeneigdheid van het bloed (trombose), overgewicht en vetzucht (obesitas) en darmkanker en darmpoliepen. Het programma wordt medegefinancierd door het RIVM en de Hartstichting.

IOP Genomics

De hoofddoelstelling van IOP Genomics is het strategische onderzoek aan de Nederlandse universiteiten en onderzoeksinstituten te versterken in een richting die past bij de innovatiebehoefte van het Nederlandse bedrijfsleven. Omdat genomicsonderzoek in potentie tot veel nieuwe bedrijvigheid kan leiden in de vorm van innovatieve hightech starters, richt dit IOP zich ook nadrukkelijk op de mogelijkheid om vanuit IOP-onderzoek nieuwe bedrijven te laten ontstaan. Het IOP Genomics wordt (net als andere IOP's) geleid door Senter, maar valt ook onder het Regie-Organ.

In het meerjarenprogramma van het IOP Genomics worden de drie hoofdthema's gepresenteerd waarop het onderzoeksprogramma zich richt. Deze zijn:

1. de pathogenese van chronische/ouderdomsziekten te ontwikkelen, met het doel te komen tot een betere diagnose, behandeling en preventie van deze ziekten door geneesmiddelen en voedingsmiddelen;
2. de functionaliteit, kwaliteit en veiligheid van voedselproductie;
3. biomoleculaire processen (zoals signaaltransductie en metabole pathways) verklaren door experimentele data, alsook vanuit genoominformatie, van voor Nederland belangrijke (industriële) micro-organismen, planten, dieren en de mens.

Voedingsgenomics krijgt in het IOP Genomics dus expliciete aandacht in het tweede hoofdthema, maar in principe kunnen aspecten van voedingsgenomicsonderzoek ook in projecten bij het eerste en derde thema aan de orde komen.

Tabel 3 bevat gegevens over looptijd, totale budget en de gehonoreerde programma-onderdelen (zwaartepunten, projecten) op het gebied van voedingsgenomics.

Tabel 3. Onderzoekprogramma's met een belangrijke aandeel voedingsgenomicsonderzoek

Programma	Looptijd	Totaal budget	Gehonoreerde voedingsgenomics projecten
Genomics Zwaartepunten	2002 – 2006	€ 188,8 miljoen	4 zwaartepunten na 1e ronde geselecteerd, waarvan 2 rakend aan voedingsgenomics.
NWO Genomics	2001 – 2006		17 projecten gehonoreerd, waarvan 7 als voedingsgenomics kunnen worden aangemerkt.
NWO Biomoleculaire Informatica	2001 – ca. 2007		10 projecten gehonoreerd, waarvan 2 als voedingsgenomics kunnen worden aangemerkt.
NWO Maatschappelijke Component van Genomics onderzoek	2001 – ...		17 essays en 24 vooraanmeldingen projecten gehonoreerd, waarvan 2 als voedingsgenomics kunnen worden aangemerkt.
IOP Genomics	2001 – 2009		In 1e fase zijn 7 projecten gehonoreerd, waarvan 3 als voedingsgenomics kunnen worden aangemerkt.
NWO Voeding en Chronische Ziekten	1997 – 2002	€ 5,22 miljoen (alle geld is – na 2 ronden – besteed)	In totaal zijn 12 projecten gehonoreerd, waarvan alle als voedingsgenomics kunnen worden aangemerkt.
Totaal		€ 194,02 miljoen	

Het Regie-Organ heeft als totale bedrag over de periode 2002-2006 188,8 miljoen euro ter beschikking. Een deel daarvan (€ 34,9 miljoen) is reeds bestemd; het betreft de budgetten voor de drie NWO-programma's en het IOP Genomics. Het budget is samengesteld op basis van bijdragen die vijf ministeries (OCenW, EZ, LNV, VWS en VROM) uit hun begroting hebben vrijgemaakt.

Andere financieringsmogelijkheden van voedingsgenomicsonderzoek zijn de Stichting Technische Wetenschappen (STW), de Vernieuwingsimpuls (van het ministerie van OCenW en van NWO) en het programma Technologische Samenwerking (van het ministerie van Economische Zaken). Ondersteuning op het gebied van apparatuur kan verder worden aangevuld met de NWO-apparatuurfondsen.

In 1997 heeft het ministerie van Economische Zaken extra geld beschikbaar gesteld voor Technologische Top Instituten. Een van deze instituten is het Wageningen Centre for Food Sciences (WCFS).

Dit instituut is gericht op voedingsonderzoek in het algemeen, genomics wordt hierin een steeds belangrijker onderzoeksterrein.

Volledigheidshalve merken we nog op dat de ministeries van LNV en VWS jaarlijks afspraken maken met 'hun' onderzoeksorganisaties (DLO en in mindere mate TNO, en RIVM) over onderzoeksprogramma's. Genomicsonderzoek maakt hier onderdeel van uit.

2.2 Voedingsgenomicsonderzoek aan universiteiten en onderzoeksinstituten

Het is nooit eenvoudig om overzichten van lopend onderzoek te maken. Toen we vooraf een inschatting maakten van de omvang van het voedingsgenomicsonderzoek aan Nederlandse universiteiten en onderzoeksinstituten, verwachten we met zo'n tien tot twintig projecten wel klaar te zijn. Dat bleek een behoorlijke onderschatting. We hebben op basis van beschikbare bronnen een lijst opgesteld van in totaal 106 projecten, die op zes universiteiten en acht onderzoeksinstituten worden uitgevoerd (zie bijlage 2).

Een nadeel van inventarisaties is dat het niet zeker is of ze compleet zijn en dat is ook nu het geval. We hebben grotendeels de zogeheten tweede-geldstroomprojecten geïnventariseerd en aanvullend de projecten van groepen die hun overzichten goed beschikbaar hebben. Wat ontbreekt aan het overzicht in bijlage 2 zijn onderzoeksprojecten op het gebied van voedingsgenomics die worden gefinancierd door:

- eerste-geldstroommiddelen – het budget dat universiteiten op basis van studentenaantallen krijgen voor onderwijs en onderzoek. Het gaat om genomicsonderzoek op faculteiten voor medische, farmaceutische en natuurwetenschappen (dit geldt niet voor de projecten van deze onderzoeksgroepen die onderdeel zijn van het Centre for Human Nutrigenomics en de onderzoeksschool NUTRIM van de Universiteit van Maastricht; deze staan wel op de websites van het centre respectievelijk de onderzoeksschool, dus ook op onze lijst);
- derde-geldstroommiddelen – het gaat om contractonderzoek bij universiteiten en onderzoeksinstituten in opdracht van de industrie, om onderzoek gefinancierd door EU-projecten, en onderzoek gefinancierd door de zogenoemde collectebusfondsen (zoals Nederlandse Hartstichting, Koningin Wilhelminafonds, Maag-Lever-Darm Stichting, Preventiefonds, Unicef).

In tabel 4 is, volgens dezelfde systematiek als in het vorige hoofdstuk, voor elk onderdeel van de keten aangegeven welke onderzoeksinstituten op het desbetreffende gebied actief zijn en het totaal aantal onderzoeksprojecten over onderwerpen uit de desbetreffende

schakel van de keten. De twee Genomics Zwaartepunten die (mede) betrekking hebben op het voedingsgenomicsterrein, zijn tussen haken gezet omdat de status ervan op het moment van inventarisatie (voorjaar 2002) nog niet officieel was. Deze zijn ook niet in het aantal projecten opgenomen.

Tabel 4. Universiteiten en onderzoeksinstituten actief in voedingsgenomicsonderzoek

<i>Voedselproductieketen</i>	<i>Onderzoeksinstituten</i>	<i>Aantal projecten</i>
VAN GROND TOT MOND		
Productie van plantaardig en dierlijk uitgangsmateriaal (zoals zaadveredelaars)	PRI, WURC, UU, ATO, ID-Lelystad, RUL, (Centre for Biosystems Genomics)	13
Agrarische productie (veehouderij land- & tuinbouw, visserij)	–	
Productie van voedsel ingrediënten	ATO, TNO-Voeding, KUN, WURC, RUG, WCFS (Kluyver Centre for Genomics of Industrial Fermentation)	10
Productie van voedingsmiddelen	ATO, PRI, NIZO, TNO-Voeding, WURC, ID-Lelystad, UM, RIKILT	34
Dienstverleners (diëtisten, artsen)	UM, RUL, RIVM, TNO-PG	33
Voor de hele keten: voedselkwaliteit- en voedselveiligheid	RIKILT, RIVM, ID-Lelystad, PRI, RUG, WURC	16
Totaal		106

Er zijn voedingsgenomicsonderzoeksactiviteiten in alle schakels van de keten, behalve in agrarische productie. Bovenstaand overzicht laat zien dat op het brede gebied van het voedingsgenomicsonderzoek het aandeel vraagstukken dat aan het eind van de keten aan de orde is, het grootst is. Het gaat hier in de eerste plaats om onderzoek gericht op voedselproductieprocessen en nieuwe voedingsmiddelen, dat voornamelijk plaatsvindt in de voedingsonderzoeksgroepen van TNO-Voeding, NIZO en het Wageningen University and Research Centre (Humane Voeding en Epidemiologie, Laboratoria voor Biochemie, Genetica, Microbiologie, Toxicologie). Het medisch onderzoek naar de relatie voeding-gezondheid hebben we in de kolom corresponderend met dienstverleners geplaatst, omdat dit onderzoek vooral resulteert in adviezen van artsen en diëtisten aan patiënten over voeding en dieet. De belangrijkste onderzoeksgroepen hiervoor zijn de onderzoeksscholen NUTRIM en CARIM van de Universiteit van Maastricht, het RIVM-Centrum voor Chronische Ziekten en Epidemiologie en het RIVM Laboratorium voor Effectenonderzoek.

Onderzoeksgroepen van het Wageningen University and Research Centre (WURC), TNO-Voeding, RIVM, NIZO en de Universiteit van Maastricht hebben zich verenigd in het Centre for Human Nutrition.

Het onderzoek is opgedeeld in vier thema's:

- onderzoek naar de functionaliteit en veiligheid van ingrediënten die relevant zijn voor de humane gezondheid;
- onderzoek gericht op het verklaren van de moleculaire mechanismen van de gezondheidseffecten van voeding;
- onderzoek naar de impact van het genotype op de relatie voeding-humane gezondheid;
- ontwikkeling en toepassing van markers voor het aantonen van aanwezigheid, biobeschikbaarheid, functionaliteit en risico's.

Op het onderzoeksgebied Voedselveiligheid en Genomics is vooral het RIKILT (Rijks-Kwaliteits Instituut voor Land- en Tuinbouwproducten) actief. Hun genomicsonderzoek is gericht op productkarakterisering, effecten op de mens en detectie. Met behulp van genomicstechnieken wordt meer inzicht verkregen in de inhoud van de producten, in het bijzonder de veiligheidsbeoordeling. Het RIKILT is op dit gebied een wereldspeler en opereert in een netwerk, waarbij vergelijkbare instituten in andere Europese landen zijn aangesloten. DNA-chips (*micro arrays*) worden gebruikt om inzicht te krijgen in de moleculaire effecten van natuurlijke inhoudsstoffen, functionele componenten, micro-organismen, xenobiotica en de identificatie van nieuwe componenten uit bijvoorbeeld genetisch gemodificeerde producten. Gen-expressie-analyses met micro arrays worden ook gebruikt om vroege biomarkers op te sporen, die meerdere stoffen gelijktijdig kunnen detecteren en identificeren.

Ook al is het voedingsgenomicsonderzoek naar vraagstukken die aan het begin van de keten (planten en dieren genomics) spelen wat beperkt in omvang, een onderzoeksinstituut als Plant Research International (PRI, onderdeel van WURC) heeft toch een sterke positie op dit gebied. Het heeft al heel vroeg in het genomicsonderzoek geïnvesteerd en beschikt nu over alle technische functional-genomicsonderzoeksfaciliteiten. Hiervan maken de onderzoeksgroepen van het WURC veel gebruik, ook degene die actief zijn verder in de keten, en bedrijven. Duurzaamheid speelt een centrale rol in het planten-genomicsonderzoek van het PRI. Het betekent gezondere producten leveren door minder chemicaliën te gebruiken voor gewasbescherming, de kwaliteit van de gewassen zelf te verbeteren, beter gebruik te maken van de biodiversiteit en de kosten in de keten terug te dringen, bijvoorbeeld door de houdbaarheid van gewassen te verbeteren of door de energiebehoefte van gewassen en hun verwerkingsproces te verminderen. Het PRI speelt de centrale rol in het nieuwe Zwaartepunt Centre for Biosystems Genomics.

2.3 Voedingsgenomicsonderzoek van het Nederlandse bedrijfsleven

Bij de opzet van het Strategisch Actieplan Genomics in 2000, dat een belangrijke bijdrage heeft geleverd aan de totstandkoming van het uiteindelijke kabinetsstandpunt inzake genomics, was een groot aantal bedrijven betrokken. Het betrof veredelaars in zaai- en pootgoed, zoals Avebe en Advanta Seeds, en researchbedrijven op dit gebied, zoals KeyGene, dierveredelingsbedrijven zoals het Institute for Pig Genetics BV (IPG), Nutreco, Coöperatie Rundveeverbetering Delta (CR-Delta), de Nederlandse aardappelveredelingsbedrijven en de Nederlandse consumptieaardappel- en zetmeelaardappelverwerkingsbedrijven. Daarnaast bestond de groep uit voedingsmiddelenproducenten zoals Unilever, Numico, de twee grote zuivelbedrijven Campina en Frico Coberco Dairy Products (FCDP) en DSM als producent van ingrediënten voor de voedingsmiddelenindustrie. Op deze manier wilde een belangrijk deel van de Nederlandse bedrijven in de agrofoodsector aan de Nederlandse overheid het belang van genomics-onderzoek voor hun toekomstige activiteiten duidelijk maken.

Ook bij de voorbereiding en de uitvoering van het innovatiegerichte onderzoeksprogramma Genomics (IOP Genomics), dat in 2001 is gestart, zijn bedrijven uit de agrofoodsector betrokken. Dit zijn Unilever, DSM, Numico en KeyGene. Deze en andere bedrijven (zie een overzicht van alle betrokken bedrijven in tabel 5) zijn actief in de begeleidingscommissies van de IOP-Genomicsprojecten, die worden uitgevoerd door onderzoekers van onderzoeksinstituten. Bedrijven kunnen in natura (technologie, materialen, faciliteiten en menskracht) of financieel (de hoogte van het bedrag dat het bedrijf bijdraagt kan van project tot project verschillen) participeren in een IOP-project.

Tabel 5. Nederlandse bedrijven betrokken bij voedingsgenomics-onderzoek

Voedselproductieketen:	Bedrijven betrokken bij Voedingsgenomics
VAN GROND TOT MOND	onderzoek in Nederland
Productie van plantaardig en dierlijk uitgangsmateriaal (zoals zaad-veredelaars)	Keygene, Aventis Seeds (AVEBE, ENZA Zaden, Agrico Research, Nickerson-Zwaan, de Vereniging voor de Aardappelverwerkende Industrie (VAVI) en het Hoofdproductschap Akkerbouw. Overige leden: HZPC Holland, C. Meijer, Van Rijn, De Ruiter Zaden, Rijk Zwaan via Biosystems Genomics Zwaartepunt)
Agrarische productie (veehouderij land- & tuinbouw, visserij)	–
Productie van voedselingrediënten	DSM (FCDF, CSM/Purac, Campina en Heineken via Kluyver Genomics Zwaartepunt)
Productie van voedingsmiddelen	Unilever, Numico (Campina en FCDF via IOP Genomics)
Dienstverleners (diëtisten, artsen en bedrijven)	–
Voor de hele keten: voedselkwaliteit- en voedselveiligheid	Keygene, Unilever, DSM

De meeste bedrijven in de tabel voeren niet zelf genomicsonderzoek uit, maar zijn via IOP-projecten of straks via het onderzoek in de Genomics Zwaartepunten betrokken bij voor hen relevant onderzoek, dat universiteiten en onderzoeksinstituten uitvoeren. Dat zo weinig bedrijven zelf voedingsgenomicsonderzoek uitvoeren, komt doordat de Research en Development (R&D)-budgetten van bedrijven in de agrofoodsector vergeleken met die in de farmasector, relatief klein zijn. Farmaceutische bedrijven besteden circa twintig procent van hun omzet aan R&D, voor bedrijven in de agrofoodsector ligt dat rond de twee à drie procent. Een tweede reden is dat voedingsgenomics-onderzoek nog sterk fundamenteel van karakter is; het heeft een lange adem en de uitkomsten zijn nog onzeker. Zoals ook al uit het vorige hoofdstuk naar voren kwam, zijn de eerste toepassingen van voedingsgenomicsonderzoek op zijn vroegst pas over vijf à tien jaar te verwachten. Sommigen vinden het zelfs realistischer om te spreken over tien à twintig jaar. Met de verschillende mogelijkheden die de programma's bieden, schuiven bedrijven dan liever aan in plaats van zelf (te) hoge investeringen te doen.

Genomicsonderzoek van grote bedrijven

Alleen grote bedrijven zoals DSM en Unilever voeren zelf genomics-onderzoek uit. Unilever participeert sterk in de genoemde publieke onderzoeksprogramma's en voert tegelijkertijd in huis genomics-onderzoek uit naar ziekteverwekkende micro-organismen die leven op

voedsel en bederf kunnen veroorzaken. Omdat verhitte de effectiefste conserveringsmethode is van voedsel (pasteuriseren, steriliseren), doet Unilever onderzoek naar de hittebestendigheid van deze ziekteverwekkende micro-organismen. Met behulp van functional genomics wil het bedrijf een antwoord krijgen op de vraag waarom een ziekteverwekkend organisme onder bepaalde conserveringsomstandigheden (hitte, druk en andere conserveringsmethoden, zoals zouten) wel of niet groeit.

Door met behulp van functional-genomicstechnieken de werking van de verschillende conserveringsmethoden op moleculair niveau inzichtelijk te onderzoeken, kan men inzicht krijgen in welke micro-organismen wél en welke niet bestand zijn tegen hoge druk of hoge temperaturen. Op basis van functional-genomicsonderzoek kunnen klassieke en alternatieve conserveringsmethoden worden optimaliseerd. Dat gebeurt in de eerste plaats door het mechanisme in het specifieke ziekteverwekkende organisme dat verantwoordelijk is voor de hitte- of drukbestendigheid zodanig te veranderen, dat het alsnog door hitte- of drukbehandeling geconserveerd kan worden. In de tweede plaats kunnen nieuwe gecombineerde conserveringsmethoden van bijvoorbeeld verhitte en hoge druk worden ontwikkeld, waarmee zowel voedselkwaliteit (gezondheid, smaak) als voedselveiligheid zijn gediend. Ook wordt gedacht aan de ontwikkeling van op de biochip gebaseerde detectiemethoden om bijvoorbeeld op voedsel aanwezige besmettingen met ziekteverwekkend bacteriën (door opslag of transport) snel te kunnen detecteren. Of om van aangeleverde grondstoffen te kunnen nagaan met welke typen ziekteverwekkers ze zijn besmet, zodat verdere conserveringsbehandelingen daarop kunnen worden afgestemd (Brul et al. 2002).

Daarnaast zet Unilever (vooral extern) voedingsgenomicsonderzoek in om de ontwikkeling van nieuwe producten op langere termijn te ondersteunen. Het gaat om producten die de risico's op hart- en vaatziekten verminderen, overgewicht bestrijden en voorkomen, en die de weerstand verhogen. Becel, een Unilever-product, is een voorbeeld van het eerste-generatieproduct dat het risico van hart- en vaatziekten wil verminderen. Becel ProActief is een tweede-generatieproduct. Op basis van voedingsgenomicsonderzoek zou op de lange termijn een volgende-generatieproduct in deze klasse kunnen worden ontwikkeld.

