Industriële Biotechnologie
Duurzaam Getoetst

Een onderzoek naar de bijdrage van industriële toepassingen van biotechnologie aan duurzame ontwikkeling

november 2004



ESM, Erasmus Universiteit Rotterdam



CML, Universiteit van Leiden



EBT, Technische Universiteit Delft

mr.dr. J.A. van Ast
drs. L.W. Baas
prof.dr. J.J. Bouma
prof.dr. M.C.M. van Loosdrecht
ir. G.J. Stienstra
dr. E. van der Voet

Industriële Biotechnologie Duurzaam Getoetst

Een onderzoek naar de bijdrage van industriële toepassingen van biotechnologie aan duurzame ontwikkeling

dit rapport is geschreven in opdracht van het Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieu

Samenvatting *4*
1 Introductie *9*
1.1 Inleiding **9**
1.2 Projectopzet **9**
1.3 Onderzoeksmethodiek en beperkingen **10**
1.4 Leeswijzer **11**
2 Biotechnologie en duurzaamheid *12*
2.1 introductie **12**
2.2 begrippenkader **12**
2.3 duurzaamheid **15**
2.3.1 De ecologische dimensie van duurzaamheid 15
2.3.2 De economische dimensie van duurzaamheid 18
2.3.3 De sociale dimensie van duurzaamheid 20
2.4 Risico's Genetisch Gemodificeerde Organismen **26**
2.4.1 De risicodiscussie 26
2.4.2 Risico-analyse 31
2.4.3 Life Cycle Assessment en Genetisch Gemodificeerde Organismen 32
3 Casestudies *34*
3.1 Introductie **34**
3.2 Algemene scope casestudies en selectie cases **34**
3.3 Case 1: Bioethanol in motorbrandstoffen **37**
3.3.1 Inleiding 37
3.3.2 Ecologische Aspecten 39
3.3.3 Economische aspecten 45
3.3.4 Sociale aspecten 45
3.3.5 Conclusie Bioethanol-case 48
3.4 Case 2: Bioplastics **50**
3.4.1 Inleiding 50
3.4.2 Ecologische Aspecten 52
3.4.3 Economische Aspecten 54
3.4.4 Sociale Aspecten 55
3.4.5 Conclusie Bioplastics 56
3.5 Case 3: Chymosine **57**
3.5.1 Inleiding 57
3.5.2 Ecologische Aspecten 58
3.5.3 Economische Aspecten 61
3.5.4 Sociale Aspecten 63
3.5.5 Conclusies Chymosine 64
4 Duurzaamheidaspecten Industriële Biotechnologie *65*
4.1 Introductie **65**

4.2 De ecologische dimensie van duurzaamheid 65
4.3 De economische dimensie van duurzaamheid 67
4.4 De sociale dimensie van duurzaamheid 72
4.5 Recapitulatie 77
5 Conclusies en aanbevelingen 79
5.1 Projectresultaten 79
5.2 Conclusies duurzaamheid per case 81
5.2.1 Bio-motorbrandstof: bioethanol 81
5.2.2 Bioplastic: PHA 82
5.2.3 Chymosine 84
5.3 Algemene conclusies 85
5.4 Aanbevelingen 86
6 Referenties 88
7 Literatuur 92
7.1 Biotechnologie algemeen 92
7.2 Internationale Vergelijking 92
7.3 Risico's GGOs 93
7.4 Ecologische aspecten 95
7.4.1 Algemeen 95
7.4.2 Life Cycle Assessment (LCA) 95
7.5 Economische aspecten 96
7.6 Sociale aspecten 96
7.7 Case – biologische motorbrandstof 97
7.7.1 Algemeen 97
7.7.2 bioethanol 98
7.8 Case – Bioplastics 99
7.9 Case - Chymosine 99
Bijlage A Begeleidingscommissie IBiD 101
Bijlage B Verslag van Hoofdzaken 102
Bijlage C Impact categories and characterisation methods 104
Bijlage D Vergunningverlening en advisering 106
Bijlage E Onderzoeksinstituten 109

Samenvatting

Dit onderzoek is uitgevoerd in opdracht van het Ministerie van VROM in het kader van een beleidsverkenning. Het is gericht op het verschaffen van inzicht in de bijdrage die bestaande voorbeelden van industriële biotechnologie kunnen leveren aan duurzame ontwikkeling.