DSM, dat met het in 1998 overgenomen Gist-brocades, ook actief is geworden in de voedings- en genotmiddelensector, is behalve deelnemer aan publieke projecten (onder andere het Kluyver Genomics Zwaartepunt) ook zelf actief in het genomicsonderzoek. Het bedrijf heeft met een consortium van bedrijven en onderzoeksinstituten, in het kader van een EU-project in 1997, het genoom van gist in kaart gebracht. Recent heeft het bedrijf het genoom van de schimmel *Aspergillus niger* volledig in kaart gebracht. Ook was DSM betrokken bij het

WCFS-project, dat leidde tot de opheldering van het genoom van *Lactobacillus plantarum*. Mede op basis van deze genomische informatie willen DSM-onderzoekers door middel van *metabolic pathway engineering* (programmering/engineering van de stofwisseling in micro-organismen) een verdere optimalisatie van de productie van bakkersgist bereiken en de productie van halffabrikaten in de schimmel (voor penicilline en andere geneesmiddelen die DSM maakt) efficiënter laten verlopen. Daar komt bij dat veiligheidsautoriteiten *Aspergillus niger* als een goed bekend, veilig verklaard en erkend productieorganisme beschouwen. Vanuit het oogpunt van registratie is het dus het gemakkelijkst om deze schimmel allerlei stoffen te laten maken (*plug bug*). Onder andere op basis van genomische informatie kan de schimmel tot de productie van deze stoffen worden aangezet. Ten slotte biedt functioneel-genomicsonderzoek aan deze organismen de mogelijkheid om allerlei functionele eigenschappen die voor de voedselproductie belangrijk zijn te bestuderen, zoals textuur en consistentie, maar ook smaak, geur en conservering. Op basis hiervan kan DSM nieuwe ingrediënten voor functionele voeding ontwikkelen: zoals lactoferrine voor babyvoeding, dat de ontwikkeling van het zenuwstelsel stimuleert, en fytase voor humane voeding, dat helpt bij botvorming.

2.4 Het Nederlandse voedingsgenomicsonderzoek in internationaal perspectief

Zoals we hiervoor al hebben geconstateerd, staat voedingsgenomics hoog op de Nederlandse onderzoeksagenda: er vinden enorme onderzoeksinspanningen plaats op dit gebied. Maar wat zijn eigenlijk de sterke punten van het Nederlandse onderzoek en waarin onderscheidt het voedingsgenomicsonderzoek in ons land zich van andere landen? In deze paragraaf beschrijven we de internationale positie van Nederland op dit gebied.

2.4.1 Sterktes en zwaktes in Nederlands onderzoek

Onlangs heeft het Nederlandse voedingsgenomicsonderzoek vanuit verschillende overheidsprogramma's een sterke stimulans gekregen. Het Nederlandse onderzoek op dit gebied heeft, ook al kunnen we het niet tegen een neutrale meetlat afmeten, al een zekere omvang. Nederland heeft daarnaast wetenschappelijk gezien een goede uitgangspositie voor voedingsgenomicsonderzoek: het Nederlandse onderzoek op het gebied van de basisdisciplines biochemie en bioprocesstechnologie is van hoge kwaliteit. Daarbij komt dat de noodzakelijk onderzoeksfaciliteiten (2D gel-electroforese, massaspectroscopie, NMR, et

cetera) voor proteomics- en metabolomicsonderzoek aanwezig zijn (Enzing et al. 2001).

In het onderdeel van het voedingsgenomicsonderzoek dat zich richt op planten- en dierenveredeling, zien we sterke kanten bij de Nederlandse rol in het *Arabidopsis*-genoomproject. Daardoor heeft Nederland al een goede uitgangspositie op het gebied van het plantengenomics-onderzoek (PRI en WURC). Maar ondanks de goede positie van het Nederlandse plantengenomicsonderzoek zijn er ook bedreigingen. Veel Nederlandse plantenveredelingsbedrijven zijn onderdeel geworden van internationale zaadbedrijven en daarmee verschuift de onderzoeksfocus, die tot dan toe op Nederland was gericht. De specifieke band die deze bedrijven van oudsher met onder andere de Wageningse universiteit hadden, wordt daardoor minder sterk. Multinationals hebben andere criteria op grond waarvan zij besluiten bepaald onderzoek uit te zetten en onderzoekers uitkiezen. Het opgekochte bedrijf krijgt zo een steeds minder nauwe band met problemen die specifiek in Nederland spelen en nog minder met Nederlandse onderzoeksinstituten. Het Wageningen kenniscentrum is daardoor nu één van de potentiële aanbieders van kennis in plaats van het vaste aanspreekpunt. Sommige bedrijven zijn ook door deze internationaliseringsslag verdwenen (zoals MOGEN). Een tweede bedreiging is de onzekerheid over de maatschappelijke acceptatie, gezien de ervaringen in het recente verleden met genetisch gemodificeerde planten. Ten slotte zijn de studentenaantallen van vooral de Wageningse universiteit drastisch gedaald, waardoor er nauwelijks nieuwe onderzoekers kunnen worden opgeleid.

Het accent van het publieke dierenonderzoek is de laatste jaren vooral op het gebied van dierenwelzijn komen te liggen. De verschillende crises – MKZ, varkenspest, BSE – en de duidelijke negatieve houding van het Nederlandse publiek aangaande biotechnologie bij dieren, heeft daaraan bijgedragen. Genomics speelt in het dierenwelzijnonderzoek wel een rol, maar minder nadrukkelijk dan in het planten-, voedsel- of voedingsonderzoek. De Nederlandse veehouderij zit door de problemen van de laatste jaren (ziektes, mestoverschotten) in een overgangsproces en het is onduidelijk wat er uitkomt. Het is niet onmogelijk dat een deel van de binnenlandse markt en het overheidsbeleid voor onderzoek verdwijnt. Tegelijkertijd biedt dit transitieproces ook kansen als onderzoekers erin slagen de vragen van de ‘nieuwe’ veehouderij te beantwoorden; hiervoor biedt genomics een goede basis.

In het volgende onderdeel van de keten, bij de productie van *intermediates* voor de industrie (op het gebied van de microbiële productie van voedsel ingrediënten), heeft Nederland sterke onderzoeksgroepen in universiteiten en het bedrijfsleven (DSM). De honorering van de aanvraag van het Kluyver Genomics Zwaartepunt betekent dat deze positie nog verder kan worden versterkt.

Er is een grote concentratie hoogwaardige onderzoeksgroepen op het gebied van voeding in en rond Wageningen (NIZO in Ede; TNO-Voeding in Zeist). Nederland is ook de vestigingsplaats van een van de weinige grote internationale voedingsmiddelenbedrijven (Unilever), die actief zijn op dit gebied. Dit is een goede uitgangspositie om de mogelijkheden van functional genomics verder uit te werken. Een belangrijke bedreiging is, hoe gek dat ook klinkt, de aantrekkingskracht van de biomedisch/farmaceutische sector. Immers, daar beschikt men over veel hogere R&D-budgetten (zowel publiek als privaat), en dat trekt onderzoekers. Daar komt bij dat het functional-genomicsonderzoek in deze sector veel omvangrijker is en er op basis van *past performances* steeds meer publiek geld naar dit onderzoek gaat.

Vanwege de belangrijke ontwikkelingen op het snijvlak voeding-gezondheid zijn verschillende onderzoeksgroepen een samenwerkingsverband gestart om de integratie van het gezondheidsonderzoek met het voedingsonderzoek (NUTRIM en WURC, TNO-Voeding en NIZO Food Research in het Centre for Human Nutrigenomics) te realiseren. Hierdoor is een goede basis voor meer fundamenteel onderzoek op dit terrein gelegd.

Ten slotte is er nog onderzoek op het gebied van voedselveiligheid dat in alle onderdelen van de keten van belang is. Nederland heeft internationaal een sterke positie op het gebied van het voedselveiligheidsonderzoek (RIKILT). Integratie van genomics in dit vakgebied is al in volle gang.

2.4.2 Voedingsgenomicsonderzoeksprogramma's in de Verenigde Staten, het Verenigd Koninkrijk, Frankrijk en Denemarken

We hebben een uitgebreide inventarisatie gemaakt van de publieke onderzoeksprogramma's op het gebied van voedingsgenomics in de Verenigde Staten, het Verenigd Koninkrijk, Denemarken en Frankrijk. Er is gebruikgemaakt van op het web beschikbare informatie van de diverse ministeries, grote onderzoeksorganisaties en belangrijke overige financiers, zoals *research councils*. Wij zijn ons er echter van bewust dat dit overzicht niet compleet is.

Tabel 6 bevat een samenvattend overzicht van de programma's per land. Daarin is, voorzover deze gegevens beschikbaar waren, het jaarbudget voor de programma's vermeld. Voor een uitgebreid overzicht verwijzen we naar bijlage 3.

Tabel 6. Voedingsgenomics-onderzoeksprogramma's in de Verenigde Staten, het Verenigd Koninkrijk, Frankrijk en Denemarken

<i>Land</i>	<i>Programma's</i>	<i>Budget (m. is miljoen)</i>
Verenigde Staten	<ul style="list-style-type: none"> ■ Plant Sciences (inclusief biologische en moleculaire processen, genomics en genetics) van het Department of Agriculture ■ Plant Genome Research Programme van de National Science Foundation ■ Human Nutrition, van het Department of Agriculture ■ Division of Digestive Diseases and Nutrition van het National Institute of Diabetes & Digestive & Kidney Diseases (NIH) ■ Nutritional Science Research Group; Genes and the Environment (inclusief Food) van het National Cancer Institute (NIH) ■ Nutrition, Food & Safety van het Department Of Agriculture ■ Biotechnology Risk Assessment Research Grants Program van het Department of Agriculture 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 2003: totaal € 327,22 m. ■ 2003: € 66,69 m. ■ 2003: € 70,25 m. ■ 2003: € 340,07 m. ■ 2003: € 7,47 m. ■ 2003: € 49,35 m. ■ 2002: € 14,23 m. ■ 2002: € 1,33 m. <p>Totaal: € 723,78 m. per jaar</p>
Denemarken	<ul style="list-style-type: none"> ■ FØTEK van het Ministry of Science, Technology and Innovation ■ Biotechnology in Food Research van het Ministry of Food, Agriculture and Fisheries 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 998-2003: € 47,88 m. ■ 1999-2004: € 7,13 m. (exclusief visserij) <p>Totaal: € 11 m. per jaar</p>
Frankrijk ¹	<ul style="list-style-type: none"> ■ Genoplante 	<ul style="list-style-type: none"> ■ € 200 m. voor 5 jaar <p>Totaal: € 40 m. per jaar</p>
Verenigd Koninkrijk	<ul style="list-style-type: none"> ■ Agrifood Committee van de Biotechnology and Biological Sciences Research Council ■ Nutrition van de Medical Research Council ■ Eating, Food and Health Link + Food Quality and Safety, LINK programmes van het Department of Trade and Industry 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 2000/2001: € 3,78 m. voor universiteiten ■ 2000/2001: € 9,61 m. ■ € 12,92 voor 5 jaar <p>Totaal: € 38,41 m. per jaar</p>

¹ In Frankrijk is er slechts één nationaal programma gericht op genomics voor de agrofood. Daarnaast wordt in Frankrijk grote budgetten toegewezen aan centrale nationale onderzoeksinstituten, zoals INRA en CNRS. Het ontbreekt echter aan gegevens welk deel van deze budgetten bestemd is voor voedingsgenomicsonderzoek.

Geen van deze landen kent een nationaal voedingsgenomicsinitiatief. Wel hebben enkele landen planten-genomicsonderzoeksprogramma's en nutri-genomicsonderzoeksprogramma's. In de Verenigde Staten worden verschillende onderdelen van het voedingsgenomicsonderzoek flink ondersteund. Het Department of Agriculture heeft enkele genomicsprogramma's, zowel op het gebied van planten als voedsel

en voedselveiligheid. Verschillende instituten van het National Institute of Health (NIH) zijn actief op het gebied van nutrigenomics. Denemarken heeft geen specifiek genomics-onderzoeksbeleid. Het FØTEK-programma in Denemarken is het vervolg op het omvangrijke Biotek-programma dat in het midden van de jaren negentig liep. FØTEK ondersteunt onderzoek op het gebied van voedingstechnologie. Belangrijke speerpunten zijn voedselveiligheid en de relatie tussen voeding en gezondheid. Het Genoplante Initiative in Frankrijk is het nationale plantengenomicsprogramma en maakt deel uit van het nationale Genomics-programma. De Biotechnology and Biological Research Council in Engeland heeft een Agrifood Committee, waarbij de belangrijkste prioriteiten op het gebied van voedselveiligheid en voedsel-darmreacties liggen; genomics maakt hier deel van uit. De Medical Research Council heeft een apart programma voor voedingsonderzoek, waarmee verschillende onderzoekscentra worden gefinancierd. Het LINK Collaborative Research Programme van het Engelse ministerie van Handel en Industrie heeft twee speerpunten op het gebied van voeding, namelijk voedselveiligheid en -kwaliteit en de relatie tussen voeding en gezondheid. Het LINK-programma is bedoeld voor gezamenlijk onderzoek door de industrie en de publieke onderzoeksinstituten.

In tabel 7 is aangegeven bij welke onderdelen van de keten in Nederland en in de vier andere landen de prioriteit in het genomics-onderzoeksbeleid ligt.

Tabel 7. Accenten in onderzoeksbeleid op het gebied van voedingsgenomics

Voedselproductieketen: VAN GROND TOT MOND	Gerichte overheidsstimulering van voedingsgenomicsonderzoek				
	NL	VS	UK	FR	DK
Productie van plantaardig en dierlijk uitgangsmateriaal (zoals zaadveredelaars)	**	394 (plant)	*	40 (plant)	*
Agrarische productie (veehouderij land- & tuinbouw, visserij)					
Productie van voedselingredienten	**				
Productie van voedingsmiddelen	*	467	**		*
Dienstverleners (diëtisten, artsen en bedrijven)					
Voor de hele keten: voedselkwaliteit- en voedselveiligheid	*	15	*	*	*
Totaal (mln €/jaar)	19	886	38	40	11

* en **: het onderzoek heeft in het betreffende land prioriteit (*) / hoge prioriteit (**), maar de exacte bedragen die voor dit onderzoek zijn bestemd, zijn niet bekend.

De tabel laat zien dat Nederland vergeleken met de andere Europese landen op het gebied van voedingsgenomicsonderzoek redelijk scoort als het gaat om totale bestedingen via overheidsprogramma's. Voor de Nederlandse cijfers is de helft van het budget van het Regie-Organen genomen, verdeeld over vijf jaar. We moeten ons realiseren dat het Verenigd Koninkrijk en Frankrijk vele malen groter zijn en ook over budgetten beschikken die vele malen hoger zijn. De Europese inspanningen staan echter in de schaduw van de VS-budgetten.

Nederland heeft een sterke positie op het gebied van het aardappelveredelingsonderzoek en wordt straks via het Wageningse Centre for Biosystems Genomics Zwaartepunt gesteund. Maar deskundigen op dit gebied bespeuren dat Frankrijk bezig is Nederland op het gebied van plantenveredelingsonderzoek voorbij te streven. Getuige de budgetten krijgt het plantengenomicsonderzoek in de VS en Frankrijk zeer hoge prioriteit.

In het genomicsonderzoek is biomedisch en farmaceutisch onderzoek in alle landen veel omvangrijker dan voedingsgenomics. Er is wereldwijd maar een handjevol voedingsmiddelenbedrijven dat actief is in voedingsgenomicsonderzoek. Unilever, Nestlé, Danone en Roche Vitamins waren de enige bedrijven die op het eerste Internationale Nutri-genomics congres, dat in het voorjaar 2002 in Noordwijk werd gehouden, een presentatie gaven.

De tabel laat zien dat het onderzoek naar de relatie voeding-gezondheid (nutrigenomics), vooral in de Verenigde Staten en het Verenigd Koninkrijk in het kader van medisch-farmaceutisch onderzoek programmatisch wordt gesteund. Dit is een gebied dat in Nederland nog sterk in ontwikkeling is. In Duitsland (dat niet in ons overzicht is opgenomen) zijn op een aantal plaatsen nutrigenomicscentra opgericht.

Ten slotte kunnen we uit de tabel afleiden dat het Nederlandse genomicsonderzoeksbeleid een sterk accent legt op industriële (microbiële) genomics voor onder andere de productie van voedingsmiddeleningredienten. Een dergelijk programma is niet in Denemarken aanwezig, hoewel NOVO Nordisk, de grootste producent ter wereld op dit gebied, daar zijn hoofdvestiging heeft en er een sterke agrofoodindustrie is. Vergeleken met andere landen heeft Nederland de sterkste positie in dit onderdeel van voedingsgenomicsonderzoek, de industriële genomics.

3. Maatschappelijke issues op het gebied van voedingsgenomics-onderzoek volgens onderzoekers

Een van de belangrijkste doelstellingen van dit onderzoek is om van onderzoekers die bij het voedingsgenomicsonderzoek betrokken zijn, te horen welke issues in een maatschappelijke discussie over voedingsgenomicsonderzoek aan de orde zouden moeten komen. In de interviews met de onderzoekers van onderzoeksinstituten en bedrijven was dit het belangrijkste onderwerp van gesprek. Lang niet altijd bestaat er grote eensgezindheid onder de onderzoekers, integendeel. Er zijn af en toe grote verschillen van mening over de aandachtspunten die voor een maatschappelijke discussie over voedingsgenomics in aanmerking komen en de manier waarop.

In paragraaf 3.3 zijn de issues op een rij gezet die de onderzoekers van belang vinden voor een maatschappelijke discussie. In paragraaf 3.4 zijn deze issues – geordend naar de verschillende schakels van de voedselproductieketen – naast de issues gezet die tot nu toe in de maatschappelijke discussies over biotechnologie aan de orde zijn geweest. Dat geldt vooral voor genetische manipulatie en functional foods. Deze vergelijking laat zien welke issues alsnog aan bod kunnen komen en waarop de onderzoekers zich kunnen voorbereiden. Het hoofdstuk begint met twee inleidende paragrafen: over de maatschappelijke impact van het onderzoek (3.1) en de wenselijkheid van een maatschappelijke discussie, plus wie daarbij betrokken moeten zijn (3.2).

3.1 Maatschappelijke impact van voedingsgenomicsonderzoek

We startten de gesprekken over de maatschappelijke aspecten van voedingsgenomics steeds met de vraag wat de maatschappelijke impact zou kunnen zijn van het voedingsonderzoek dat de organisatie ver-

richt. De onderzoekers noemden vooral impacts van voedingsgenomics aan het eind van de voedselproductieketen. De meestgenoemde impact is de bijdrage van genomics aan de verhoging van de algemene gezondheidsstatus van de bevolking. Anders gezegd: het onderzoek leidt tot gezondere, maar ook langer levende en gelukkiger mensen. Dat kan omdat onderzoekers enerzijds beter in staat zijn om aan te geven of een bepaalde stof veilig en gezond is, anderzijds het gegeven dat de consument bewust kan kiezen voor gezonde voedingsmiddelen en daar ook een ruimere keuze in heeft.

In de woorden van een onderzoeker: 'Het hele voedingssysteem kan naar een hoger plan worden getrokken. Nadat eerst het probleem van het tekort aan voedsel is aangepakt en vervolgens is gekeken naar de schadelijke componenten in het voedsel, kunnen we – als we het voedingsgenomicsonderzoek goed uitvoeren – in de toekomst uitspraken doen over de meest optimale componenten. *Optimised nutrition* wordt dan een hardere wetenschap.' Net als veel anderen is hij echter ook van mening dat het te ver gaat om te verwachten dat over een generatie al kan worden gesproken van *personalised diets*. Daar komt namelijk een extra component bij kijken: de individuele variatie van personen. 'Behalve deze onderzoeksmatige complicatie, speelt ook een maatschappelijk punt een rol, namelijk de privacy van personen. Dat is zeer tricky.' 'Maar', voegt hij daaraan toe: 'Als je op basis van voedingsgenomics-onderzoek 'productstoffen' die componenten bevatten die allergische reacties veroorzaken, kunt detecteren en die vervolgens op etiketten van producten kunt vermelden, heeft een groot aantal mensen daar persoonlijk veel baat bij.' Een andere onderzoeker brengt naar voren dat door genomicsresultaten producten veel gedetailleerder kunnen worden geëtiketteerd: 'Denk bijvoorbeeld aan *tracking and tracing*-systemen of een puntensysteem voor dierenwelzijn of iets anders dat de consument belangrijk vindt. De kennis die nodig is voor dergelijke labels, komt allemaal voort op basis van genomics.'

Eén onderzoeker waarschuwt voor een overschatting van de impact van voedingsgenomics. Hij zegt: 'Voedingsgenomics 'doet' niets; het is een verzamelnaam van verschillende onderzoeksstrategieën en technieken om inzicht te krijgen in het effect van voedingsbestanddelen in ons lichaam. Met deze kennis kan een bedrijf producten maken voor een meer uitgebalanceerd dieet.'