'Industriële Biotechnologie' *is de toepassing van levende cellen van micro-organismen en hun enzymen, in processen die gesloten systemen mogelijk maken, voor industriële productie van (chemische) stoffen, materialen en energie, waarbij het productieproces en/of het product niet tot de medische of agrarische sector worden gerekend.*

Industriële Biotechnologie ('IBt.') wordt doorgaans in direct verband gebracht met genetisch gemodificeerde organismen (GGO's). Hoewel er ook vormen van biotechnologie (en IBt.) bestaan die niet met GGO's werken, zijn het vooral de snelle ontwikkelingen in de gentechnologie die nieuwe productieprocessen mogelijk maken en bevinden zich juist hierin de kansen voor duurzaamheidswinst. De mogelijke effecten van genetische modificatie vormen dan ook een kernthema bij de beoordeling van industriële biotechnologie. Verder bestaat een relatie met de agrarische sector, omdat de landbouw veelal zorgt voor de levering van (bio)grondstoffen.
De verwachtingen met betrekking tot de duurzaamheidswinst zijn vooral gebaseerd op een efficiëntere productie van dezelfde of betere producten, met minder gebruik van grondstoffen, en minder emissies en afval. Bovendien worden gunstiger economische en sociale omstandigheden verondersteld.

De resultaten van dit *onderzoek* zijn gebaseerd op verschillende bronnen: de uitkomsten van een expertbijeenkomst (op 3 november 2003), literatuuronderzoek, interviews met deskundigen en drie casestudies. De geselecteerde cases betroffen een vergelijking van drie biotechnologische met drie conventionele, chemische productieroutes. In nauw overleg met de begeleidingscommissie zijn de volgende cases in het onderzoek betrokken:

- Bio-motorbrandstoffen: bio-ethanol uit maïs, graan of suikerriet, versus benzine.
- Bioplastics: PHA uit organische restproducten versus PE.
- Chymosine: de biotechnologische route uit suiker versus de traditionele productie uit kalvermagen.

Bij elkaar geven de cases een divers beeld waarin verschillende ongelijksoortige aspecten die met duurzaamheid te maken hebben, naar voren komen. Grootschalige productie is ingebracht via bio-ethanol. Dit impliceert ook de discussie over het produceren van gewassen als grondstof voor energie en materialen. Bij bioplastics komen onder meer aspecten naar voren met betrekking tot het nuttig hergebruik van organische afvalstoffen. Chymosine is interessant als case over ethische aspecten van genetische modificatie, aangezien het gaat om soort-vreemd DNA dat is ingebracht in een bestaand micro-organisme.

De cases zijn onderzocht op de *drie dimensies van duurzaamheid*: de ecologische, de economische en de sociale. De ecologische dimensie betreft de milieu-effecten. Deze zijn benaderd aan de hand van de levenscyclus analyse (LCA)-methodiek, op basis van bestaande gegevens uit de literatuur. De LCA-methode heeft zeker zijn

beperkingen, maar is toch de meest geschikte omdat de gehele wieg-tot-graf ketens worden geanalyseerd en een groot aantal uiteenlopende milieu-effecten wordt meegenomen. Een relevante complicatie met betrekking tot biotechnologie betreft de ongeschiktheid van de LCA-methodiek voor de inschatting van milieueffecten van GGO's op een wijze die vergelijkbaar is met de andere milieu-thema's.
Bij de analyse van de economische dimensie van duurzaamheid is een onderscheid gemaakt tussen het macro- en het microniveau. Op macroniveau heeft de 'profit'-dimensie betrekking op de mate waarin Industriële biotechnologie (economische) waarde creëert voor de samenleving; de bijdrage die wordt geleverd aan de welvaart. Op microniveau heeft de economische dimensie vooral betrekking op de continuïteit van een individueel bedrijf, met name gericht op de financiële prestatie. Biotechnologie kan bij bedrijven op verschillende plaatsen in de bedrijfseconomische keten gevolgen hebben.
Voor wat betreft de sociale indicatoren voor duurzaamheid is in eerste instantie een uitgebreide, vooral op Global Reporting Initiative (GRI) gebaseerde lijst sociale duurzaamheidsindicatoren gehanteerd. Deze is vervolgens aangevuld met een inschatting op basis van de SGS (Shell Global Solutions) Sustainability Assessment-methodiek.