Opvallend is dat de onderzoekers vooral oplossingen aandragen waar genomics een bijdrage aan zal kunnen leveren. Behalve het hiervoor genoemde privacyprobleem en het verkeerd gebruiken van *personalised food* met de nodige gezondheidsnadelen, worden verder geen negatieve impacts benoemd. Dit ligt heel anders wanneer een sociale wetenschapper de vraag naar de maatschappelijke impact van een technologie zou worden voorgelegd: deze zal vooral denken in termen van mogelijke negatieve effecten van genomics. Als we het hebben

over de communicatie en interactie tussen beta's en gamma's (of: tussen wetenschappelijke onderzoekers en het publiek), dan hebben we hier een belangrijk issue te pakken. Het positivistische denkraam van de onderzoeker versus het maatschappijkritische denkraam van de sociale wetenschapper en het publiek: waar raken zij elkaar en is interactie mogelijk?

3.2 Maatschappelijk discussie: wenselijkheid, wie en weerstand

Er vindt nog geen maatschappelijke discussie plaats over voedingsgenomics, constateren de meeste onderzoekers. Enkele onderzoekers melden dat op congressen wordt gesproken over genomics, *personalised diets*, het gebruik van het genenpaspoort als basis voor voedingsadviezen en het privacyvraagstuk. Veel onderzoekers geven aan dat ze het nog veel te vroeg vinden om nu al een maatschappelijke discussie over voedingsgenomics te houden. Het voedingsgenomicsonderzoek is nog maar net gestart. Het duurt zeker nog tien jaar voordat concrete toepassingen beschikbaar zullen zijn. Een maatschappelijke discussie is pas nodig en mogelijk als er concrete producten zijn waarover je kunt praten. Dan kunnen beroepsorganisaties (diëtisten artsen, et cetera) en consumentenorganisaties met elkaar overleggen over voedingsadviezen. Een andere onderzoeker is om andere redenen van mening dat een discussie over voedingsgenomics beter niet kan worden gevoerd: de toepassing van genomics in de gezondheidssector (diagnostiek en gezondheid) is een betere keuze. Daar kan ook een veel directere link worden gelegd tussen genomics en het nut voor mensen. Patiënten hebben er duidelijk iets aan en mensen zijn al vertrouwd met allerlei genetische aspecten van gezondheid. Tevens heeft men, volgens deze onderzoeker, bij medische toepassing van genomics een iets groter gevoel van keuzevrijheid. Immers, eten moeten we allemaal, maar je kunt ervoor kiezen bepaalde medicijnen niet te nemen of behandelingen niet te ondergaan.

Maar er is ook een groep onderzoekers die een proactievare houding heeft. Ze vinden het nu juist wel het goede moment om een maatschappelijk debat over voedingsgenomicsonderzoek te houden. Op dit moment worden immers diverse initiatieven op het gebied van voedingsgenomicsonderzoek ondernomen, waarbij ook aandacht is voor de maatschappelijke aspecten van genomics (zie de NWO-programma's en de Genomics Zwaartepunten van het Nationaal Regie-Organ Genomics). Een dergelijk debat zal vooral moeten gaan over mogelijke toepassingen in de toekomst. Door deze ter discussie te stellen, is het mogelijk het publiek erbij te betrekken en het een oordeel te laten vormen, meent een onderzoeker. Immers, toepassingen hebben consequenties, de technologie op zich niet, zo redeneert hij.

Ten slotte vindt een aantal onderzoekers het onderwerp voedingsgenomics veel te smal. Er zou een veel bredere discussie over de voedselvoorziening in Nederland in het algemeen moeten worden gevoerd. Dat moet gaan over vragen als: is het huidige stelsel van intensieve productie wel de meest gewenste manier van voedselvoorziening? Zijn we op dit moment met ons streven naar zo goedkoop mogelijk voedsel en een zo intensief mogelijk productiesysteem wel op de goede weg? Welke andere methoden van voedselvoorziening zijn er? Stel dat we naar een biologische landbouw toe willen, is daarbinnen dan juist wel of juist geen plaats weggelegd voor genomics? Hoe denkt de maatschappij daarover? En welke technologieën passen binnen welk stelsel van voedselvoorziening?

Weerstand

Een van de meest terugkomende opmerkingen tijdens de interviews is de vrees dat de discussies rondom genetische gemodificeerd voedsel over zullen slaan naar voedingsgenomics. Voor het algemene publiek is genetische modificatie, biotechnologie en genomics één pot nat; het publiek is nauwelijks in staat om onderscheid te maken tussen de verschillende technologieën, hun toepassingen en de bijbehorende mogelijke consequenties. Een onderzoeker constateert een algemeen groeiend wantrouwen over wat er in het voedsel zit; ook de 'klassieke landbouw' heeft daar last van. Dit kan tot gevolg hebben dat het algemene publiek ook negatief tegenover voedingsgenomics komt te staan. Alle onderzoekers blijven erop hameren dat voedingsgenomics iets anders is dan genetische modificatie. Hoewel: er zijn ook onderzoekers die deze angst relativeren door te zeggen dat er altijd weerstand zal zijn. 'Als de industrie erin slaagt de claims van gezonde voeding wetenschappelijk te onderbouwen en wetenschappelijke inzichten te vertalen in consumentenvoordelen, dan zal die weerstand minder worden', verwachten ze.

Betrokkenen bij een maatschappelijk debat

Op de vraag wie er bij een debat over voedingsgenomics moeten worden betrokken, is een deel van de onderzoekers van mening dat het een breed gevoerd debat moet zijn; anderen weten het nog niet precies. Behalve wetenschap, industrie en consument moeten politieke partijen, de Tweede Kamer en maatschappelijke organisaties erbij zijn. Dat laatste is tegelijkertijd de moeilijkheid, merkt een onderzoeker uit de industrie op. Het is namelijk de vraag of allerlei maatschappelijke organisaties die aan het debat meedoen wel een achterban vertegenwoordigen. Ook merkt hij op dat het grote publiek pas wakker wordt als er een schandaal is; doorgaans is het niet zo geïnteresseerd in dit onderwerp. De reden dat juist bedrijven er volgens hem bij betrokken moeten zijn, is dat ze een groot belang hebben bij een goede discussie, zeker gezien de vele anti-globaliseringssentimenten. Bedrijven

kunnen daarbij informatie en experts leveren die de productieketen inzichtelijk kunnen maken. Ten slotte worden de onderwijzers en leraren genoemd; ook zij kunnen bijdragen aan de discussie door informatie te verstrekken.

De bovengenoemde bedrijfsonderzoeker vraagt zich af of wetenschappers van onderzoeksinstellingen sowieso wel bij het debat betrokken moeten zijn. Hij is erg teleurgesteld in de participatie van ‘de wetenschap’ in het debat over biotechnologie, zeg maar: genetische modificatie: ‘In sommige gevallen is gewoon maar wat geschreven. Biotechnologie is vanuit de wetenschap nauwelijks verdedigd: niemand durfde zijn nek uit te steken.’ Een onderzoeker uit een ander bedrijf vindt dat wetenschappelijke onderzoekers juist veel meer aan de debatten moeten deelnemen: ‘De afstand tussen wetenschappers en publiek is veel te groot. De wetenschappers moeten leren met het publiek te praten over hun werk. Er moet fysiek contact zijn; dat leidt tot grotere betrokkenheid van beide kanten. Meer inzicht leidt tot een beter oordeel, niet per se tot een negatief of positief standpunt.’

Een onderzoeker van een onderzoeksinstelling vindt een lastig punt in een discussie over voedingsgenomics dat de belangen van de voedselindustrie zo moeilijk uit te schakelen zijn. ‘Er heerst een groot wantrouwen bij het publiek jegens deze grote bedrijven; ze worden door het publiek niet als neutraal beschouwd. Dat is onder andere zichtbaar als het in de discussies gaat over *jullie* (bedrijven) en *wij* (consument).’

3.3 Issues in een maatschappelijke discussie over voedingsgenomics-onderzoek

Als we de onderzoekers vragen naar issues die in een maatschappelijke discussie over voedingsgenomics aan de orde moeten komen, valt op dat het onderwerp voedselveiligheid het hoogst scoort, op de voet gevolgd door het onderwerp informatievoorziening en communicatie. Andere onderwerpen zijn: privacy, verantwoordelijkheid van overheid/bedrijven/wetenschap, voeding als geneesmiddel, ethische vraagstukken, dierenwelzijn en keuzevrijheid, ook in verband met verschillende voedselproductiesystemen. Deze issues staan in tabel 8 geordend naar ketenonderdeel.

Tabel 8. Issues voor een maatschappelijke discussie over voedingsgenomicsonderzoek volgens de onderzoekers

Voedselproductieketen: VAN GROND TOT MOND	Issues
Productie van plantaardig en dierlijk uitgangsmateriaal (zoals zaadveredelaars)	–
Agrarische productie (veehouderij, land- & tuinbouw, visserij)	■ Voedselproductiemethoden
Productie van voedselingrediënten	–
Productie van voedingsmiddelen	<ul style="list-style-type: none"> ■ Voedselveiligheid ■ Informatievoorziening en communicatie ■ Voedsel en geneesmiddelen ■ Diervriendelijkheid ■ Ethische vraagstukken ■ Verantwoordelijkheid wetenschap, bedrijfsleven en overheid
Dienstverlening (diëtisten en artsen)	■ Privacy
Consument	■ Verantwoordelijkheid consumenten

Voedselproductiemethoden

Dit onderwerp hebben we bij de schakel ‘Agrarische productie’ geplaatst, maar het heeft ook directe relaties met de andere buurschakels. Enkele onderzoekers uit bedrijfsleven en onderzoeksinstellingen vinden dat voedselvoorziening en productiemethoden onderwerp van een maatschappelijk debat zouden moeten zijn, eerder dan voedingsgenomics. Zijn er nog andere methoden van voedselvoorziening dan het huidige intensieve systeem, gericht op een zo goedkoop mogelijke productie van voedselgewassen? Is er binnen de biologische landbouw plaats voor genomics, en hoe denkt de maatschappij daarover?

In dat verband is duurzaamheid ook een belangrijk thema, maar de vraag is wel wat dat is. Is duurzaamheid bijvoorbeeld een landbouwsysteem dat dicht bij de natuur staat en daarmee vanwege het extensieve karakter tevens heel veel ruimte inneemt? Of is duurzaamheid een systeem waarbij zo min mogelijk verstoring optreedt, wat vaak wel het geval is bij intensieve productiesystemen? Met andere woorden, hoe ga je om met de schaarse ruimte? Hoe wordt dat gewaardeerd? Uiteindelijk zal de consument moeten aangeven welke productiemethode(n) en keten(s) de voorkeur geniet(en). Maar de bijbehorende vraag luidt: welke maatschappelijke consequenties hebben deze keuzes? Keuzevrijheid is ook in dit verband een belangrijk thema.

Voedselveiligheid

Voedselveiligheid wordt vaak genoemd. Het is een issue dat in alle schakels relevant is, maar het meest bij de schakel 'productie van voedingsmiddelen'. Een enkeling noemt het alleen maar om vervolgens te kunnen zeggen dat het juist geen rol in de discussie zal spelen. Er wordt namelijk niets wezenlijks aan het voedsel veranderd, dus is de veiligheid niet in het geding. Integendeel, voedingsgenomics kan alleen maar bijdragen aan een hogere voedselveiligheid, bijvoorbeeld door beter toxicologisch onderzoek.

Relatief veel onderzoekers verwachten echter dat er wel een discussie zal zijn over voedselveiligheid in verband met (mogelijk negatieve gevolgen van) voedingsgenomics. Het al genoemde wantrouwen bij het Nederlandse publiek over wat er allemaal in ons voedsel zit, zal ook bij toepassing van voedingsgenomics aan de orde zijn. 'De veiligheidsbeleving van de Nederlander is zodanig', zegt een onderzoeker, 'dat je een vergelijkbare maatschappelijke discussie kan verwachten als met genetisch gemodificeerde organismen (ggo's).' Voedingsgenomics vindt een andere onderzoeker misschien geen handige term: we zouden beter kunnen spreken van nutrigenomics. Voedingsgenomics of foodgenomics wekt namelijk de indruk dat er van alles aan het voedsel veranderd wordt, net als bij genetische modificatie.

Een andere onderzoeker merkt op dat we, omdat we veel meer zullen weten over de interactie voedsel-mens, ook steeds meer weten over de toxiciteit van sommige bestanddelen van voedingsmiddelen. Daar komt nog eens bij dat we dat steeds beter kunnen meten. De aanwezigheid van toxines kan in steeds kleinere hoeveelheden worden aangetoond. Dat geeft, vanwege de risicoperceptie van overheid en consument, vaak een soort *red alert* waarbij, volgens deze onderzoeker, vraagtekens te plaatsen zijn. Natuurlijke stoffen kunnen bijvoorbeeld net zo goed schadelijke effecten hebben. Er zou volgens hem niet alleen aandacht besteed moeten worden aan acute risico's (zoals nu het geval is), maar ook aan chronische risico's.

Ten slotte merkt een onderzoeker op dat de publieke discussie over voedselveiligheid vooral wordt aangewakkerd door allerlei, vaak negatieve gebeurtenissen (BSE, Salmonella) op het gebied van dierlijke producten. Hij vraagt zich af waarom discussies tussen professionals op het gebied van genomics dan zo vaak gaan over het planten- en voedseldeel van de voedselketen.

Informatievoorziening en communicatie

Informatievoorziening wordt bij veel schakels in de voedselketen genoemd. Een onderzoeker vindt communicatie het belangrijkste voor de toekomst: 'Duidelijke, open en neutrale communicatie is heel belang-

rijk om mensen te overtuigen van het nut van voedingsgenomics. Voedingsgenomics biedt hier een goede gelegenheid voor, omdat het juist de methoden verschaft om de consumenten te laten zien dat iets goed of slecht is. In plaats van het alleen maar te geloven, kunnen de consumenten en de professionals die dicht bij de consument staan de bewijzen zien. Dit is een kans voor wetenschap en voor de fabrikanten, want zij kunnen nu eindelijk hun claims waarmaken.'

Een andere onderzoeker vindt dat betere communicatie en openheid over wat er met het voedsel gebeurt in de keten geen oplossing biedt: de burger is niet geïnteresseerd. Toch is het publiek juist wel de sleutel. Hij vraagt zich af of het zin heeft om een idee voor een *format* voor een nationaal debat achter de hand te houden. Daarmee kan gelijk een gestructureerd debat gevoerd worden als het moment daar is, bijvoorbeeld als gevolg van een schandaal.

Het maatschappelijk debat zou vooral aangegrepen moeten worden om het publiek openlijk te informeren over het hoe en wat van de mogelijke toepassingen van voedingsgenomics en de bijdrage en het nut daarvan voor de maatschappij. Voedingsgenomicsonderzoek is, net als ander genomics- en biotechnologieonderzoek, weinig zichtbaar voor de consument. De mogelijke voordelen zijn op dit moment niet duidelijk voor het publiek. Voor wetenschappers is het moeilijk om een genuanceerde boodschap over te brengen. Daar komt bij dat wetenschappers nog niet goed weten hoe ze aan het publiek moeten overbrengen dat ze het ook niet allemaal weten en onderling van mening en verwachting kunnen verschillen.

Een aantal onderzoekers geeft aan te willen voorkomen dat steeds weer vanuit het negatieve (risico's) geredeneerd wordt. We kunnen ons beter richten op de bijdrage en het nut van de toepassingen voor de maatschappij, vinden ze. Een vraag die vaak wordt gesteld is hoé het publiek beter geïnformeerd kan worden. Niet alleen informatievoorziening in brede zin, maar ook de informatievoorziening over concrete producten, bijvoorbeeld door middel van etiketten, noemen meerdere onderzoekers als issue dat in een maatschappelijk debat aan de orde zouden moeten komen. We kunnen veel van de gezondheidszorg leren over informatievoorziening in de 'voedingszorg', zoals het gebruik van de bijsluiters (etikettering), het waken voor overdosering en de rol van een inspectie.

Voedsel en geneesmiddelen

Een issue dat in verband met de discussie over de toelating van nieuwe voedingsmiddelen al enigszins is aangeroerd en dat enkele onderzoekers in ferme taal naar voren brachten, is de rol van voedsel als voedingsmiddel versus geneesmiddel. Voedingsgenomicsonderzoek gaat over de relatie tussen voeding en gezondheid en heeft mede tot gevolg

dat het onderscheid tussen voedsel en medicijnen steeds diffuser wordt. In hoeverre kunnen voedingsmiddelen de functie van medicijnen overnemen? Wat is een voedingsmiddel en wat is een geneesmiddel? Hoe moeten we dit onderscheid ten behoeve van wet- en regelgeving definiëren? En hoe regel je de dosering? Dit heeft ook gevolgen voor het financieringsvraagstuk in de gezondheidszorg. Wat gaan die nieuwe voedingsmiddelen kosten en wie gaat dat betalen?

Deze ontwikkelingen kunnen ook betekenen, zo redeneert een onderzoeker, dat voedsel zo minder de spijs wordt waarvan je geniet. Straks wordt het net zo 'genuttigd' als geneesmiddelen, vreest een bezorgde onderzoeker.

Een andere onderzoeker stelt de vraag of we geneesmiddelen en voedsel wel met elkaar moeten combineren, bijvoorbeeld door bepaalde werkzame stoffen via veredeling in planten of vruchten te stoppen. Geneesmiddelen innemen via voedsel scheelt de farmaceutische industrie veel werk om pillen te draaien en die vervolgens te verpakken. Zo wordt in de VS onderzoek verricht naar een manier om geneesmiddelen in een banaan te verwerken.

Voedingsgenomicsonderzoek kan ook leiden tot dure adviezen over *personal diets* en tot dure, gezonde voedingsproducten, maar wie gaat en kan dit betalen, en wie niet? De ziektekostenverzekeraars? Enkele onderzoekers vinden dat er een publiek debat moet komen over de vraag of we wel een *personal diet* willen en voor wie dan.

Ethische vraagstukken

De ondervraagden brachten ook enkele ethische issues naar voren die een plaats in een maatschappelijk discussie zouden moeten krijgen. Het gaat om vrij algemene vragen die niet specifiek met onderzoek inzake één bepaalde keten te maken hebben. In deze publicatie is dit issue bij de productie van voedsel ondergebracht, omdat het vooral door onderzoekers die met deze schakel te maken hebben, is aangekaart. Vragen zijn: moeten we wel alles willen wat mogelijk is? Maar ook: is het moreel toelaatbaar om ontwikkelingen niet toe te laten of te staken, als zij een grote bijdrage kunnen leveren aan de gezondheid en het welzijn van de samenleving? En, hoe ver willen we gaan om mensen te informeren over dingen die ze mankeren? Sommigen willen dat helemaal niet weten.

Ook dierenwelzijn wordt in dit verband genoemd. 'Diervriendelijkheid zal een steeds belangrijker issue worden', zegt een onderzoeker. 'En genomics zal daarin een rol kunnen spelen.' Er zijn wel steeds meer (knock-out) proefdieren nodig om onbekende genfuncties te onderzoeken, maar in principe zijn met genomics ook steeds minder proefdieren nodig. Een andere onderzoeker, ook uit het bedrijfsleven, merkt

hierover op: 'Als dit issue voor de consument belangrijk is, dan is het dat voor ons ook.'

Verantwoordelijkheid van wetenschap, bedrijfsleven en overheid

De verantwoordelijkheid van wetenschap, industrie en overheid en hun onderlinge relatie hebben meerdere onderzoekers bij verschillende onderwerpen ter sprake gebracht. In de eerste plaats zou een discussie moeten worden gevoerd over de onafhankelijkheid van de wetenschap. Ze doelen hierbij vooral op het feit dat de overheidsmiddelen voor onderzoek – en dus de ruimte voor door nieuwsgierigheid gedreven fundamenteel onderzoek – steeds kleiner wordt en de afhankelijkheid van externe financiers, zoals overheidsprogramma's en contractonderzoek, daardoor veel groter. In hoeverre is de wetenschap onafhankelijk als de overheid en de industrie de wetenschap financieren? Mag de industrie zo veel invloed hebben op de onderwerpen van het Nederlandse publieke voedingsgenomicsonderzoek?

In de tweede plaats brengen onderzoekers het issue naar voren in relatie tot de mogelijkheid om met behulp van voedingsgenomicsonderzoek gezondheidsclaims van (nieuwe) voedingsmiddelen te onderbouwen. Op dat vlak speelt het spanningsveld tussen wetenschap (pelijke accuratesse), dat veel tijd in beslag neemt, en het bedrijfsleven, dat snel producten op de markt wil brengen en geld wil verdienen. Wanneer is de bewijsvoering voor een *functional food* voldoende? In dit verband worden gezondheidsclaims van nieuwe voedingsmiddelen genoemd, ook in verband met aansprakelijkheid. Claims moeten altijd wetenschappelijk zijn onderbouwd, en voedingsgenomics maakt dit beter mogelijk. Alleen zo kan het vertrouwen van de consument worden vergroot. Een scherp toezicht van de overheid op deze claims is daarbij onontbeerlijk: hier kan de nieuwe Nederlandse Voedselautoriteit een rol spelen. Voorkomen moet worden dat bepaalde bedrijven producten op de markt zetten, waarvan de claims niet goed zijn onderbouwd.

Ten derde brengt een onderzoeker naar voren dat het in het maatschappelijke debat ook gaat om een vrij concrete discussie over wie er aan het roer zit. Wie stelt de lijst met vijftig ingrediënten voor de pizza samen en wie keurt ze goed? Dit is een machts- en verdelingsvraagstuk, niet alleen in de relatie producenten–consumenten, maar ook in de verhouding Noord-Zuid.

Ten slotte vraagt een onderzoeker aandacht voor de grote omvang van onderzoeksmiddelen (geld en mensen) die naar genomics worden gedirigeerd. De vraag is wat de gevolgen van deze *braindrain* zijn voor andere, ook belangrijke onderzoeksgebieden.

Privacy

Toepassingen van *genomics*, zoals voor een genenpaspoort en specifiek voor *personalised diets*, betekenen dat veel kennis over individuen beschikbaar komt. Dit brengt allerlei privacyvraagstukken met zich mee. Een onderzoeker vindt het streven naar een *personalised diet* 'je begeven op heel glad ijs. Het is beter om tot een *optimised diet* te komen. Als er bijvoorbeeld een genenpaspoort komt, wat wil je dan exact weten? En wie heeft er toegang tot die kennis? Bij *personalised diets* gaat het om genetische variatie tussen individuen ('interindividueel'). Daar zitten grote maatschappelijke risico's en weerstand aan vast.'

We moeten ook nadenken over de gevolgen van deze kennis, zegt een andere onderzoeker: 'Wat doen de overheid, de banken en de verzekeringsmaatschappijen met deze kennis en hoe kunnen we de gevoeligheid van deze informatie beschermen?' 'Maar', merkt een andere onderzoeker op, 'voeding speelt een bijrol in een scenario waarin bijvoorbeeld verzekeringsagenten conclusies trekken over het negeren van dieetadviezen en er privacyvraagstukken aan de orde komen.'

Verantwoordelijkheid van de consument

Enkele onderzoekers noemen de verantwoordelijkheid van de overheid, wetenschap en bedrijfsleven in één adem met 'verantwoordelijkheid van de consument'. Voedingsgenomics zal de consument de mogelijkheid bieden om keuzes te maken uit gezondere producten, maar ook om gezonder te eten in het algemeen, doordat voedsel op hun lichamelijke behoeften is afgestemd. De vraag is of de consument dat ook zal doen: zullen we die *personalised diets* gaan volgen en de nutraceuticals gaan slikken, of zullen we ze naast ons neerleggen? Roken wordt verschillende keren als voorbeeld aangehaald. Iedereen weet dat roken slecht is voor de gezondheid en toch roken nog steeds veel mensen. Enerzijds kan punt van discussie zijn of en hoe het gedrag van de consument moet of kan worden 'bijgestuurd'. Anderzijds is de vraag wat de gevolgen zijn als van individuen bekend is dat zij geen 'gezonde' keuze maken: wat doen verzekeringsmaatschappijen bijvoorbeeld met deze kennis?

3.4 Nieuwe en oude issues

De maatschappelijke discussie over voedingsgenomicsonderzoek zal – of men wil of niet – onvermijdelijk te maken krijgen met het debat over biotechnologie, en vooral over genetische modificatie. Ook al zijn het technologisch gezien geheel verschillende zaken, voor het publiek is dit onderscheid minder interessant. Naar verwachting zal een maatschappelijke discussie over voedingsgenomics dus ook gaan

over issues die in het biotechnologiedebat aan de orde zijn gesteld. Met 'biotechnologiedebat' bedoelen we vooral de discussies over genetisch gemodificeerd voedsel en ook die over functional foods. We hebben een inventarisatie en analyse gemaakt van de inhoud van deze discussies en daarin bepaalde issues onderscheiden (zie bijlage 4 voor een overzicht van de issues in dit debat). In tabel 9 zijn de issues die onderzoekers hebben aangedragen over de gewenste inhoud van een debat over voedingsgenomics en de issues uit het biotechnologiedebat naast elkaar gezet.

Tabel 9. Issues voor een maatschappelijke discussie over voedingsgenomics vergeleken met issues uit maatschappelijke discussies over biotechnologie (genetische modificatie en functional foods)

<i>Issues voor een maatschappelijke discussie over voedingsgenomics (volgens de onderzoekers) die ook in de maatschappelijke discussie over biotechnologie aan de orde zijn</i>	<i>Nieuwe issues voor een maatschappelijke discussie over voedingsgenomics (volgens de onderzoekers) die niet aan de orde zijn in de maatschappelijke discussie over biotechnologie</i>	<i>Issues die alleen in de maatschappelijke discussie over biotechnologie aan de orde zijn (volgens alle participanten)</i>
<ul style="list-style-type: none"> ■ Voedselveiligheid ■ Informatievoorziening en communicatie ■ Verantwoordelijkheid wetenschap, bedrijfsleven en overheid ■ Diervriendelijkheid ■ Ethische vraagstukken 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Voedselproductiemethoden ■ Voedsel en geneesmiddelen ■ Privacy ■ Verantwoordelijkheid consumenten 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Milieu ■ Machtsvraagstukken ■ Keuzevrijheid ■ Sociaal-culturele betekenis van voedsel

Issues die in beide discussies aan de orde zijn

We constateren dat een aantal issues die de voedingsgenomicsonderzoekers noemde, overeenkomt met of direct aansluit bij de issues die al in het maatschappelijk debat over biotechnologie (genetisch gemodificeerd voedsel en functional foods) aan de orde zijn gesteld. Dat geldt voor voedselveiligheid, informatievoorziening, verantwoordelijkheid van overheid, wetenschap en bedrijfsleven en enkele ethische vraagstukken, zoals dierenwelzijn. Maar als we de issues van dichtbij bekijken, zitten er soms hele grote verschillen in de benadering van het onderwerp.

Voedselveiligheid

Dit geldt vooral voor het onderwerp voedselveiligheid. Dit is volgens de onderzoekers een belangrijk thema, ook al is die veiligheid bij voedingsgenomics niet per se in het geding; ze benadrukken vooral de positieve bijdrage van voedingsgenomicsonderzoek aan de oplossing van verschillende voedselveiligheidsvraagstukken. Tegelijkertijd realiseren ze zich dat voedselveiligheid een issue is dat hoog op de maatschappelijke agenda staat en dat de veiligheidsbeleving van de consument uiterst gevoelig is. Daar zijn de onderzoekers zich zeer van bewust. In de maatschappelijke discussie over biotechnologie is voedselveiligheid een erg belangrijk issue vanwege de mogelijke gezondheidsrisico's van het nuttigen van genetisch gemodificeerd voedsel. Moeten leren leven met de onmogelijkheid van een nul-risico-scenario versus het niet accepteren van deze risico's, zijn in dit debat tussen voor- en tegenstanders voortdurend aan de orde.

Informatievoorziening en communicatie

Dit issue staat hoog op de agenda in het biotechnologiedebat. De discussie heeft zich vooral geconcentreerd op informatievoorziening aan de consument via het etiket en heeft direct verband met het issue keuzevrijheid. Dat is een verworvenheid van een jarenlange maatschappelijke discussie over genetisch gemodificeerd voedsel: de consument moet over alle informatie beschikken over het product, teneinde zelf de keuze te kunnen maken tussen voedsel met of zonder genetisch gemodificeerde organismen.

De voedingsgenomicsonderzoekers benaderen dit issue heel anders. Het lijkt erop dat zij vooral beïnvloed werden doordat de interviews werden gehouden op een tijdstip waarop de Commissie-Terlouw net bezig was het door hen georganiseerde maatschappelijke debat *Eten en Genen* af te ronden. In de interviews verwijzen de onderzoekers naar de lessen die ze uit dit debat hebben getrokken. De voedingsgenomicsonderzoekers geven aan dat het publiek zo vroeg mogelijk geïnformeerd moet worden over voedingsgenomics. Tegelijkertijd realiseren ze zich dat dat erg lastig is, gezien het stadium waarin het geheel zich nu bevindt; wie luistert naar al die technische verhalen over genen, RNA en eiwitten? Hoe moet het publiek in het algemeen, en de consument in het bijzonder, over voedingsgenomicsonderzoek worden geïnformeerd? Dit is dan ook een van de belangrijkste vragen die in een maatschappelijke discussie over voedingsgenomics aan de orde gesteld zou moeten worden. Direct daarmee samenhangend is er de rol van de onderzoeker zelf in dit proces van informatievoorziening. Van verschillende kanten wordt geconstateerd dat de onderzoeker het publiek actief over zijn onderzoek moet vertellen. Dan zal ook blijken dat onderzoekers met elkaar van mening verschillen over de richting waarin en de snelheid waarmee deze ontwikkelingen gaan.

En dat kan helemaal geen kwaad, integendeel. Vergeleken met het ‘gelikte’ verhaal dat copywriters en PR-bureaus’s ervan maken, wordt het verhaal van de onderzoekers zelf namelijk een veel menselijker verhaal. Daarmee wordt op zijn beurt het geïnteresseerde publiek en de consument meer bij de ontwikkelingen betrokken.

Verantwoordelijkheid wetenschap, bedrijfsleven en overheid

Dit onderwerp, dat door de voedingsgenomics onderzoeker aangesneden is, hangt in de eerste plaats samen met de bijdrage die voedingsgenomicsonderzoek kan leveren aan de onderbouwing van de gezondheidsclaims van bestaande en nieuwe voedingsmiddelen. Dit ligt direct in het verlengde van de maatschappelijke discussie over nieuwe voedingsmiddelen, en in het bijzonder over de gezondheidsclaims. Ook hier wijzen de onderzoekers – net als bij voedselveiligheid – juist op de positieve bijdrage van voedingsgenomicsonderzoek om die gezondheidsclaims goed te kunnen onderbouwen, onder andere door de ontwikkeling van nieuwe biomarkers. In het spanningsveld tussen wetenschap en bedrijfsleven zien ze voor de overheid een belangrijke rol: die moet de wettelijke kaders bepalen en zorgen voor de naleving ervan. Juist in verband met genoemde gezondheidsclaims verwacht een onderzoeker dat, in navolging van wat nu al in de VS gemeengoed is, het aansprakelijkheidsvraagstuk zich ook steeds vaker in Nederland zal aandienen. Dit zal de noodzaak voor wetenschappelijke onderbouwing alleen maar versterken.

Onafhankelijkheid publieke wetenschap

In de maatschappelijke discussie over biotechnologie wordt ook de onafhankelijkheid van de publieke wetenschap ter discussie gesteld. Hierachter zit de vaak niet uitgesproken en impliciete veronderstelling dat resultaten van onderzoek wel eens omgebogen zouden worden in een richting die beïnvloed wordt door de industrie of andere belangengroeperingen. Uit de interviews blijkt onafhankelijkheid ook voor de onderzoekers een belangrijk issue. Niet zozeer omdat de kwaliteit van hun onderzoek in twijfel zou moeten worden getrokken, maar omdat ze niet de vrijheid hebben om te doen wat ze willen doen. Door de steeds grotere financiële afhankelijkheid van de industrie en steeds meer van tevoren gedefinieerde onderzoeksprogramma’s zijn ze ‘gedwongen’ bepaald onderzoek te doen en is de ruimte voor door eigen nieuwsgierigheid gedreven onderzoek uitermate klein. De overheid wordt hierin ook aangewezen als verantwoordelijke partij: deze zou moeten durven investeren in fundamenteel voedingsgenomicsonderzoek.

Keuzevrijheid

Dit is tot nu toe een belangrijk issue in het debat over biotechnologie en voedsel. De consument mag niet gedwongen worden om genetisch gemodificeerd voedsel te kopen. De consument moet de vrijheid en vooral de mogelijkheid hebben om voedsel met of zonder genetisch modificatie te kunnen kopen. De consument moet bovendien goed geïnformeerd zijn om deze keuze te maken.

De voedingsgenomicsonderzoekers daarentegen brengen het issue keuzevrijheid alleen naar voren als het gaat om de vraag naar de verantwoordelijkheid van de consument om ook bepaalde keuzes juist niet te willen maken. Wat gebeurt er als de consument besluit de geoptimaliseerde en persoonlijke dieetadviezen niet te volgen? Toch vinden enkele voedingsgenomicsonderzoekers dat een discussie over voedingsgenomics eigenlijk doorgetrokken zou moeten worden naar een fundamentele discussie over voedselvoorziening in het algemeen. Dan moeten vragen aan de orde komen als: welke voedselproductiesystemen willen we, wat zijn de maatschappelijke gevolgen daarvan en wat is de plaats van voedingsgenomics daarin? Eigenlijk zou deze discussie eerst gevoerd moeten worden, voordat we überhaupt met een discussie over voedingsgenomics beginnen.

Ethische issues

Als het om ethische issues gaat, liggen die van de voedingsgenomicsonderzoekers in het verlengde van de issues die al in de biotechnologiediscussie aan de orde zijn. Het gaat om vragen als: moeten we wel alles doen wat (in de toekomst) kan? Gaan de meeste discussies over de wenselijkheid en toelaatbaarheid van alle nieuwe mogelijkheden, de voedingsgenomicsonderzoekers geven aan dat we het ook moeten hebben over de toelaatbaarheid en wenselijkheid om bepaalde ontwikkelingen een halt toe te roepen. Deze kant van de discussie is tot nog toe onderbelicht.

Nieuwe issues die voedingsgenomicsonderzoekers naar voren brachten

De voedingsgenomicsonderzoekers noemen enkele issues die tot nu toe nog niet in de maatschappelijke discussie over biotechnologie naar voren zijn gekomen. In de eerste plaats stellen ze, behalve de verantwoordelijkheid van de overheid, wetenschap en bedrijfsleven, ook de verantwoordelijkheid van de consument aan de orde. De consument beschikt langzamerhand – mede door voorlichtingscampagnes van de overheid en bepaalde organisaties – over steeds meer informatie over de negatieve en positieve effecten van verschillende voedings- en genotsmiddelen. De onderzoekers constateren dat lang niet alle

consumenten zich de adviezen ter harte nemen; de consument laat hier zijn verantwoordelijkheid liggen.

Uit onderzoek blijkt dat consumenten niet echt bereid zijn iets te doen of te laten wat pas op langere termijn effect op de gezondheid heeft. Wat eten betreft, laten consumenten zich niet alleen leiden door gezondheidsoverwegingen, maar ook door de symbolische betekenis van voeding (de mate waarin een bepaald soort voeding bijdraagt aan iemands identiteit). Maar het belangrijkste voor de consument is de smaak (*taste rules*).

Het genenpaspoort waarmee iedereen over tien jaar kan rondlopen en dat ook gebruikt kan worden door een diëtist voor voedingsadviezen, is een aansprekend voorbeeld waarmee sprekers en auteurs de mogelijke impact van het voedingsgenomicsonderzoek nogal eens illustreer. Meestal wordt dan ook het privacyaspect naar voren gebracht: wie mag nog meer over de informatie in het genenpaspoort beschikken om daar zelfs bepaald gedrag van de patiënt/consument mee af te dwingen? Privacy is een tweede, nieuw onderwerp dat tot nu toe nog niet in het maatschappelijke debat over nieuwe (bio)technologieën en voedsel naar voren is gekomen. De onderzoekers noemen dit enkele keren tijdens de interviews, maar waarschuwen vooral voor de verwachtingen die in de genoemde presentaties en publicaties worden gewekt. Ze trekken de realisatie van het gebruik van een genenpaspoort voor dieetadviezen erg in twijfel (vanwege hoge kosten). Ook vinden ze dat het gebruik van voedingsgenomicsproducten in de medische sector door de rol van de verzekeringsmaatschappijen eerder tot privacyvraagstukken aanleiding zal geven dan het gebruik voor voedingsadviezen.

Niet-genoemde issues

Er zijn drie issues uit het biotechnologiedebat, die niet door de voedingsgenomicsonderzoekers naar voren zijn gebracht.

1. Milieu

Zo speelt het issue gevolgen voor het milieu geen enkele rol, hoewel dit onderwerp wel een belangrijke plaats inneemt in het tot nu toe gevoerde maatschappelijke debat over biotechnologie.

2. Machtsvraagstukken

Machtsvraagstukken (positie boer, rol multinationale ondernemingen, verhouding Noord-Zuid, intellectueel eigendomsrecht) worden door een onderzoeker slechts zijdelings aangestipt. Hij noemt de Noord-Zuidverhoudingen en stelt de vraag 'wie zit er aan het roer'. Het onderwerp intellectueel eigendomsrecht is voor de onderzoekers geen issue voor een maatschappelijke debat. De kloof tussen consument en pro-

ducent wordt wel onderkend, maar als zodanig niet als een probleem gezien.

3. Sociaal-culturele betekenis van voedsel

De sociaal-culturele betekenis van voeding is voor de onderzoekers ook nauwelijks een punt van discussie. Voedingsgenomics zal er niet toe leiden dat we in de toekomst slechts pillen tot ons nemen; daar is een mens niet voor gebouwd. Het nuttigen van voedsel in de enigszins oorspronkelijke vorm blijft bestaan en is ook nodig om een mens zich goed te laten voelen. De enige zorg is dat de grotere focus op gezonde voeding en de opname van medicijnen in het voedsel ervoor kan zorgen dat voedsel steeds meer een voedingsmiddel en steeds minder een genotmiddel wordt.

3.5 Slotwoord

Uit het voorgaande komt duidelijk naar voren dat de voedingsgenomicsonderzoekers het issue informatievoorziening en communicatie, zowel in de discussie van de afgelopen jaren over biotechnologie (en vooral over genetische modificatie), bijzonder belangrijk vinden. Zowel de voedingsgenomicsonderzoekers als de deelnemers aan eerdere debatten zijn zich ervan bewust dat het uiterst belangrijk is om het publiek te informeren over alles wat er gaande is, mede vanuit het oogpunt van keuzevrijheid van de consument.

We hebben in relatie tot dit issue te maken met een wat lastige paradox. Gezien de behoefte om toch zo concreet mogelijk over de nieuwe ontwikkelingen in het voedingsgenomicsonderzoek te willen discussiëren, is op verschillende plaatsen bijvoorbeeld het genenpaspoort, de daarop gebaseerde dieetadviezen en samenhangende privacyproblemen naar voren gebracht. Dit doet echter totaal geen recht aan de ontwikkelingen in het voedingsgenomicsonderzoek: de complexe aard van de materie, de tijd die het zal kosten om tot heldere, eenduidige inzichten in de relatie voedingsbestanddeel-gezondheidseffect te komen, en überhaupt de vraag of er wel zoiets als een genenpaspoort voor dit soort toepassingen komt. Ontwikkelingen als voedingsgenomics zijn complex en concrete toepassingen zullen pas op langere termijn gerealiseerd worden. De ontwikkeling bevindt zich nog in het beginstadium, de realisatie ervan zal nog circa tien jaar duren. Hoe communiceer je dan nu al hierover met het publiek?

Hier ligt een belangrijke uitdaging voor alle betrokken partijen: een maatschappelijk proces starten, waar onderzoekswereld, bedrijfsleven, consumenten en maatschappelijke organisaties bij betrokken zijn, op basis van de lessen die getrokken kunnen worden uit het recent gevoerde *Eten en Genen*-debat. Doel van dit proces is toekomstige gebruikers nauw(er) te betrekken bij de besluitvorming over

onderzoek in voedingsgenomics en toepassingen ervan. Op een of meerdere platforms waarin dit overleg plaatsvindt, zal onder andere continu aan de orde moeten komen welke informatie beschikbaar is en waarover gecommuniceerd moet worden. Onderzoekers moeten hun vorderingen in het onderzoek melden en hun opvatting geven over toekomstige technologische trends. Consumenten en andere relevante maatschappelijke organisaties moeten helder hun huidige en toekomstige behoeften uitdragen, die mogelijk met behulp van genomics-onderzoek bevredigd kunnen worden. We zijn van mening dat de interactie tussen deze aanbod- en vraagpartijen vraagt om een nieuwe regie: de processen tussen alle relevante stakeholders (betrokkenen én 'betroffenen') zullen moeten leiden tot innovaties, die uit maatschappelijk én economisch oogpunt relevant zijn. Het is een van de belangrijkste uitdagingen voor de komende jaren om dit verder gestalte te geven.