Bovengeschetste onderzoeksopzet impliceert een aantal *beperkingen* die de uitkomsten van het onderzoek nuanceren. Allereerst wordt slechts de bewezen technologie in het onderzoek betrokken. Dat houdt onder meer in dat een biotechnologie waarmee daadwerkelijk praktijkproeven zijn gedaan en die aan de doelstellingen heeft voldaan wel wordt meegenomen, maar dat mogelijke doorbraken die eventueel duurzame alternatieven kunnen opleveren niet worden verdisconteerd. Dit om resultaten uit te sluiten, die achteraf bleken te zijn gebaseerd op onjuiste aannames of 'wishful thinking'.
Vanwege de onzekerheden die hieraan zijn verbonden is ook een mogelijke overschakeling naar duurzame energie niet meegenomen. Tenslotte is in beginsel uitgegaan van de Nederlandse context. Dat betekent onder meer dat de resultaten van opschaling (grootschalige toepassing) van bekende procédés wel zijn verkend (en de noodzaak tot import die hiervan het gevolg zou zijn), maar dat mogelijke toekomstscenario's erbuiten vallen.
Voor wat betreft de casestudies geldt verder dat slechts drie cases onderzocht, waardoor de resultaten niet representatief zijn. Het gaat om slechts één case uit de bulkchemie (bioethanol) en twee toepassingen uit de fijnchemie (PHA en chymosine), waarbij alleen bij laatstgenoemde case sprake is van een GGO (met soortvreemde genen). Voor bepaling van de ecologische duurzaamheid werd gebruik gemaakt van LCA's uit reeds beschikbare studies en worden de gevonden resultaten ondersteund met gegevens uit de algemene literatuur.

Voor wat betreft specifiek de *ecologische dimensie* is geen algemeen positief of negatief oordeel gerechtvaardigd. Met betrekking tot bio-motorbrandstoffen geeft de onderzochte case 'bioethanol' enige aanwijzingen voor de toepassing van biotechnologie bij bulkgoederen. Op het klimaatthema zijn door de inzet van biomassa zeker voordelen te behalen, maar veel andere milieugevolgen die optreden, zijn van dien aard dat zij deze positieve aspecten voor een belangrijk deel compenseren. Met name landgebruik, watergebruik, pesticidengebruik en meststoffengebruik zijn in de landbouw in een aantal gevallen zeer aanzienlijk. Wanneer afvalstromen uit de landbouw als grondstof zouden worden gebruikt, gelden

genoemde nadelen in beginsel niet. Biotechnologie levert dan aanvullend een bijdrage aan een efficiënter biotisch grondstoffengebruik. Voor de productie van fijnchemicaliën geldt dat biotechnologie duidelijk milieuvoordelen kunnen hebben, met name de IBt.-producten die worden geproduceerd uit reststromen (afval). Al is de milieuwinst soms beperkt, de veelal aanwezige inkorting van het aantal stappen in productieprocessen leidt doorgaans tot ecologisch efficiëntere productieprocessen. Ook de energievoorziening uit biomassa kan een bijdrage aan duurzame ontwikkeling leveren, maar op beperkte schaal. Voor grootschalige productie van bulkgoederen geldt onder de huidige omstandigheden evenwel dat de grondstoffen ofwel uit de petrochemie moeten worden betrokken, wat de duurzaamheidswinst zou beperken, ofwel dat speciaal voor dit doel verbouwde biomassa wordt ingezet, waarmee de landbouwketen (inclusief groene biotechnologie) wordt geïnvolveerd.
Een andere constatering is dat het hanteren van moderne biotechnologie, en de industriële variant ervan in het bijzonder, is gerelateerd aan de inzet van GGO's. Van de toepassing van genetisch gemodificeerde micro-organismen in de gesloten omgeving van industriële biotechnologie zijn, ethische en levensbeschouwelijke bezwaren buiten beschouwing gelaten, tot op heden (enige tientallen jaren na de eerste experimenten) geen noemenswaardige negatieve effecten aangetroffen. Hoewel onzekerheid over mogelijke effecten nooit helemaal valt uit te sluiten, zijn ook toekomstige effecten, zeker van micro-organismen volgens de meest deskundigen niet waarschijnlijk. Overigens kan in dit verband worden vastgesteld dat de huidige, op het voorzorgsbeginsel gebaseerde toelatingsprocedure voor GGO's die het Ministerie van VROM hanteert, voor zover bekend, rekening houdt met alle relevante aspecten.

Met betrekking tot de *economische dimensie* van duurzaamheid kan worden vastgesteld dat de marktpositie voor industriële biotechnologie in het bijzonder bij de fijnchemicaliën en de 'specialty products' zonder meer als 'goed' zijn te kwalificeren. In economisch positieve zin geldt dat genoemde IBt.-sectoren een kweekvijver vormen voor innovatieve technologie, met nieuwe marktkansen door nieuwe producteigenschappen. Daarbij past zoals in iedere sector de aantekening dat producten met veel perspectief en producten – en bedrijven – met weinig perspectief zijn te identificeren. Niettemin zijn in het algemeen de industrieel biotechnologische productieroutes ten opzichte van de conventionele chemische industrie gunstige alternatieven. Hoewel de markt er veelal voor zorgt dat economisch profijtelijke productieprocessen zich ook zonder overheidssteun ontwikkelen, kan stimulering vanuit de overheid ertoe leiden dat de ontwikkelingskosten worden gedrukt, waardoor de termijn van invoering wordt verkort. Grootschalige invoering van biotechnologie zou onder de huidige omstandigheden naar verwachting leiden tot decentralisatie van de productie en met name daardoor tot een transitie van de samenleving die ingrijpende sociale en economische gevolgen zou hebben.

Voor wat betreft de *sociale dimensie* geldt dat in algemene zin geen helder en eenduidig verband kan worden gelegd tussen industriële biotechnologie en de sociale duurzaamheidsindicatoren. Sociale indicatoren voor een sector of procédé ontbreken. Op case- of bedrijfsniveau kan deze relatie vaak wel worden gelegd, maar binnen het tijdsbestek van deze studie is het onmogelijk 'harde gegevens' op het snijvlak van industriële biotechnologie in het algemeen en sociale duurzaamheid te achterhalen. Een inschatting van de gevolgen op basis van 'expert judgement' geeft aan dat het type technologie, hier de industriële biotechnologie, op sociaal duurzaamheidsgebied een ondergeschikte rol speelt. Op grond daarvan kan worden geconcludeerd dat

bedrijven uit deze sector zich op het gebied van de sociale aspecten van duurzaamheid niet substantieel onderscheiden van bedrijven uit andere industriële sectoren. Indirect zouden wel belangrijke gevolgen kunnen optreden als biomassa onder de huidige omstandigheden op grote schaal zou worden ingezet. Voor de landbouw betekent dat schaalvergroting, voor de industrie schaalverkleining. Voor beide zal naar alle waarschijnlijkheid een zekere regionalisatie optreden.
Gezien de rol van de publieke perceptie inzake GGO's is een duidelijke evaluatie van en reflectie op individuele IBt.-toepassingen noodzakelijk. Dit mede omdat in de meeste toepassingen van industriële biotechnologie geen sprake is van GGO-toepassing en waar dit wel het geval is, sprake is van 'contained use' en ingeperkt gebruik. In het algemeen bleek uit zowel het literatuuronderzoek als de casestudies dat positieve of negatieve claims voor GGO's vooralsnog weinig concrete onderbouwing hebben. In dit verband bleek overigens dat beschrijvingen van de effecten van de impact van biotechnologie vanuit min of meer 'neutrale' hoek momenteel zeer beperkt voor handen te zijn.