Summary

Over the past years the genome of man, and various plants, animals and micro-organisms has been mapped with great speed. We now know the number and locations of many genes on the DNA of many organisms; we know that RNA transfers the DNA code and produces protein on the basis of this; and that the entire process of metabolism is about the behaviour of these proteins and metabolites. Nevertheless, we are still in the dark when it comes to the mechanisms that help genes direct the process of metabolism. *Functional genomics* is the research field that seeks to explain complete biological processes based on DNA (genome) information, the RNA (transcriptome), the protein (proteome) and the metabolites (metabolome).

Contribution of functional genomics to the food production chain

Especially due to the development of a number of techniques such as the DNA chip, and the availability of ever more and ever faster computers and advanced software that allow us to compare all research outcomes (bioinformatics), functional genomics research accelerated rapidly since the early nineties. Ever more genomes of plants, animals and micro-organisms are being mapped. Functional genomics techniques are being used to study various agricultural, food and nutrition issues. Food genomics is the specific application of functional genomics to research issues regarding agriculture, food and nutrition.

Functional genomics research may be expected to be applied to all links in the food production chain. At the beginning of the chain, (refinement of agricultural crops and productive livestock), and once the genes of the agricultural crops have been mapped, new points of application will be discovered to better enable plants to resist disease and raise productivity. Crops will then be selected on the basis of vitality, life expectancy and resistance to disease. But besides stronger resistance and higher productivity, functional genomics also offers new approaches to refine products on the basis of crops' agronomic characteristics such as drought tolerance and metal (pollutant) resistance. As for the non-food applications of plants, the information obtained from functional genomics research will be used to refine products for the production of such things as tailored biopolymers, vegetable oils and diagnostic systems or medicines for the pharmaceutical industry. The same applies to breeding programmes: since the gene map of productive livestock carries significant information, here too one will be able to refine work in a better targeted fashion. In terms of animal welfare, genomics will contribute to the development

of veterinary diagnostics and vaccines, and will help develop more objective parameters for animal welfare.

With regard to the cultivation of crops, which is the second step in the chain, functional genomics will provide information about how to grow plants in such a way as to optimise simultaneously certain characteristics (such as flavour or composition) and/or yields (e.g. grain weight, tuber size).

In addition, this know-how offers possibilities to set up objective quality parameters of crops and decorative plants for use in the logistics chain to the consumer.

Functional genomics also offers benefits when upgrading micro-organisms. Certain ingredients of food products are made with micro-organisms (yeasts, bacteria and fungi), well-known examples of these being baking yeast and the enzymes that are used to clean fruit juices that are turbid by nature. Metabolomics techniques will provide methods to help us better fine tune the production process in micro-organisms. Functional genomics techniques will also be used to improve the flavour and quality of beer, wine, cheese and yoghurt: products that are naturally made on the basis of micro-organisms (usually bacteria).

Food health is a significant field of functional genomics research. This covers the study of the effects of food ingredients (nutrients) on health, research on the individual genetic differences between humans and the effect of these differences on nutrition and diet (*genotyping*), and research on the role of (intestinal) bacteria on health. The combination of functional genomics and food nutritional science is called *nutrigenomics*. Researchers of new foods are constantly searching for active biomolecules and involved metabolic processes that are related to certain complaints and whose effects can be influenced by food components. Functional genomics research is expected to provide greater insights into the effects of food components in the body in the first place. This might support the health claims of existing and new food products. Functional genomics research will then lay the foundation for the development of brand-new types of high-quality food such as *personalised foods*, which meet consumers' individual genetic profiles.

Functional genomics research will also provide information about human reactions to food as a result of the gradual differences in their individual chromosomes. Moreover, it will offer better insight into the effect of environmental factors such as food on genetic activity. The functional genomics techniques will also help us measure (and substantiate) the health effect of bacteria that are added to our food, the

so-called probiotica. Functional genomics will also help us better study the function of intestinal flora bacteria.

In terms of food safety, functional genomics will help us develop new *biomarkers* to measure the safety and quality of the food throughout the chain. The same applies to new biomarkers to show specific food perishing or the presence of pathogenic micro-organisms in food products.

In spite of all of these efforts most of these developments will only be realised in the longer term, that is in 10 to 15 years. Functional genomics will add significant methods, techniques and research strategies to refinement, food and medical research, but this is about long-term research and long-term development processes.

Food genomics research in the Netherlands

In 2001 a sizeable genomics programme started to support Dutch knowledge infrastructure in this field for the next five years. The government has assigned the Nationale Regie-Organ Genomics (The Netherlands Genomics Initiative) 188.8 million euro to approach the various aspects (research, instruments, innovation, social aspects and communication) in a coordinated manner. Food genomics is a major part of this programme: it is one of the four intrinsic themes.

According to our overview of current food genomics research in the Netherlands, major efforts are already being invested in this field. Researchers at six universities and eight research institutes are working (together) on at least 106 projects pertaining to food genomics research. In the whole range of food genomics research assignments, the share of issues reviewing the end of the food chain is largest (73%). It is targeting research on food production processes and new food products, and medical research into the relationship between food and health. Here the recently founded Centre for Human Nutrigenomics (a joint venture between WURC, UM, TNO-Voeding, RIVM and NIZO), is the main executive party. Then come food safety and food quality research being carried out mainly at the RIKILT (about 15%) and finally the functional genomics research for plant refinement (about 12%). Under the supervision of the The Netherlands Genomics Initiative four genomics centres are currently under construction. Two of them will (partly) be dedicated to food genomics: plant refinement and microbial genomics (food ingredients).

Many companies are involved in food genomics research in the Netherlands. However, very few of these companies are carrying out food genomics research themselves. Most of them are merely involved in food genomics research that is relevant to them through IOP (Innovative Research Programs) projects, or that will be relevant in the future

through the research in the Genomics Centres (Genomics Zwaartepunten), carried out at universities or research institutions.

If we were to put Dutch efforts in an international perspective, we can conclude that the Dutch government scores reasonably well, especially when compared to France, Germany and Denmark, in encouraging food genomics research. European efforts, however, are overshadowed by US budgets. The Netherlands has a strong position in potato refinement research. A position that will become even stronger once the Wageningen Centre for Biosystems Genomics is in operation. France is busy catching up with the Netherlands in plant refinement research. Especially the US and Britain are supporting research on the relationship between food and health (nutrigenomics) on a programmed basis. This field is still developing strongly in the Netherlands.

Social discussion about food genomics research: researchers' opinions

One of the main targets of this research is to learn from the researchers who are involved in food genomics research which issues should come up during social discussions on the matter. This was the main topic during the interviews with institutional researchers.

Researchers agree on the social impact of food genomics research: it helps increase the population's general health status, it leads to a healthier, longer and happier life. Nevertheless, the social discussion about food genomics is subject to very different opinions and points of attention.

For instance there are different opinions as to *when* social discussions should be held on food genomics. Many researchers believe it is still too early because food genomics research has only just started. It will take at least ten years from now before there are any concrete applications. According to these researchers a social discussion will only be necessary and possible if we have concrete products that we can talk about. Another group, on the other hand, believes this is precisely the good moment to have a social discussion. After all, initiatives in this field are already being taken, whereby attention should also be paid to the social aspects of genomics (NWO programmes, genomics centres of the Nationaal Regie-Organ Genomics).

One of the main fears mentioned repeatedly during the interviews was the fear that discussions, and especially negative emotions on genetically modified foods would cross over to food genomics. According to the researchers, people in general see no difference between genetic modification, biotechnology and genomics. They are hardly capable of recognising the different technologies, their applications and involved consequences. Researchers, supported by the BSE and dioxin

crises for instance, notice increasing suspicion as to food ingredients; the 'classical agricultural industry' too suffers from this suspicion. These fears are involved in the discussion about genetic modification and might cause the general public to develop a negative picture of food genomics.

Surprisingly enough, food safety tops the list of issues mentioned during social discussions on food genomics. Followed closely by information supply and communication. Other issues are privacy, the government's responsibilities, companies and science, food as a medicine, ethical issues as to whether to act or not, animal welfare and freedom of choice, also in connection with various food production systems. Although researchers recognise that food genomics cannot but contribute to greater food safety, many of them still expect discussions about the relationship between food genomics and food safety given the above mentioned suspicions.

Some researchers give highest priority to information supply and communication. Example: 'Clear, open and unbiased communication is essential to convince people of the use of food genomics. Food genomics offers a good opportunity because it provides exactly the right methods to show consumers that something is either good or bad. Instead of believing only, consumers and professionals who are in close relation to the consumers, will actually see the evidence. This is an opportunity for scientists and manufacturers, for now they can finally substantiate their claims.' One should therefore have a social discussion mainly to inform people in all honesty about the possible applications and their usefulness for society. Other researchers note that people are not interested in this matter and that communication therefore is useless.

Whichever way one looks at it, the social discussion about food genomics research will undoubtedly include discussions about biotechnology and genetic modification in particular. Although in technological terms these are two completely different matters, people do not recognise the difference. So social discussions about food genomics will most likely involve issues that had already been mentioned during discussions on genetic modification and functional food. This also results from the fact that researchers bring up points of discussion that dovetail with the running debates, for instance food safety, information supply, government responsibility, scientists and entrepreneurs, some ethical issues and animal welfare. On the other hand, researchers do not mention important issues that are brought up during discussions on biotechnology, such as the environment and power. Researchers did bring up new issues such as privacy in view of the use of the so-called gene passport and consumers' responsibility when it comes to food behaviour.

Finally

Both food genomics researchers and participants of earlier debates attach great importance to information supply and communication. Developments such as food genomics, however, are of a very complex nature which means concrete applications will only be possible in the longer term. Developments are still in their initial stages, it will take about ten years from now before they are actually realised. What does this mean to the information and communication processes which had better start as soon as possible?

A great challenge for all relevant parties is to start a social process based on all the lessons one can draw from the recently held Food and Genes Debate, involving researchers, entrepreneurs, consumers and social organisations. The aim of this process is to better involve future users in the decision about food genomics research and relevant applications. Discussion should cover what information will be available when and what exactly should be communicated. Researchers will have to discuss research claims and future technological trends, consumers and other relevant social organisations will have to indicate how their current and future needs, that genomics research might influence, will look like.

It is about interaction between all relevant stakeholders (close and distant) that should lead to innovations relevant from both social *and* economic perspectives. This interaction between supply and demand parties means a great challenge for the national direction of the genomics research in the coming years.

Literatuur

Brul, S. et al. (2002). 'Functional genomics for optimal product processing'. Paper for the 1st International Nutrigenomics Conference, 28 February – 1 March 2002. Noordwijk, The Netherlands.

Enzing, C.M., m.m.v. S. Kern & N. Chehab (2001). *Genomics in Nederland: investeringen, samenwerking en human capital*. In opdracht van de ambtelijke Stuurgroep van de Tijdelijke Adviescommissie Genomics Infrastructuur (Commissie-Wijffels). TNO-report, STB-01-14.

Gillies, P.J. (2002). 'Human Nutrigenomics: a new frontier in health promotion'. Paper for the 1st International Nutrigenomics Conference, 28 February – 1 March 2002. Noordwijk, The Netherlands.

Kornman, K.S. (2002). 'Nutrigenomics: reducing the science to practice and products'. Paper for the 1st International Nutrigenomics Conference, 28 February – 1 March 2002. Noordwijk, The Netherlands.

McCollom, E.V. (1975). *A History of Nutrition*. QU 145.

Roberts, M., D.M. Mutch & J.B. German (2001). 'Genomics: food and Nutrition'. In: *Food Biotechnology*, pp. 516-522.

Schaafsma, G. (2002). '3rd Generation functional foods'. Paper for the 1st International Nutrigenomics Conference, 28 February – 1 March 2002. Noordwijk, The Netherlands.

Tweede Kamer, HII 2000-2001, TK 27 866. *Kennisinfrastructuur Genomics*, nr.1.

Verrips, C.T., M.M.C.G. Warmoeskerken & J.A. Post (2001). 'General introduction to the importance of genomics in food biotechnology and nutrition'. In: *Food Biotechnology*, pp. 483-487.

Vos, W.M. de (2001). 'Advances in genomics for microbial food fermentations and safety'. In: *Food Biotechnology*, pp. 493-498.

Werf, M.J. van der, et al. (2001). 'Nutrigenomics: Application of Genomics technologies in Nutritional Sciences and Food technology'. In: *Journal of Food Science*, vol. 66, nr. 6, pp. 772-780.

Werf, M.J. van der (2002). 'Metabolomics: towards a systems biology approach'. Paper for the 1st International Nutrigenomics Conference, 28 February – 1 March 2002. Noordwijk, The Netherlands.

Wijffels, H.H.F. (2001). *Advies van de Tijdelijke Adviescommissie Kennisinfrastructuur Genomics*, april 2001.

Bijlage 1

Geïnterviewde onderzoekers

J. Keijer, Rijks-KwaliteitsInstituut voor Land- en Tuinbouwproducten (RIKILT)

Ph. van Lelyveld, DSM

J. Maat, Unilever Research

M. Müller, Wageningen Universiteit – afdeling Humane voeding en epidemiologie

C. Noome, Advanta Seeds

M.A. Smits, ID-Lelystad

J. Steijns, DMV International – Campina

W.J. Stiekema, Plant Research International (PRI)

Bijlage 2

Overzicht Nederlandse voedings- genomicsonderzoeksprojecten

De tabel hierna geeft een overzicht van de voedingsgenomicsprojecten en programma's in Nederlandse onderzoeksinstituten die we hebben gevonden. Bij de samenstelling van dit overzicht is vooral gebruikgemaakt van de informatie van het Centre for Human Nutrigenomics (www.nutrigenomics.nl), de NWO-programma's Genomics, Biomoleculaire informatica en Voeding en Chronische Ziekten, het IOP Genomics, aangevuld met informatie van de onderzoeksinstituten zelf.

Wij zijn ons ervan bewust dat dit overzicht niet compleet is. Niet altijd is precies bekend of voedingsonderzoek genomicsactiviteiten omvat. Ook ontbreken projecten die in het kader van eerste-geldstroomonderzoek en door derde-geldstroom- en contractonderzoek worden gefinancierd.

Onderzoeks instelling	Project	Looptijd	Type Project	Samenwerkingspartners
Universiteit Groningen ■ Moleculaire genetica	■ Vergelijkende en voorspellende transcriptoomanalyse van gram-positieve bacteriën ter verbetering van voedselkwaliteit, -functionaliteit en -veiligheid.	2001 -	IOP-Genomics	WCFS: Microbial Functionality and Safety; Universiteit Nijmegen: Centre for Molecular and Biomolecular Informatics
Universiteit Leiden ■ Institute for Molecular Plant Sciences, Clusius Laboratory ■ Leiden Universitair Medisch Centrum	■ Identification of dietary response genes controlling plasma lipid levels in mice and humans; analysis of the response of plasma lipids to caefestol as a model system. <i>CHN, Theme 3: Study the impact of genotype in the relation of nutrition and human health.</i> ■ Regulatory DNA binding peptides as novel tools for plant functional genomics. ■ Effect of NPY ^{eu->pro} polymorphism on neuro-endocrine and metabolic response to nutritional status in obese subjects.	2000-2003 2001-2007 2000-2004	NWO / OIO NWO-Genomics: project NWO-Voeding en chronische ziekten	WU-Nutepi TNO-PG: Gaubius laboratorium
Universiteit Maastricht ■ Moleculaire celbiologie en genetica ■ Humane biologie	■ Identification of dietary response genes controlling plasma lipid levels in mice and humans; analysis of the response of plasma lipids to caefestol as a model system. ■ Diet, gene expression, and postprandial disturbances in lipid metabolism and hemostatic function: impact of adipocyte malfunction. ■ Differences in gene expression in diet induced weight gain.	1998-2004 1998-2002 2000-2004	NWO-Voeding en chronische ziekten: project NWO-Voeding en chronische ziekten: project NWO-Voeding en chronische ziekten	Wageningen Universiteit: Voeding en epidemiologie RIVM: Centrum voor Chronische Ziekten en Milieu-epidemiologie
Universiteit Nijmegen	■ Computational genomics of prokaryotes.	2001-2007	NWO-Biomoleculaire informatica: project	

<p>Universiteit Utrecht</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ Department of Molecular Cell Biology Section of Developmental Genetics ■ Department of Molecular Plant Physiology, Faculty of Biology 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Genomics for multicellular development: function of the quiescent center in regulation of pattern formation and differentiation within the Arabidopsis thaliana root meristem ■ High Resolution, Genome-Wide Mapping of in vivo Transcription Factor Target Loci in Arabidopsis. 	<p>2001-2007</p> <p>2001-2007?</p>	<p>NWO-Genomics: project</p> <p>NWO-Genomics: project</p>	
<p>Universiteit Wageningen</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ WU-Humane Voeding en Epidemiologie (WU-Nutepi) 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Wageningen Phytoinformatics: the added value from plants. ■ Nutrient/microbe host interactions with special emphasis on ABC transporter gene regulation - Impact on nutrient bioavailability. <i>CHN, Theme 2: Clarify molecular mechanisms underlying health effects of food.</i> ■ Transcriptomics of fasting-induced gene expression and impact of specific genes for energy metabolism. <i>CHN, Theme 2: Clarify molecular mechanisms underlying health effects of food.</i> ■ Lipid-dependent gene regulation in the small intestine. <i>CHN, Theme 2: Clarify molecular mechanisms underlying health effects of food.</i> ■ Determination of the function of the fasting induced adipose factor, a novel hormone implicated in energy metabolism. <i>CHN, Theme 2: Clarify molecular mechanisms underlying health effects of food.</i> 	<p>2001-2007</p> <p>2001-2004</p> <p>2001-2005</p> <p>2001-2005</p> <p>2001-2005</p>	<p>NWO- Biomoleculaire Informatica: project</p> <p>WU / VLAG Postdoc</p> <p>KNAW</p> <p>VLAG-AIO</p> <p>NWO 903-39-188 / AIO</p>	<p>WU-Leerstoelelgroep</p> <p>Levensmiddelenhygiëne en -microbiologie</p>

<ul style="list-style-type: none"> ■ Use of the CELERA human and mouse genome database (including SNPs). <i>CHN, Theme 2: Clarify molecular mechanisms underlying health effects of food.</i> ■ Probing the role of fatty acids and the peroxisome proliferator activated receptor alpha in the regulation of hepatic glucose metabolism. <i>CHN, Theme 2: Clarify molecular mechanisms underlying health effects of food.</i> ■ Probing the role of the fasting induced adipose factor FIAF in the adaptive response to fasting by oligonucleotide microarray. <i>CHN, Theme 2: Clarify molecular mechanisms underlying health effects of food.</i> ■ Transcriptomics of lipid-induced modulation of intestinal gene expression. <i>CHN, Theme 2: Clarify molecular mechanisms underlying health effects of food.</i> ■ Dietary factors and genetic susceptibility as determinants of mutations of cancer genes in colorectal adenomas and carcinomas. <i>CHN, Theme 3: Study the impact of genotype in the relation of nutrition and human health.</i> ■ Hyperhomocysteinemia, haemostasis and coronary heart disease: the role of common mutations and vitamins. 	<p>2002-2004</p> <p>2002-2006</p> <p>2002-2004</p> <p>2002-2006</p> <p>2000-2004</p> <p>1998-2002</p> <p>2002-2004</p>	<p>NWO / WU 50% elk</p> <p>Diabetes Fonds AIO</p> <p>NWO Genomics: project / Postdoc</p> <p>IOP-Genomics / AIO</p> <p>NWO-project / AIO (UM), AIO (WU)</p> <p>NUTRIM, TNO</p> <p>NWO-Voeding en chronische ziekten</p> <p>NWO-Voeding en chronische ziekten</p>	<p>Academisch Ziekenhuis Nijmegen; Pediatie en Neurologie; RIVM: Centrum voor Chronische Ziekten en Milieu-epidemiologie</p> <p>Universiteit Maastricht: Afdeling Epidemiologie, Afdeling Pathologie</p>
<ul style="list-style-type: none"> ■ Dietary factors and genetic susceptibility as determinants of mutation and methylation of cancer genes in colorectal adenomas and carcinomas. 			

<ul style="list-style-type: none"> ■ WU-Laboratorium voor Biochemie (WU-BC) ■ WU-Laboratory of Genetics ■ WU-Laboratory Of Microbiology (WU-Micro) 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Genomics, proteomics, and metabolomics approach to study the role of genetic polymorphisms in the induction and activity of anti-tumor factors induced by cruciferous vegetables. <i>CHN, Theme 2: Clarify molecular mechanisms underlying health effects of food.</i> ■ QTL express: identification of plant performance traits in Arabidopsis by combining high-throughput mapping and expression profiling. ■ Heavy metal tolerance and accumulation in <i>Thlaspi caerulescens</i>, a heavy metal hyperaccumulating plant species. ■ Healthy Pigut - Molecular characterization of bacterial communities. <i>CHN, Theme 1: Study functionality and safety of food ingredients relevant for human health. Subtheme 1c: Microbiology.</i> ■ Microbe Diagnostics - Development and application of high throughput molecular methods for studying the human gut microbiota in relation to diet and health. <i>CHN, Theme 2: Clarify molecular mechanisms underlying health effects.</i> ■ An integrated genomics approach towards gut health - Interaction between commensal bifidobacteria and diet and the human intestinal tract. <i>CHN, Theme 2: Clarify molecular mechanisms underlying health effects.</i> ■ EU and Microfunction - Functional assessment of interactions between the human gut microbiota and the host. <i>CHN, Theme 2: Clarify molecular mechanisms underlying health effects.</i> ■ Karakterisering van het koolhydraat-modificerende netwerk van Aspergillus niger met behulp van functionale genomics 	<p>?</p> <p>2001-2007?</p> <p>2001-2007?</p> <p>2001-2004</p> <p>2001-2004</p> <p>2002-2004</p> <p>2002-2004</p> <p>2001 -</p>	<p>AIO</p> <p>NWO-Genomics: programma</p> <p>NWO-Genomics: programma</p> <p>EU</p> <p>AIO, EU</p> <p>IOP-Genomics (AIO)</p> <p>EU</p> <p>IOP-Genomics</p>	<p>WU-Toxicology, TNO</p> <p>?</p> <p>VU-Dept. of Ecology and Ecotoxicology of Plants</p> <p>TNO</p> <p>WU- Levensmiddelenchemie, RUG- Microbiologie en bio-fysische chemie; Universiteit Leiden</p> <p>Schimmel Genetica UvA- Swammerdam Institute for Life Sciences, WU-Lab of Molecular Biology, UU Dept. of Developmental Genetics</p>
---	---	--	---	--

<ul style="list-style-type: none"> ■ WU-Toxicology (WU-Tox) 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Chromatin genomics: functional analysis of Arabidopsis chromatin remodeling genes in development. ■ Moleculaire mechanismen van carcinogene en anticarcinogene effecten van n-6 en n-3 meervoudig onverzadigde vetzuren op darmkanker. <i>CHN, Theme 2: Clarify molecular mechanisms underlying health effects of food.</i> ■ Benefit-risk evaluation of flavonoids in foods and their use as functional food ingredients. <i>CHN 2, Theme 2: Clarify molecular mechanisms underlying health effects of food.</i> ■ Identification of genes involved in inhibition of inter-cellular communication by dioxin. <i>CHN, Theme 2: Clarify molecular mechanisms underlying health effects of food.</i> ■ Biochemoprevention of colorectal neoplasia; interactions between plant foods and polymorphisms in coding as well as regulatory DNA sequences. <i>CHN, Theme 3: Study the impact of genotype in the relation of nutrition and human health. 2001-2007</i> 	<p>2001-2007</p> <p>1999-2002</p> <p>2001-2005</p> <p>2001-2005</p> <p>2001-2005</p> <p>2001-2005</p>	<p>NWO-Genomics: programma AIO</p> <p>NWO Verantwoorde Voeding</p> <p>Technicus</p> <p>ZON</p>	<p>TNO</p> <p>RIKILT, Maastricht Universiteit, TNO</p> <p>PRI</p> <p>WU-Nutepi</p>
<p>Cardiovascular Research Institute Maastricht - CARIM</p> <p>Centre for Biosystems Genomics</p>	<ul style="list-style-type: none"> ■ Gene expression profiling in genetically modified mice <i>CHN, Theme 2: Clarify molecular mechanisms underlying health effects of food</i> ■ Identify the complex genetic and biochemical mechanisms in potato and tomato underlying pathogen resistances and consumer and industrial quality traits. ■ Develop a research platform for genome-based approaches in the crop species potato and tomato and the model plant Arabidopsis. ■ Explore the rich biodiversity of Solanaceous species to identify new traits and valuable genetic alleles. 	<p>2000-2004</p>	<p>NWO, OIO</p> <p>Potentieel Genomics Zwaartepunt</p>	<p>WU: Expertise Group Wageningen Plant Sciences; ATO; Expertise Group Animal Genomics; Centre for Methodical Ethics and Technology Assessment (META); UU: Discipline Group Molecular and Cellular</p>

	<ul style="list-style-type: none"> ■ Fully exploit bioinformatics to integrate genomics data from sequence analysis, transcriptomics, proteomics and metabolomics. ■ Conduct multidisciplinary research into the societal implications of genomics. 			<p>Biology; Discipline Group Plant Sciences; Centre of Bio-ethics and Health Law; UVA: Swammerdam Instituut; Universiteit Nijmegen; Botanical garden; AVEBE, VAVI; Agrico Research; Averis Seeds; HZPC Holland; C.Meijer BV, Van Rijn BV; Hoofdproductschap Akkerbouw; ENZA Zaden; De Ruiters Zaden; Rijk Zwaan; Nickerson-Zwaan; Keygene</p>
ID-Lelystad	<ul style="list-style-type: none"> ■ Natural bioactive components (e.g. synbiotics) for functional food. <i>CHN, Theme 1: Study functionality and safety of food ingredients relevant for human health. Subtheme 1a: Plants as producers.</i> ■ Intestinal colonisation, stress and transmission: unravelling the interrelationships in an animal model. <i>CHN, Theme 1: Study functionality and safety of food ingredients relevant for human health. Subtheme 1b: Food safety and efficacy, allergy.</i> ■ Genetic markers for macrophage functions and their role in resistance against salmonella infections. <i>CHN, Theme 1: Study functionality and safety of food ingredients relevant for human health. Subtheme 1b: Food safety and efficacy, allergy.</i> ■ Identification of general disease resistance markers using an animal model. <i>CHN, Theme 1: Study functionality and safety of food ingredients relevant for human health. Subtheme 1b: Food safety and efficacy, allergy.</i> 	2002-2005	LNV + externe partners	<p>Universiteit Utrecht; Faculteit Diergeneeskunde</p> <p>Erasmus Universiteit</p> <p>Externe partners</p>
		2002-2004	WUR, KED	
		2002	AIO, ID-Lelystad	
		2002-2003	LNV	

	<ul style="list-style-type: none"> ■ Genetic resistance against Salmonella. CHN, Theme 1: <i>Study functionality and safety of food ingredients relevant for human health. Subtheme 1b: Food safety and efficacy, allergy.</i> ■ Molecular crosstalk of Campylobacter with host under various conditions. CHN, Theme 1: <i>Study functionality and safety of food ingredients relevant for human health. Subtheme 1b: Food safety and efficacy, allergy.</i> ■ Toolbox preparation and utility concerning intestinal health. CHN, Theme 1: <i>Study functionality and safety of food ingredients relevant for human health. Subtheme 1b: Food safety and efficacy, allergy.</i> ■ Identification of new biomarkers for early natural TSE detection using a genome wide approach. CHN, Theme 4: <i>Develop and apply markers of exposure, bioavailability, function and risk.</i> 	<p>2002</p> <p>2003</p> <p>2002-2004</p> <p>2002-2004</p>	<p>EU</p> <p>?</p> <p>ID-Lelystad</p> <p>ID-Lelystad, LNV, anderen</p> <p>Externe partners</p>
<p>Instituut voor Agrotechnologisch Onderzoek - ATO</p>	<ul style="list-style-type: none"> ■ Metabolic profiling of functional and antimicrobial components in food crops. CHN, Theme 1: <i>Study functionality and safety of food ingredients relevant for human health. Subtheme 1a: Plants as producers</i> ■ Production of specific fatty acids and aromas via genetic engineering of the oil accumulating yeasts <i>Cryptococcus curvatus</i> and <i>Yarrowia lipolytica</i>. CHN, Theme 1: <i>Study functionality and safety of food ingredients relevant for human health. Subtheme 1a: Plants as producers.</i> ■ Functional analysis of genes involved in the synthesis, bioconversion and bioavailability of health-protective phytochemicals in Brassica vegetables. CHN, Theme 1: <i>Study functionality and safety of food ingredients relevant for human health. Subtheme 1a: Plants as producers.</i> 	<p>200-2005</p> <p>2001-2003</p> <p>2001-2005</p>	<p>EU-KP5</p> <p>EU-KP5</p> <p>?</p> <p>WU-Leerstoele Product Design and Quality Management (WU-PDQ)</p>

	<ul style="list-style-type: none"> ■ Effects of post harvest treatments, including minimal processing, on expression of nutritional and anti-nutritional factors in food crops. <i>CHN, Theme 1: Study functionality and safety of food ingredients relevant for human health. Subtheme 1a: Plants as producers.</i> ■ Genome-Wide Transcriptional Profiling of the food borne enterobacteria: <i>Escherichia coli</i> responses to stress. <i>CHN, Theme 1: Study functionality and safety of food ingredients relevant for human health. Subtheme 1c: Microbiology. 2000-2005</i> 	2001-2005 1998-2001	? ATO	
NIZO Food Research	<ul style="list-style-type: none"> ■ Nutrigenomics of the mucosal barrier against bacterial pathogens. <i>CHN, Theme 2: Clarify molecular mechanisms underlying health effects of food.</i> 	2002-2006	WCFS	RIKILT
Nutrition and Toxicology Research Institute Maastricht - NUTRIM	<ul style="list-style-type: none"> ■ Design of foods with improved functionality and superior health effects using cereal beta-glucans. <i>CHN, Theme 1: Study functionality and safety of food ingredients relevant for human health. Subtheme 1a: Plants as producers.</i> ■ Identification of mechanisms at the genomic level for protection against colon cancer by vegetables. <i>CHN, Theme 2: Clarify molecular mechanisms underlying health effects of food.</i> ■ Molecular adaptation of skeletal muscle to high-fat diet and exercise. <i>CHN, Theme 2: Clarify molecular mechanisms underlying health effects of food.</i> ■ Metabolic and molecular regulation of altered glucose metabolism in patients with COPD. <i>CHN, Theme 2: Clarify molecular mechanisms underlying health effects of food.</i> ■ Nutritional modulation of inflammatory processes in the pathology of atherosclerosis and inflammatory bowel 	200-2003 2001-2004 2001 - 2001-2005 2001-2002	EU-Postdoc AIO UD Postdoc, AIO AIO	

	<p>disease. CHN, Theme 2: Clarify molecular mechanisms underlying health effects of food.</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ Public health implications and mechanisms of action of functional foods enriched with plant sterol or stanol esters. CHN, Theme 2: Clarify molecular mechanisms underlying health effects of food. ■ Susceptibility to obesity in humans: unmasking genetic determinants. CHN, Theme 3: Study the impact of genotype in the relation of nutrition and human health. ■ Genetic susceptibility for prostate cancer in the Netherlands Cohort Study. CHN, Theme 3: Study the impact of genotype in the relation of nutrition and human health. ■ Risk factors, genetic predisposition and mutations in Von Hippel-Lindau-gene in sporadic renal cell carcinoma. CHN, Theme 3: Study the impact of genotype in the relation of nutrition and human health. ■ Dietary factors and APC and K-ras gene mutations in sporadic colorectal cancer. CHN, Theme 3: Study the impact of genotype in the relation of nutrition and human health. ■ Effects of polyunsaturated fatty acids (PUFA) modulation on inflammation and cachexia in patients with COPD. CHN, Theme 3: Study the impact of genotype in the relation of nutrition and human health. ■ Genetic predisposition, infections and lifestyle factors in the development of atopic disease: exposure in utero during early life. CHN, Theme 3: Study the impact of genotype in the relation of nutrition and human health. ■ Diet, gene expression, and postprandial disturbances in lipid metabolism and hemostatic function: impact of 	<p>2001-2006</p> <p>2001-2005</p> <p>2001-2003</p> <p>2002-2004</p> <p>1999-2003</p> <p>2001-2004</p> <p>2001-2006</p> <p>1998-2002</p>	<p>NWO, Postdoc AIO</p> <p>AIO</p> <p>Postdoc</p> <p>Nierstichting (AIO)</p> <p>KWF-project AIO</p> <p>AIO</p> <p>AIO</p> <p>NWO: AIO</p>	<p>RIVM</p> <p>NY University, TNO</p> <p>TNO</p> <p>TNO</p> <p>ExTra, TNO, RIVM, Louis Bolk Instituut, Friesland Dairy Foods</p> <p>RIVM, TNO-PG</p>		

	<p>adipocyte malfunction. CHN, Theme 3: <i>Study the impact of genotype in the relation of nutrition and human health.</i></p> <ul style="list-style-type: none"> ■ Genetic variation in diet-induced weight gain. CHN, Theme 3: <i>Study the impact of genotype in the relation of nutrition and human health.</i> ■ Nutrient-gene interaction in human obesity: implications for dietary guidelines. NUGENOB. CHN, Theme 3: <i>Study the impact of genotype in the relation of nutrition and human health.</i> ■ Polymorfismen in hemostasefactoren als determinanten van antitrombotische voedingsmiddelen. Een studie met obese proefpersonen en patiënten met een herseninfarct. CHN, Theme 3: <i>Study the impact of genotype in the relation of nutrition and human health.</i> ■ Relevance of genetic predisposition and lifestyle factors in the pathogenesis of type 2 diabetes mellitus and cardiovascular complications (DIALOG). CHN, Theme 3: <i>Study the impact of genotype in the relation of nutrition and human health.</i> ■ Lifestyle intervention-induced effects on disturbed skeletal muscle fatty acid utilization in impaired glucose tolerance: role of fatty acid transport proteins. CHN, Theme 3: <i>Study the impact of genotype in the relation of nutrition and human health.</i> ■ Een geïntegreerde genomicsaanpak voor de interactie tussen voedsel en darmgezondheid. 	<p>200-2004</p> <p>2001-2005</p> <p>2000-2004</p> <p>1999-2004</p> <p>1999-2004</p> <p>2001 -</p>	<p>NWO-Project-OIO</p> <p>EU-programma QLRT 200000-618 / OIO</p> <p>NWO-Voeding en chronische Ziekten/OIO</p> <p>NWO-DF / AIO</p> <p>DFN / AIO</p> <p>IOP-Genomics</p>	<p>RIVM</p> <p>TNO-PG</p> <p>CARIM, Vrije Universiteit, Erasmus Universiteit</p> <p>WU- Humane Voeding & Epidemiologie; WU-Laboratorium voor Microbiologie; RIKILT- Veiligheid en Gezondheid van Voedingsmiddelen; TNO-Voeding- Applied Micro</p>
--	--	---	--	---

<p>and Gene Technology , AMC- Anatomie & Embryologie en het Laboratorium voor Bio- informatica; TU Eindhoven - Biomedische Technologie; DSM, Unilever, Numico, FCDF, Nutreco en Campina Melkunie</p>				
<p>Plant Research International (PRI)</p>	<p>DWK</p> <p>EU-KP5, DWK</p> <p>EU KP5 + DWK + SEO (Twinning)</p> <p>SEO</p> <p>EU-KP5, DWK</p> <p>EU-KP5, DWK</p>	<p>2001-2002</p> <p>2001-2004</p> <p>2001-2004</p> <p>2001-2002</p> <p>2002-2003</p> <p>2001-2004</p>	<ul style="list-style-type: none"> ■ Controlling alkaloid-biosynthesis for human health. <i>CHN, Theme 1: Study functionality and safety of food ingredients relevant for human health. Subtheme 1: Plants as producers.</i> ■ Increase of the essential amino-acid content in potato. <i>CHN, Theme 1: Study functionality and safety of food ingredients relevant for human health. Subtheme 1a: Plants as producers.</i> ■ Healthy potatoes + Profood. <i>CHN, Theme 1: Study functionality and safety of food ingredients relevant for human health. Subtheme 1a: Plants as producers.</i> ■ HTP screening of glutins from wheat in relation to celiac-disease. <i>CHN, Theme 1: Study functionality and safety of food ingredients relevant for human health. Subtheme 1b: Food safety and efficacy, allergy.</i> ■ Functional characterization of allergy inducing genes from plants. <i>CHN, Theme 1: Study functionality and safety of food ingredients relevant for human health. Subtheme 1b: Food safety and efficacy, allergy.</i> ■ Health implications of non-nutrient antioxidants: bioavailability and coloncarcinogenesis. <i>CHN, Theme 2: Clarify molecular mechanisms underlying health effects of food. 2001-2002</i> 	<p>RIKILT, Unilever e.a.</p>

<p>Rijks- kwaliteitsinstituut voor land- en tuinbouw- producten - RIKILT</p>	<ul style="list-style-type: none"> ■ Transcriptome, proteome and metabolome analysis to detect unintended effects in genetically modified potato. <i>CHN, Theme 1: Study functionality and safety of food ingredients relevant for human health. Subtheme 1b: Food safety and efficacy, allergy.</i> ■ GMO CARE: New methodologies for assessing the potential of unintended effects in genetically modified food crops. <i>CHN, Theme 1: Study functionality and safety of food ingredients relevant for human health. Subtheme 1b: Food safety and efficacy, allergy.</i> ■ BIP: Novel bioinsecticides from insect parasitoids. <i>CHN, Theme 1: Study functionality and safety of food ingredients relevant for human health. Subtheme 1b: Food safety and efficacy, allergy.</i> ■ Effects of environmental stress on bacterial virulence and its applications for risk assessment in food. <i>CHN, Theme 1: Study functionality and safety of food ingredients relevant for human health. Subtheme 1c: Microbiology.</i> ■ The role of folic acid and vitamin B12 in colorectal carcinogenesis. <i>CHN, Theme 2: Clarify molecular mechanisms underlying health effects of food.</i> ■ Dietary Lignans: intake, bioavailability and molecular mechanisms. <i>CHN, Theme 2: Clarify molecular mechanisms underlying health effects of food.</i> ■ Safety of functional foods. <i>CHN, Theme 2: Clarify molecular mechanisms underlying health effects of food.</i> ■ Differences in gene expression in diet induced weight gain. <i>CHN, Theme 2: Clarify molecular mechanisms underlying health effects of food.</i> 	<p>2001-2004</p> <p>2000-2003</p> <p>2001-2004</p> <p>2001-2005</p> <p>2000-2004</p> <p>2001-2005</p> <p>2001 -</p> <p>2000-2004</p>	<p>FSA</p> <p>EU-KP5</p> <p>EU-KP5</p> <p>NWO (1 postdoc, 2 AIO'S)</p> <p>NWO: Voeding en Chronische Ziekten NWO</p> <p>LNV</p> <p>NWO</p>	<p>Partners UK</p> <p>Zes Europese onderzoeksinstituten</p> <p>RIVM, WU-Leerstoeelgroep Levensmiddelenhygiëne en –microbiologie</p> <p>WU-Nutepi</p> <p>WU-Nutepi</p> <p>RIVM, WU-Nutepi</p>
--	---	--	--	--

	<ul style="list-style-type: none"> ■ DLARFID: dietary lipids as risk factors in development. CHN, Theme 2: Clarify molecular mechanisms underlying health effects of food. ■ Dietary modulation of colon cancer risk. CHN, Theme 2: Clarify molecular mechanisms underlying health effects of food. ■ SAFOTEST: New methods for the safety testing of transgenic food. CHN, Theme 4: Develop and apply markers of exposure, bioavailability, function and risk. ■ Molecular detection and viability screening of non-cultivable food-borne viruses. CHN, Theme 4: Develop and apply markers of exposure, bioavailability, function and risk. 	2002-2005 1999-2004 2000-2004	EU-KP5 WCFS EU-KP5	Maastricht Universiteit NIZO food research
Rijksinstituut voor volksgezondheid en milieu (RIVM-CZE)	<ul style="list-style-type: none"> ■ Combined impact of lifestyle and genetic susceptibility on risk of Type 2 diabetes mellitus. CHN, Theme 3: Study the impact of genotype in the relation of nutrition and human health. ■ Lifestyle and lipid genes and the risk of coronary heart disease. CHN, Theme 3: Study the impact of genotype in the relation of nutrition and human health. ■ Gene-environment interactions in diabetes and its cardiovascular complications. CHN, Theme 3: Study the impact of genotype in the relation of nutrition and human health. ■ Contribution of genetic variation to diet induced weight gain: epidemiological perspective. 	2001-2002 1999-2002 1999-2003	NHS / AIO NHS / Postdoc NWO / DFN	Nestlé, Erasmus Universiteit, RIKILT RIVM-LEO, NUTRIM RIVM-LEO CARIM, NUTRIM, VU EMGO, Erasmus Universiteit
RIVM – Centrum voor chronische ziekten epidemiologie (RIVM-CZE)	<ul style="list-style-type: none"> ■ Obesity and weight loss: biological pathways. CHN, Theme 2: Clarify molecular mechanisms underlying health effects of food. 	1998-2003 2001-2004	NWO-Voeding en chronische ziekten: project Postdocs	
RIVM - Laboratorium voor effectenonderzoek (RIVM-LEO)				