Als belangrijkste *conclusie* van het onderzoek geldt dat een alomvattend oordeel over de duurzaamheid van biotechnologie, ook de industriële variant ervan, niet mogelijk is. Per type technologie, per product en per context verschillen de effecten op de dimensies van duurzaamheid. Met andere woorden, de bijdrage aan duurzaamheid van industriële biotechnologie is case-afhankelijk.
In de algemene literatuur over IBt.-cases zijn diverse voorbeelden van gevallen waarin duurzaamheidswinst naar voren komt, en ook bij de drie onderzochte IBt.-cases kan op een aantal aspecten een bijdrage aan duurzame ontwikkeling worden geconstateerd. De bijdrage aan duurzaamheid lijkt het hoogst bij toepassingen in de fijnchemie. Voor fijnchemicaliën geldt dat winst van biotechnologische productieprocessen vooral kan worden behaald als alternatief voor chemische productieketens, met name vanwege de kortere productieketens. Deze winst kan op alle drie de dimensies van duurzaamheid bestaan. Het ontbreken van voldoende gegevens ter onderbouwing van in opdracht van belangengroepen uitgevoerde studies maken het echter niet goed mogelijk deze verwachtingen te onderschrijven, dan wel te ontkrachten.
Duidelijk is wel dat door middel van de ontwikkeling van biotechnologische innovaties de kans wordt vergroot dat goederen beschikbaar komen die passen binnen een duurzame ontwikkelingsrichting. Al met al resulteert dit in een oordeel over de wenselijkheid van verdere ontwikkeling van Industriële Biotechnologie als '*onder condities positief*'.

Als *aanbeveling* voor beleidsmakers geldt een kritische houding ten opzichte van nieuwe IBt.-processen; niet iedere toepassing heeft onder alle omstandigheden positieve gevolgen voor duurzame ontwikkeling. Tegelijk zijn er ook processen die onder omstandigheden wel een bijdrage aan duurzame ontwikkeling kunnen leveren. Gezien het belang van de gevolgen voor de lange termijn en op een hoger schaalniveau is een scenariostudie van de gevolgen van opschaling van industrieel biotechnologische processen sterk aan te bevelen. Een volledige LCA van een fermentatieproces kan belangrijke basisinformatie opleveren voor veel cases op het terrein van industriële biotechnologie. Het verdient dan ook zeker aanbeveling zo'n LCA-studie uit te voeren. Verder kan van veelbelovende fijnchemicaliën alleen een volledig beeld van de duurzaamheidsaspecten worden verkregen als meer uitgewerkte cases worden onderzocht. Met betrekking tot de risicoanalyse ten behoeve van de

beoordeling van GGO's in een LCA is eveneens nader onderzoek aan te bevelen. Voor wat betreft de ontwikkeling van sociale duurzaamheidsindicatoren is het gewenst, een uitgebreide stakeholdersanalyse ten behoeve van een meer evenwichtige beoordeling van de informatiestromen te verrichten. In dit verband is het verder nuttig de interactie met en tussen maatschappelijke actoren vorm te geven, bijvoorbeeld in een 'Platform van Stakeholders.

Als richtinggevende aanbeveling aan beleidsinstanties het volgende. Verhelder met voorrang het onderscheid tussen de verschillende typen biotechnologie en draag bij aan het verschaffen van argumenten voor een rationele meningsvorming hieromtrent bij de bevolking. Stimuleer vanuit duurzaamheidsoogpunt de ontwikkeling van industrieel biotechnologische innovaties, maar steeds met inachtneming van tenminste het huidige niveau aan zorgvuldigheid bij de toelatingsvereisten. Wees er daarbij altijd van bewust dat de mogelijke duurzaamheidswinst van biotechnologische toepasssingen steeds opnieuw *per geval* dient te worden beoordeeld.