	<ul style="list-style-type: none"> ■ Gene-diet interactions in colon cancer. <i>CHN, Theme 3: Study the impact of genotype in the relation of nutrition and human health.</i> ■ Expression and activity of lipid mediators in colorectal cancer: analysis of gene-diet interactions in tumor formation and progression. 	2000-2003	NWO / AIO	Leiden Universitair Medisch Centrum: Humane Genetica
TNO-Preventie en Gezondheidszorg (TNO-PG)	<ul style="list-style-type: none"> ■ Genetic variation in bile acid metabolism and the response to dietary fat. <i>CHN, Theme 3: Study the impact of genotype in the relation of nutrition and human health.</i> 	2000-2004	NWO / OIO	WU-Nutepi
■ Gaubius laboratorium	<ul style="list-style-type: none"> ■ Modulation by diet of atherosclerosis and atherothrombotic risk against the background of genetic variation in inflammatory disease. ■ Genetic variation in bile acid metabolism and the response to dietary fat. 	1999-2004 2000-2004	NWO-Voeding en chronische ziekten NWO-Voeding en chronische ziekten	Erasmus Universiteit Rotterdam: Epidemiologie en Biostatistiek Wageningen Universiteit: Humane Voeding en Epidemiologie
TNO-Voeding	<ul style="list-style-type: none"> ■ Nutrient-gen interacties in the colon. <i>CHN, Theme 2: Clarify molecular mechanisms underlying health effects of food.</i> ■ Development of methods for the assessment of the health effects from mixtures of food additives. <i>CHN, Theme 2: Clarify molecular mechanisms underlying health effects of food.</i> ■ FFACC: Functional food against colon cancer - Development of a genomics and proteomics based screening assay. <i>CHN, Theme 4: Develop and apply markers of exposure, bioavailability, function and risk.</i> 	2000-2003 2001-2005 2000-2002	AIO FSA EU-KP5	WU-Tox RIKILT
Wageningen Centre for Food Science – WCFS	<ul style="list-style-type: none"> ■ In situ gene expression of Lactobacillus in the GI tract. <i>CHN, Theme 1: Study functionality and safety of food ingredients relevant for human health. Subtheme 1c: Microbiology.</i> 	2000-2004	AIO	WU-Micro

Bijlage 3

**Overzicht onderzoeksprogramma's
voedingsgenomics in de Verenigde
Staten, Verenigd Koninkrijk, Frankrijk
en Denemarken**

	Plant Biological and Molecular Processes	Fundamenteel onderzoek naar planten voor grotere productiviteit van gewassen, hogere kwaliteit en veiligheid van voedsel, verbeterde bescherming tegen ziekten en duurzame methoden om het milieu te beschermen.	Totaal 2003 voor Plant Sciences: € 327,22 m
	Crop Production	Het ontwikkelen en verspreiden van kennis over economische en duurzame teelt van gewassen.	Totaal 2003 voor Plant Sciences: € 327,22 m
<ul style="list-style-type: none"> ■ Deel van REE: Co-operative State Research, Education and Extension Services ■ Deel van REE: Co-operative State Research, Education and Extension Services ■ Deel van REE: Co-operative State Research, Education and Extension Services 	National Integrated Food Safety Initiative (extramuraal onderzoek)	Slechts klein gedeelte voor toegepast onderzoek, rest voor educatie en informatievoorziening.	2002: € 12,09 m
	National Research Initiative (extramuraal onderzoek)	Voedsel, voedingswaarde en voedselveiligheid. Planten.	2002 € 14,23 m 2002 € 32,9 m
<ul style="list-style-type: none"> ■ Deel van REE: Co-operative State Research, Education and Extension Services 	Gezamenlijk programma van CSREES en ARS (extramuraal onderzoek)	'Biotechnology Risk Assessment Research Grants Program'.	2002 € 1,33 m
National Institutes of Health (NIH) (www.nih.gov)			
<ul style="list-style-type: none"> ■ National Institute of Diabetes & Digestive & Kidney Diseases ■ National Cancer Institute 	Afdeling 'Digestive Diseases and Nutrition' (extramuraal onderzoek) Afdeling Cancer Prevention: Nutritional Science Research Group (extramuraal onderzoek)	Nutriënten metabolisme; zwaarlijvigheid en eetstoornissen. <ul style="list-style-type: none"> ■ 'Nutritional modulation of genetic pathways leading to cancer'. ■ 'Molecular targets for nutrients in prostate cancer prevention'. ■ 'Nutritional modulation of genetic pathways leading to cancer'. 	2003 totaal: € 340,07 m 2003: totaal € 4,71 m 2003: totaal € 2,22 m 2001: totaal € 533.520
National Science Foundation (www.nsf.gov) Biologie	Genes and the environment (inclusief voeding) Biologie	Een van de wetenschappelijke prioriteiten in kankeronderzoek: 'NCI's Extraordinary Opportunities'.	2003: totaal € 49,35 m
		<ul style="list-style-type: none"> ■ 'Plant Genome Research Programme'. ■ 'Molecular and Cellular Biosciences'. 	Totaal Biologie 2003: € 467,38 m 2003: € 66,69 m ?

Department of Defense: Defense Advanced Research Projects Agency (DARPA) (www.arpa.gov)	Geen programma's voor voedingsgenomics		
Food and Drug Administration FDA (www.fda.gov)	National Center for Toxicological Research Center for Food Safety and Applied Nutrition	Intramuraal onderzoek. Intramuraal onderzoek.	2003: € 37,95 m 2003: € 136,45 m

Wisselkoers 24 april 2002: 1 Amerikaanse dollar = € 0,8892

Overzicht voedingsgenomicsprogramma's Verenigd Koninkrijk

Organisatie	Programma	Omschrijving	Budget (m is miljoen)
<p>Department of Trade & Industry (www.dti.gov.uk)</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ Office of Science & Technology >> Research Councils >> ■ The Biotechnology and Biological Sciences Research Council (BBSRC) (www.bbsrc.ac.uk) 	<p>Agrifood Committee</p>	<ul style="list-style-type: none"> ■ Thema's: Diet & Health; Control of Foodborne Pathogens; Processed Food Quality. ■ Prioriteiten: Biology of Foodborne Pathogens; Biology of the Gastrointestinal Response to Food; Control of Food Structure and Organoleptic Properties; Diet: Immune Function Interactions. 	<p>2000/2001</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ € 5,8 m ■ € 3,78 m <p>1999/2000</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ € 2,9 m
<ul style="list-style-type: none"> ■ The Medical Research Council (www.mrc.ac.uk) 	<p>Institute of Food Research Ondersteuning Universiteiten Belangrijk gebied:</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ Medical Physiology and Disease Processes and Nutrition ■ Dunn Human Nutrition Unit ■ Resource Centre for Human Nutrition Research ■ Toxicology unit ■ Environmental Epidemiology unit 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Ondersteuning universiteiten. 	<ul style="list-style-type: none"> ■ € 4,78 m ■ € 4,04 m
<ul style="list-style-type: none"> ■ Andere research councils 	<p>Geen programma's voor voedingsgenomics</p>		<ul style="list-style-type: none"> ■ € 558.790 ■ € 232.560

DTI: LINK Collaborative Research (www.dti.gov.uk/ost/link/info.html)	<ul style="list-style-type: none"> ■ Eating, Food and Health Link Programma ■ Food Quality and Safety Link Programma 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Gezamenlijk ondersteund door BBSRC en Economic and Social Research Council. ■ Gezamenlijk ondersteund door DEFRA and BBSRC. 	<p>€ 3,23 m in 5 jaar</p> <p>€ 9,69 m in totaal</p>
Department for Environment, Food, and Rural Affairs (largely former MAFF) (www.defra.gov.uk)	Geen programma's voedingsgenomics; spon-sort LINK programma's		
Department of Health (www.doh.gov.uk)	Geen programma's voor voedingsgenomics		
Food Standards Agency (www.foodstandards.gov.uk)	<ul style="list-style-type: none"> ■ Food Allergy Programma ■ Voeding ■ Veiligheid Novel Foods: assessment & assessmentmethoden 	Contractonderzoek, geen subsidies.	<p>Totaal in 2000/2001: € 33,92 m voor onderzoek en € 9,69 m voor surveys</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ 23 projecten, totaal € 1,6 m in 2001/2002 ■ 25% van budget ■ € 2,42 m
Wellcome Trust	Geen voedingsgenomics-programma's		

Wisselkoers 24 april 2002: 1 Pond Sterling = € 1,6150

Overzicht voedingsgenomics programma's Frankrijk

Organisatie	Programma	Omschrijving	Budget (m. is miljoen)
Ministry of Research www.recherche.gouv.fr <ul style="list-style-type: none"> ▪ Incentive Concerted Actions (ACI) and Programmes 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Genomics 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Genoscope: National Sequencing Centre ▪ Genotype: National Genotyping Center ▪ Infobiogen: bioinformatics ▪ Evry Genopole en het netwerk van Genopoles ▪ Genoplante: een plant-genomicsprogramma ▪ Genopole Montpellier: sequencing en functional analysis van rijst en Drosophila ▪ Genopole Toulouse: Plant genoom functional analysis gericht op host-symbiont relaties 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Genoplante: € 200 m voor 5 jaar
Institut National de la Recherche Agronomique (INRA) www.inra.fr	Afdeling: Voeding en voedselveiligheid	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Gewichtsbeheersing en eetpatronen ▪ Preventieve voeding voor chronische aandoeningen gedurende het ouder worden ▪ Cardiovasculaire aandoeningen ▪ Osteoporosis ▪ Afname spierkracht ▪ Membraancellenlipiden en het centrale zenuwstelsel ▪ Voeding en risico op kanker ▪ Voedselveiligheid 	

Ministry of Food, Agriculture and Fisheries (www.fvm.dk)	<ul style="list-style-type: none"> ■ Biotechnology in Food Research (1999-2004) 	Dit programma promoot het gebruik van moleculaire en celbiologie in voedingsonderzoek. Het doel is een biotechnologische input voor een hogere kwaliteit en veiligheid in de productie van voeding.	Totaal € 8,47 m inclusief € 1,34 m voor visserij
Danish National Research Foundation (www.dg.dk)	<ul style="list-style-type: none"> ■ Support voor centres of excellence 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Danish Centre for Experimental Parasitology (€ 1,34 m 1998-2003). ■ Center for Biological Sequence Analysis (€ 940.000 jaarlijks 1998-2003). ■ Centre for Plant-Microbe Symbiosis (€ 645.000 jaarlijks 1998-2002). ■ Center for Molecular Plant Physiology (€ 1 m jaarlijks 1998-2002). ■ Center for Experimental Bioinformatics (€ 940.000 jaarlijks 1998-2002). <p>Nieuwe centra:</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ Centre for Quantum Protein. ■ Wilhelm Johannsen Centre for Functional Genome Research. 	Financieert voor 2% van het jaarlijkse Deense onderzoeksbudget

Wisselkoers 24 april 2002: 1 Deense kroon = 0,1345

Bijlage 4

Issues in de maatschappelijke discussie over biotechnologie en voedsel

Ter voorbereiding op de interviews met de voedingsgenomicsonderzoekers is een analyse gemaakt van de maatschappelijke discussie over biotechnologie en voedsel. Voor de goede orde: deze discussies gingen niet zozeer over biotechnologie, maar vooral over het gebruik van de genetische modificatietechniek.

Veel van de personen/organisaties die zijn betrokken bij de ontwikkeling van genetisch gemodificeerd voedsel, functional foods en de maatschappelijke discussie daarover, zullen dezelfde zijn als bij voedingsgenomics. Daarom mag worden verwacht dat bepaalde maatschappelijke issues en de achterliggende visies die in de discussie over biotechnologie en voedsel naar voren zijn gebracht, ook bij voedingsgenomics aan de orde kunnen komen.

We hebben het volgende materiaal bijeengebracht en geanalyseerd: publicaties inzake de maatschappelijke discussie over biotechnologie en voedsel, publicaties die in die discussie gebruikt zijn, informatie van degenen die bij deze discussie waren betrokken en de desbetreffende organisaties. De issues die we hebben gevonden zijn in zes generieke thema's ondergebracht: veiligheid, keuzevrijheid, voedingscultuur, macht in de keten, verantwoordelijkheid van de wetenschap, bedrijven en overheid, en ethische vraagstukken.

We definiëren maatschappelijke thema's als 'generieke onderwerpen waarvoor ingrijpen van de overheid of andere publieke instanties gewenst is en die, vanwege de complexiteit van de problematiek en de vele tegengestelde meningen, voor een langere tijd onder de aandacht staan van politiek en maatschappij'. Voorbeelden van maatschappelijke thema's zijn veiligheid of globalisering. Maatschappelijke issues definiëren we als 'concrete uitingen van maatschappelijke problemen die voor korte tijd in de publieke belangstelling staan, daarmee een breder maatschappelijk thema (weer) onder de aandacht brengend, maar die uiteindelijk ook, bijvoorbeeld door gebrek aan media-aandacht, weer naar de achtergrond verdwijnen'. Voorbeelden van issues zijn bepaalde ongelukken die het thema veiligheid weer onder de aandacht brengen of uit de hand gelopen rellen van anti-globalisten die

de discussie rondom de globaliseringstendens een nieuwe impuls geven.

Thema: veiligheid

Issue: voedselveiligheid

Een van de meestbesproken issues is de veiligheid van ons voedsel. Eigenlijk zijn alle partijen het erover eens dat de veiligheid van voeding vooropstaat. Het verschil van mening betreft vooral hoe veel risico rondom voedselveiligheid acceptabel is. De bedrijven zijn van mening dat producten waarbij gegronde twijfel over de veiligheid bestaat, niet op de markt gebracht mogen worden. Tegelijkertijd merken ze op dat het onmogelijk is om risico's volledig uit te sluiten (zie bijvoorbeeld www.niaba.nl; www.europabio.org; www.efbweb.org). De samenleving zal daarom de risico's tegen de voordelen moeten afwegen. Vooral natuur- en milieuorganisaties en consumentenorganisaties eisen volledige zekerheid over de veiligheid van het voedsel. Ze zijn van mening dat er tot nu toe te weinig kennis is om de mogelijke (langetermijn)risico's van nieuwe voedingsmiddelen voor de gezondheid goed te kunnen inschatten (zie bijvoorbeeld www.consumentenbond.nl; www.voedingscentrum.nl).

Daar komt bij dat consumenten niet gewend zijn te denken in termen van risico's. Daarom zullen zij altijd absolute zekerheid eisen (Stichting Consument en Biotechnologie 2001).

Issue : gevolgen van moderne biotechnologie op het milieu

Een belangrijk punt van discussie is het gevolg van moderne biotechnologie voor het milieu. De verschillende partijen zijn het niet eens over het nut en de gevolgen van moderne biotechnologie op dit gebied. Enerzijds is de industrie van mening dat moderne biotechnologie kan bijdragen aan een beter milieu, bijvoorbeeld doordat er minder onkruidverdelgers hoeven te worden gebruikt (zie bijvoorbeeld www.niaba.nl). Anderzijds vrezen milieuorganisaties dat introductie van nieuwe 'ge-engineerde' gewassen de van nature aanwezige gewassen kunnen verdringen en daarmee de biodiversiteit in gevaar kunnen brengen (zie bijvoorbeeld www.greenpeace.nl).

Issue: aansprakelijkheid

Dit issue wordt op dit moment nog niet breed bediscussieerd, maar wordt langzamerhand wel steeds belangrijker. Verschillende partijen zijn van mening dat er te weinig aandacht is om de aansprakelijkheid te regelen (Adviesraad voor Wetenschaps- en Technologiebeleid 2001).

Door gebrek aan kennis over de mogelijke effecten van moderne biotechnologie op de lange termijn is er veel onduidelijkheid over de verantwoordelijkheid en aansprakelijkheid voor de bekende en onbekende risico's en de mogelijk negatieve gevolgen. Aansprakelijkheid heeft in dit verband vooral betrekking op de vraag wie aansprakelijk gesteld kan worden voor deze onbekende, nog niet te voorziene negatieve effecten van moderne biotechnologie.

Thema: keuzevrijheid

Issue: keuzevrijheid

Dit is een veelbesproken issue in relatie tot zo ongeveer alles wat de consument aangaat. Keuzevrijheid wordt echter vooral ook besproken in relatie tot voeding. Keuzevrijheid voor de consument houdt in dat de consument zelf kan beslissen over zijn voedingspatroon: de consument kiest zelf de voedingsmiddelen die hij wel of niet tot zich wil nemen. Ook het eindrapport van de Commissie Biotechnologie en Voedsel (Commissie-Terlouw) over het debat *Eten en Genen* concludeert dat keuzevrijheid gegarandeerd moet zijn (Tijdelijke Commissie Biotechnologie en Voedsel 2001).

In principe zijn alle partijen het erover eens dat consumenten keuzevrijheid moeten hebben. De meningen verschillen vooral over de manier waarop de keuzevrijheid gegarandeerd kan worden. De industrie is van mening dat die keuzevrijheid geregeld wordt door etikettering van de producten, een goede informatievoorziening door de bedrijven zelf, de overheid en diverse maatschappelijke organisaties, en door het aanbod van producten die niet met behulp van voedingsgenomics zijn ontwikkeld (zie bijvoorbeeld www.projectgroepbiotechnologie.nl; www.niaba.nl; www.voedingsindustrie-vai.nl).

De consumentenorganisaties en andere maatschappelijke organisaties zijn echter van mening dat die keuzevrijheid beperkt is. Volgens deze organisaties geven bedrijven geen volledige informatie, zijn controle-systemen ondoorzichtig en nog niet voldoende uitontwikkeld om keuzevrijheid te garanderen. Verder bestaat bij deze organisaties de vrees dat door de macht van *life sciences multinationals* het aanbod van producten, die zonder behulp van voedingsgenomics zijn ontwikkeld, afneemt (zie bijvoorbeeld www.consumentenbond.nl; www.gen-techdebat.nl).

De discussie rondom keuzevrijheid kan ook betrekking hebben op verdere consequenties van de vrijheid om te kiezen wat men wel of niet eet. Keuzevrijheid kan ook betekenen dat de consument de vrijheid heeft om te beslissen een bepaald gezondheidsbevorderend of preventief dieet met *functional foods* niet te volgen, wat dus de kans

op aandoeningen kan vergroten. De vraag is dan of deze vorm van keuzevrijheid door bijvoorbeeld verzekeringsmaatschappijen als een verhoogd of onverantwoord risico wordt aangemerkt, waardoor burgers meer premie moeten betalen of geen recht meer hebben op specifieke medische hulp. Aansluitend hierop kan de vraag gesteld worden welke gevolgen dit heeft voor de maatschappelijke lasten voor de gezondheidszorg. Een ander belangrijk punt is in hoeverre voor iedereen een gelijke mate van keuzevrijheid geldt. Het is denkbaar dat nieuwe voedingsmiddelen wegens de prijs alleen beschikbaar zijn voor rijke(re) consumenten (Stichting Consument en Biotechnologie 2001).

Issue: informatievoorziening

Dit issue hangt nauw samen met het issue keuzevrijheid. Alle partijen zijn van mening dat een goede informatievertrekking onontbeerlijk is om de consumenten keuzevrijheid en zekerheid te bieden. De discussie gaat dan ook niet over de wenselijkheid van informatieverstrekking, maar wel over de wijze waarop dit het beste kan gebeuren. Consumentenorganisaties, maar ook overige maatschappelijke organisaties, willen volledige zekerheid en keuzevrijheid met betrekking tot hun voeding en willen dan ook dat bedrijven openheid van zaken geven over hun dagelijkse activiteiten. Daarnaast moeten etiketten volledige informatie geven over alle gebruikte ingrediënten. Als het product als *functional foods* aangemerkt kan worden, moet helder zijn voor wie het product geschikt is en in welke hoeveelheden het gebruikt kan worden (Stichting Consument en Biotechnologie 2001).