1 Introductie

1.1 Inleiding

Industriële biotechnologie verwijst in algemene termen naar het gebruik van micro-organismen in een industriële omgeving voor de productie van stoffen, zoals bijvoorbeeld vitaminen, antibiotica en enzymen. Volgens de organisatie van producenten “Europabio” heeft dit type technologie een aantal eigenschappen die in potentie goed passen bij duurzame ontwikkeling. Gezien het maatschappelijk belang wordt de realiteit van deze claim in dit onderzoek nader onderzocht door een combinatie van wetenschappelijke instellingen met expertise in sociale wetenschappen, natuurwetenschappen en (bio)technologie.

Doel van dit project is enerzijds een inventarisatie van de stand van zaken met betrekking tot duurzame biotechnologie in Nederland en anderzijds een inschatting van de bijdrage aan duurzame ontwikkeling die industriële biotechnologie momenteel kan leveren. Het onderzoek is uitgevoerd in opdracht van het Ministerie van VROM en is bedoeld als input voor een beleidsverkenning die dit ministerie op het terrein van industriële biotechnologie uitvoert.

1.2 Projectopzet

Het project bestond uit vier fasen:
Fase 1: Expertmeeting en workshop als start voor een oriëntatie op stakeholders en check op volledigheid van het beschikbare materiaal ten behoeve van de bepaling van de cases;
Fase 2: *Veldwerk*, interviews en deskresearch van drie geselecteerde cases
Nadere selectie van gegevens cases; bepaling duurzaamheidscriteria, LCA-bepaling;
Fase 3: *Analyse* en totaaltoetsing; scorebepaling op de geïdentificeerde duurzaamheidscriteria;
Fase 4: Eindanalyse en rapportage over de duurzaamheid industriële biotechnologie.

Het inhoudelijke begin van het project viel samen met een startbijeenkomst op 3 november 2003 met de opdrachtgever en een groot aantal deskundigen op het terrein van biotechnologie en duurzaamheid. Deze expertmeeting ging vooraf aan een workshop op dezelfde dag met een aantal grote spelers op de Europese markt voor biotechnologie. Een verslag van de resultaten van deze dag zijn in de bijlage opgenomen.

De vier fasen werden als volgt ingevuld.

- *Fase 1: Oriëntatie op de stakeholders en check op de volledigheid van het beschikbare materiaal ten behoeve van de bepaling van de cases.*
- expertmeeting en workshop met een goed beeld geven van het gehele onderzoeksveld
- instelling begeleidingscommissie (zie bijlage A);

- oriënterende interviews met een aantal sleutelpersonen van onder meer het Ministerie van VROM, Europabio, het Öko Institut en Genomics, met betrekking tot de bestaande gegevens over duurzaamheid en biotechnologie;
- literatuur- en internetsearch naar de beschikbaarheid van aanvullende data op basis waarvan drie cases werden geselecteerd.

- *Fase 2: Veldwerk, interviews en deskresearch van drie cases; nadere selectie van gegevens cases; bepaling duurzaamheidscriteria, LCA-bepaling*
- identificatie nadere gegevens over de te selecteren cases
- vaststelling relevante duurzaamheidscriteria;
- indicatie Life Cycle Analysis (LCA) van de geselecteerde cases, op basis van de beschikbare data van reeds uitgevoerde LCA's;
- per case werden verschillende activiteiten verricht: verkenning, interviews, dataverzameling, analyse, feedback, casebeschrijving.