Verder zijn de consumentenorganisaties van mening dat ook de overheid een belangrijke taak heeft in het informeren van burgers over voeding. De overheid dient onafhankelijke en duidelijke informatie te geven over gezonde voedingspatronen, de functie van *functional foods* daarin en de mogelijke risico's die daarmee samenhangen. De grote vraag is of extra informatie de onzekerheid wegneemt, of dat door de extra informatie mensen meer moeite hebben om die informatie te beoordelen. Verder is het de vraag of die extra informatie alleen door de bedrijven en overheid gegeven moet worden, of dat een onafhankelijke instantie daarvoor beter geschikt is, omdat het meer vertrouwen van de consument geniet (Stichting Consument en Biotechnologie, 2001).

Issue: kloof tussen consument en producent

De discussie over keuzevrijheid en informatievoorziening hangt voor een deel samen met een steeds groter wordende kloof tussen consument en producent. De productie van voedsel komt steeds verder af te staan van de consument. Door onder andere de groeiende invloed van de wetenschap op de productie van voeding is het voor de consument steeds lastiger om alles te weten van de wijze waarop hun voedsel

wordt geproduceerd. Daardoor maken de consumenten zich zorgen over de kwaliteit en veiligheid van hun voedsel, zijn ze angstig voor onbekende nieuwe ontwikkelingen zoals voedingsgenomics, en hebben ze vaak weinig vertrouwen in de producenten. Tegelijkertijd lijkt de voedingsmiddelenindustrie moeite te hebben met informatie verschaffen over de wijze waarop voedsel geproduceerd wordt, wat de voordelen van voedingsgenomics kunnen zijn en wat ze doen om de risico's te beperken. Dit vergroot het wantrouwen van de consumenten (Schuttelaar & Partners 2001). De vraag is dan ook hoe het vertrouwen van de consument in de producenten van voeding herwonnen kan worden.

Thema: voedingscultuur

Issue: sociaal-culturele betekenis voeding

Door de mogelijkheden die voedingsgenomics biedt en een toenemend gezondheidsbewustzijn van de consument komt de nadruk bij voeding steeds vaker op gezondheid te liggen. Voeding heeft echter ook een sociale betekenis. Gezamenlijk de maaltijd nuttigen bevordert de cohesie binnen het gezin, maar ook binnen organisaties. Een overdaad aan voeding staat in sommige culturen voor gastvrijheid. Daarnaast wordt voeding ook gebruikt om zich van de ander te onderscheiden: 'je bent wat je eet'. De vraag is in hoeverre de toenemende nadruk op gezondheid en medicalisering van voeding gevolgen heeft voor de sociale betekenis van voeding. Zal de nadruk inderdaad op gezondheid komen te liggen en zal daar zelfs een moraliserende werking van uitgaan? Of zal de consument de culturele en sociale aspecten van voeding belangrijker vinden en *functional foods* slechts als aanvulling gebruiken (Stichting Consument en Biotechnologie 2002)?

Issue: beïnvloeding gedrag consument

Een ander belangrijk issue is de invloed van voedingsgenomics op de levenswijze en het dieet van de consument. Het is denkbaar dat consumenten nieuwe voedingsmiddelen als aanvulling op een al gezond dieet zien, maar het is ook mogelijk dat ze worden gebruikt als vervanging van slechte voedingsgewoonten. Onderzoekers, diëtisten, artsen en consumentenorganisaties beschouwen de eerste ontwikkeling als wenselijk, maar er is een reële kans dat de tweede geschetste mogelijkheid werkelijkheid wordt. Veel consumenten zijn op de hoogte van de voorwaarden voor goede voeding, maar hun gedrag komt niet altijd overeen met hun kennis. De vraag is hoe en door wie de consument het beste gestimuleerd kan worden om zich aan een voor hem of haar gezond eetpatroon te houden, en waarbij nieuwe voedingsmiddelen gebruikt worden als aanvulling en niet ter vervanging (www.consumentenbond.nl; Stichting Consument en Biotechnologie 2002; Schuttelaar & Partners 2001).

Thema: macht in de keten

De laatste decennia is de positie van de verschillende actoren in de voedingsketen drastisch veranderd. Een proces van ketenomkering heeft grote gevolgen gehad voor de positie van de verschillende actoren in de voedingsketen. In het verleden bepaalde de boer welke landbouwproducten op welke wijze werden geproduceerd en op de markt werden gebracht. Tegenwoordig ligt deze rol steeds meer bij de voedingsmiddelenproducenten en de retailers; mede door de wensen van de consument bepalen zij nu welke producten in het schap komen te liggen en hoe die producten geproduceerd worden.

Issue: rol multinationals

De laatste jaren zijn enkele grote *life sciences companies* ontstaan, vooral doordat grote agrochemical bedrijven, maar ook farmaceutische bedrijven, zaadbedrijven hebben opgekocht. Deze grote *life sciences multinationals* hebben een groot gedeelte van de wereldmarkt voor gewassen in handen. Maatschappelijke organisaties hebben hier nogal hun bedenkingen over en zij brengen de toenemende macht van multinationals als negatief issue naar voren (zie bijvoorbeeld www.gentechdebat.nl; www.southernvoices.nl).

Multinationals investeren vooral in de belangrijkste en grootste gewassen, zoals rijst, maïs en graan. Aan andere, minder grote gewassen, die bijvoorbeeld voor derdewereldlanden erg belangrijk zijn, besteden deze bedrijven minder aandacht. Dit kan de mate van variëteit van gewassen beïnvloeden en de afhankelijkheid van enkele gewassen groter maken. Daarnaast brengen maatschappelijke organisaties het bezwaar naar voren dat steeds vaker bedrijven zelf onderzoek uitvoeren en publieke onderzoeksinstellingen steeds minder. Dit kan een eenzijdige focus in het onderzoek en een beperkte publieke toegankelijkheid van kennis veroorzaken.

Issue: intellectual property rights

De rol van multinationals is gelieerd aan de beschermingstrategieën van *life sciences* bedrijven. In plaats van het kwekersrecht gebruiken *life sciences* bedrijven patenten om hun vindingen inzake nieuwe plantenrassen te beschermen en om mogelijke opbrengsten zeker te stellen. De industrie is van mening dat het gebruik van patenten de enige manier is om investeringen in R&D terug te verdienen. Dit is nodig om nieuwe producten te ontwikkelen. De maatschappelijke organisaties denken daar anders over. Ze vrezen dat de patenten de bedrijven (te) veel macht geven over de verdere voedselketen, de boeren en de ontwikkelingslanden. Boeren worden afhankelijker en de bedrijven bepalen welke producten voor wie beschikbaar worden. Daarnaast zouden de bedrijven alleen onderzoek uitvoeren dat voor

hen zelf interessant is (zie bijvoorbeeld www.niaba.nl; www.southern-voices.nl; Stichting Consument en Biotechnologie 2002).

Issue: positie van de boer

Boeren worden dus naar verwachting steeds afhankelijker van zowel producenten als het grootwinkelbedrijf. Door patenten krijgen de boeren te maken met een strengere bescherming van het intellectueel eigendom op gewassen. Hierdoor kunnen boeren niet zelf meer zaad opslaan en dat een volgend jaar gebruiken, maar moeten ze elk jaar opnieuw zaaigoed kopen. Boeren kunnen daardoor steeds afhankelijker worden van de (grote) bedrijven die de gewassen aanleveren (zie bijvoorbeeld www.gentechdebat.nl; Stichting Consument en Biotechnologie 2002). De industrie is van mening dat boeren zelf kunnen kiezen welke gewassen ze telen. De vrees bestaat dat dit steeds moeilijker wordt, omdat in toenemende mate gewassen beschermd worden door patenten. Mede door de ontkoppeling tussen landbouwproducten en voedselproducten en de toenemende verwetenschappelijking van het productieproces, verschuift de invloed in de productieketen van de boeren naar de voedingsconcerns. Daarnaast krijgen grootwinkelbedrijven steeds meer macht. Ze bepalen in toenemende mate welk voedsel in de winkel komt te liggen en stellen ook steeds meer eisen aan de wijze van productie. De boer wordt zo steeds meer een toeleverancier die op bestelling zijn producten aanlevert. Deze ketenomkering kan de afhankelijkheid van de boer verder vergroten (Kok en Schouten 2001; Brouwer en Bijman 2001; Rathenau Instituut 2001).

Issue: Derde Wereld

In aansluiting op eerder genoemde issues moet ook de problematiek van ontwikkelingslanden genoemd worden. Zowel de industrie als internationale organisaties zoals de Wereldvoedselorganisatie van de VN (FAO) stellen dat moderne biotechnologie een belangrijke oplossing is voor het wereldvoedselprobleem (zie bijvoorbeeld www.fao.org: Human Development Report 2001; www.niaba.nl).

Moderne biotechnologie kan helpen de opbrengsten te vergroten, plagen te bestrijden en meer voedsel op de juiste plek te produceren. Maatschappelijke organisaties brengen daar tegen in dat het wereldvoedselprobleem vooral een probleem van verdeling is: moderne biotechnologie is hiervoor geen oplossing (zie bijvoorbeeld www.southernvoices.nl; www.gentechdebat.nl). Verder vrezen deze organisaties dat de kleine boeren in ontwikkelingslanden nog afhankelijker worden van de grote bedrijven. Daarnaast kan de variëteit van gewassen in ontwikkelingslanden verloren gaan en kunnen kennis en middelen ontbreken om überhaupt op een goede (en veilige) manier met genetische modificatie om te gaan.

Thema: verantwoordelijkheid van overheid, bedrijven en wetenschap

Issue: wetgeving en toezicht door de overheid

Overheidstoezicht speelt een belangrijke rol in een groot aantal issues dat hierboven aan de orde is gesteld. De overheid heeft de taak wet- en regelgeving op te stellen en hierop toezicht te houden. Daarnaast wordt informatieverstrekking aan consumenten als een belangrijke taak gezien. Volgens de verschillende partijen is overheidstoezicht ook nodig voor het consumentenvertrouwen. Strenge, onafhankelijke en waterdichte controlesystemen, bijvoorbeeld door een onafhankelijke voedselautoriteit, kunnen veiligheid en keuzevrijheid garanderen. Daardoor kan het vertrouwen van de consument worden vergroot. Welke vorm dit overheidstoezicht moet krijgen, is dan vaak punt van discussie. Zo speelt de discussie onder welke regulering de nieuwe voedingsmiddelen moeten vallen. Moeten de nieuwe voedingsmiddelen als medicijnen, als voedingsmiddelen of als een aparte groep behandeld worden? En welke eisen moeten dan aan die nieuwe voedingsmiddelen worden gesteld (Stichting Consument en Biotechnologie 2002)?

Issue: claims

Een bijzonder punt van discussie is het gebruik van medische of gezondheidsclaims van zogenoemde nieuwe voedingsmiddelen. De lancering van nieuwe voedingsmiddelen gaat vaak gepaard met verschillende gezondheids- of zelf medische claims. Vaak worden er claims aan bepaalde producten toegekend die niet hard gemaakt kunnen worden. Het wetenschappelijk bewijs daarvoor ontbreekt. De discussie rondom claims heeft vooral betrekking op vragen of claims vermeld kunnen worden op de verpakking en in advertenties, aan welke voorwaarden die claims moeten voldoen, hoe misleiding kan worden voorkomen en hoe het gebruik van claims gereguleerd moet worden (Stichting Consument en Biotechnologie 2002; Schuttelaar & Partners 2001).

Issue: maatschappelijk ondernemen

Opvattingen in de samenleving over de rol en verantwoordelijkheid van bedrijven veranderen. Ging het vroeger om productie en financiële winst, tegenwoordig wordt ondernemen als een maatschappelijke activiteit beschouwd, waarbij bedrijven geacht worden zorgvuldig en respectvol om te gaan met hun omgeving. Het maatschappelijk ondernemen wordt vooral gestimuleerd door de stem van de kritische consument via verschillende maatschappelijke organisaties. Een van de vragen die hierbij gesteld kan worden is waarom bedrijven maatschap-

pelijk ondernemen. Doen zij dit vanuit een bepaalde overtuiging, of is het meer een vorm van reputatiemanagement? De roep om maatschappelijk ondernemen is groot, maar maatschappelijk ondernemen gaat niet vanzelf. Vaak nog leggen de bedrijven de nadruk op de kortetermijnbelangen van aandeelhouders. Verschillende partijen zien dan ook een stimulerende rol weggelegd voor de overheid. De vraag is evenwel hoe die ingevuld moet worden. Moet de overheid maatschappelijk ondernemen afdwingen met behulp van wet- en regelgeving? Of moet de overheid maatschappelijk gedrag stimuleren door goed gedrag te belonen of door gebruik van gedragscodes te bevorderen (Schuttelaar & Partners 2001)?

Issue: onafhankelijkheid wetenschap

Veel voedingsgenomicsonderzoek in publieke onderzoeksinstituten wordt gefinancierd door life sciences bedrijven. Onderzoekers zijn dan ook in toenemende mate afhankelijk van de geldstroom van deze bedrijven. Enerzijds kan een onderzoeker zijn onafhankelijkheid in gevaar brengen door het onderzoek door bedrijven te laten financieren. Anderzijds kan zijn streven naar volledige wetenschappelijke onafhankelijkheid ervoor zorgen dat hij zijn onderzoek niet gefinancierd krijgt. De vraag is op welke manier de onderzoeker zijn onafhankelijkheid kan bewaren.

Thema: ethische vraagstukken

Issue: moreel verantwoord?

Een metavraag die in de verschillende debatten wel eens op de achtergrond raakt, is de vraag of het op zich moreel aanvaardbaar is om steeds verder in te grijpen in de loop der natuur. Willen we wel weten hoe onze genen in elkaar zitten, welke gezondheidsrisico's we lopen en hoe we daar onze voeding op kunnen aanpassen? Willen we wel een verdergaande vertechnisering van de productie van ons voedsel? Het gaat hierbij ook om de fundamentele vraag of we altijd alles moeten doen wat technologisch mogelijk is. Een andere vraag is of het nog nuttig is om deze metavraag te stellen. Is de moderne biotechnologie niet al zo ver in onze maatschappij doorgedrongen dat het geen nut heeft om over deze metavraag te spreken? Zo ja, moet het debat dan gaan over de grenzen en de voorwaarden waaronder moderne biotechnologie toegepast kan worden?

Issue: dierenwelzijn

Bij de discussie rondom moderne biotechnologie in het algemeen speelt het issue dierenwelzijn. Er is veel discussie over de inzet en het gebruik van dieren als productiedieren of als proefdieren. De vraag

hierbij is in hoeverre het moreel aanvaardbaar is om dieren als proef- of productiedier voor ons welzijn in te zetten (zie bijvoorbeeld www.dierenbescherming.nl; www.dierproefvrij.nl).

Literatuur

Adviesraad voor Wetenschaps- en Technologiebeleid (2000). 'Brief aan de ministers van OCenW, EZ, VWS over maatschappelijke aspecten van ontwikkelingen in de humane genetica'. Februari 2001.

Brouwer, F. & J. Bijman (2001). *Dynamics in crop protection, agriculture and the food chain in Europe*. Den Haag: Landbouw-Economisch Instituut.

Kok, F. & E. Schouten (2001). 'NutriGenomics, nieuwe mogelijkheden voor de voedingswetenschap', In: *Voeding Nu*, juli 2001.

Rathenau Instituut (2001). *Werkprogramma 2001-2002 Rathenau Instituut*. Den Haag.

Stichting Consument en Biotechnologie (2001). 'Uw genenpaspoort als menukaart: ons voedsel in 2015'. Verslag van een workshop, De Lindenhof, Delft, 8 mei 2001.

Stichting Consument en Biotechnologie (2002). *Gentechnologie, genomics en de consument: zeven prikkelende interviews als bijdrage aan het debat. Verslag van de Tijdelijke Commissie biotechnologie en voedsel onder voorzitterschap van J.C. Terlouw*.

Tijdelijke Commissie Biotechnologie en Voedsel (2001). *Eten en genen: een publiek debat over biotechnologie en voedsel*, 9 januari 2001.

Schuttelaar & Partners (2001). *Overtuiging of marketing: vier keer maatschappelijk café*. Den Haag.

Bijlage 5

Lijst met afkortingen

AMC	Amsterdam Medisch Centrum
ATO	Instituut voor Agrotechnologisch Onderzoek
BSE	Bovine Spongiform Encephalopathy (Gekke-koeienziekte)
CARIM	Cardiovascular Research Institute Maastricht
CHN	Centre for Human Nutrigenomics
CLB	Centraal Laboratorium Bloedvoorziening
CR-Delta	Coöperatie Rundveeverbetering Delta
DLO	Onderzoeksinstituten Wageningen Universiteit en Research Centrum
EU	Europese Unie
EU-KP	Kader Programma van de Europese Unie
EUR	Erasmus Universiteit Rotterdam
EZ	Ministerie van Economische Zaken
IOP	Innovatiegerichte Onderzoeksprogramma
IPG	Institute for Pig Genetics B.V.
KUN	Katholieke Universiteit Nijmegen
LNV	Ministerie van Landbouw, Natuurbeheer en Visserij
MAB	Marker Assisted Breeding
MKZ	Mond- en Klauwzeer
NIH	National Institute of Health
NIZO	Onderzoeksbureau Food Research
NMR	Nuclear Magnetic Resonance
NUTRIM	Nutrition and Toxicology Research Institute Maastricht
NWO	Nederlandse Organisatie voor Wetenschappelijk Onderzoek
NY University	New York University
OCenW	Ministerie van Onderwijs, Cultuur en Wetenschappen
PRI	Plant Research International
RIKILT	Institute of Food Safety (onderdeel van Wageningen UR)
RIVM	Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu
RIVM-CZE	RIVM-Centrum voor Chronische Ziekten en Epidemiologie
RIVM-LEO	RIVM- Laboratorium voor Effectenonderzoek
RUG	Rijksuniversiteit Groningen
RUL	Rijksuniversiteit Leiden
SNP	Single Nucleotide Polymorfisms
STW	Stichting Technologie en Wetenschappen
TNO	Nederlandse Organisatie voor Toegepast Natuur- wetenschappelijk Onderzoek

TNO-PG	TNO-Preventie en Gezondheidszorg
UM	Universiteit Maastricht
UMC Utrecht	Universitair Medisch Centrum Utrecht
UU	Universiteit Utrecht
UVA	Universiteit van Amsterdam
VAVI	Vereniging voor de Aardappelverwerkende Industrie
VROM	Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer
VU	Vrije universiteit, Amsterdam
VWS	Ministerie van Volksgezondheid, Welzijn en Sport
WCFS	Wageningen Centre for Food Sciences
WU	Wageningen Universiteit
WU-BC	Wageningen Universiteit – afdeling Biochemie
WU-Micro	Wageningen Universiteit – Laboratorium voor Microbiologie
WU-Nitepi	Wageningen Universiteit – afdeling Humane Voeding en Epidemiologie
WU-PDQ	Wageningen Universiteit – afdeling Product Design en Quality Management
WU-Tox	Wageningen Universiteit – afdeling Toxicologie
WURC	Wageningen Universiteit en Research Centrum

Over de auteurs

Christien Enzing, werkzaam bij TNO Strategie, Technologie en Beleid, is gespecialiseerd in vraagstukken op het gebied van technologie- en innovatiebeleid op het brede terrein van de Life Sciences (wetenschap, economie en maatschappij); sinds 1985 is ze vooral actief op het gebied van genomics. Zij is betrokken geweest bij tal van projecten voor verschillende Nederlandse opdrachtgevers (ministeries, adviesraden, brancheorganisaties, regionale ontwikkelingsmaatschappijen), de Europese Commissie en de OECD. Binnen TNO-STB is ze leider van het Life Sciences Team.

Annelieke van der Giessen werkt sinds 1 november 2001 bij TNO-STB als junior-onderzoeker/adviseur. Zij maakt deel uit van het Life Sciences Team en houdt zich bezig met effectmetingen van beleidsinstrumenten en technologische en maatschappelijke aspecten van Life Sciences. Zij is afgestudeerd aan de Haarlem Business School (Small Business) en aan de Erasmus Universiteit Rotterdam (Bedrijfskunde, met een specialisatie in management van technologie en innovatie). Van der Giessen schreef haar afstudeerscriptie bij TNO-STB over de ontwikkeling van indicatoren om beleidseffecten te meten.