- *Fase 3: Analyse en totaaltoetsing; scorebepaling op de duurzaamheidscriteria*
- analyse van de milieubelasting, bepaling sociaal-economische duurzaamheid per case, door middel van:
    - interviews met organisaties die zich bezighouden met duurzaamheid en biotechnologie
    - bestaande studies over duurzaamheidsaspecten cases
- Concept eindrapport

- *Fase 4: Eindanalyse en rapportage over de duurzaamheid industriële biotechnologie.*
- het vertalen van data naar concrete informatie;
- het waarderen van de drie dimensies van duurzaamheid;
- integratieslag; weging ingebrachte effecten op sociaal-economisch en milieuterrein;
- publicatie eindrapportage

1.3 Onderzoeksmethodiek en beperkingen

Het onderzoek is explorerend van karakter. De ambitie van de studie is om op basis van bestaande informatie een beeld te verkrijgen van de reële kansen die bewezen industriële biotechnologie biedt voor het duurzaamheidsbeleid. De resultaten van het onderzoek zijn gebaseerd op verschillende bronnen. Als startpunt gelden de uitkomsten van een expertbijeenkomst die op 3 november 2003 te den Haag werd gehouden (zie bijlage B). Vervolgens is een verkenning verricht naar relevante wetenschappelijke artikelen, de belangrijkste zijn naar rubriek ingedeeld en opgenomen in hoofdstuk 7. Als derde bron geldt een aantal formele en informele interviews die zijn gehouden met deskundigen op dit terrein. De genoemde drie onderzoeksbronnen bieden een onderbouwing voor uitspraken over de algemene stand van zaken in de industriële biotechnologie in Nederland.

Dit deel van het onderzoek moet worden onderscheiden van het onderzoek dat is verricht naar drie casestudies. Deze cases betreffen een vergelijking van drie biotechnologische met drie conventionele, chemische, productieroutes. Voor de gehanteerde onderzoeksmethoden van dit gedeelte wordt hier verwezen naar

hoofdstuk 3, waar de casestudies behandeld worden. De in nauw overleg met de begeleidingscommissie geselecteerde cases zijn behalve qua omvang ook vanwege het ongelijksoortige karakter van de gehanteerde selectiecriteria, niet geschikt om algemene uitspraken op te baseren. Daarmee is een belangrijke beperking van het onderzoek aangegeven. Een andere essentiële inperking van het onderzoek is dat slechts bewezen technologie in het onderzoek is betrokken. Dat houdt onder meer in dat een biotechnologie waarmee daadwerkelijk praktijkproeven zijn gedaan en die aan de daarbij gestelde eisen heeft voldaan wel wordt meegenomen, maar dat mogelijke doorbraken die eventueel duurzame alternatieven kunnen opleveren niet worden verdisconteerd. Dit om resultaten die achteraf bleken te zijn gebaseerd op onjuiste aannames of ‘wishful thinking’ uit te sluiten. Deze beperking houdt in dat als zich werkelijk grote doorbraken aandienen, die een belangrijke invloed kunnen hebben op de conclusies.

Verder is vanwege de onzekerheden die hieraan zijn verbonden ook een mogelijke overschakeling naar duurzame energie niet meegenomen en is in beginsel uitgegaan van de Nederlandse context. Dat laatste betekent onder meer dat de resultaten van opschaling (grootschalige toepassing) van bekende procédés wel zijn verkend (en de noodzaak tot import die hiervan het gevolg zou zijn), maar dat mogelijke toekomstscenario’s niet zijn meegenomen.

1.4 Leeswijzer

Na de samenvatting in het voorgaande en de introductie in dit hoofdstuk wordt in hoofdstuk 2 ingegaan op de belangrijkste begrippen die in dit rapport zijn gehanteerd. Hierbij komen ook de verschillende duurzaamheidscriteria waarop is getoetst aan de orde. Vervolgens gaat hoofdstuk 3 in detail in op de drie onderzochte cases. Hoofdstuk 4 bespreekt de belangrijkste discussiepunten die uit dit onderzoek naar voren komen en in hoofdstuk 5 worden conclusies en aanbevelingen gepresenteerd. In hoofdstuk 6 vervolgens worden de referenties vermeld en in hoofdstuk 7 volgt een uitgebreid naar onderwerp ingedeeld literatuuroverzicht op de behandelde terreinen. Het rapport wordt afgesloten met een aantal bijlagen, met respectievelijk de samenstelling van de begeleidingscommissie, een verslag van de startbijeenkomst van het onderzoek, een nadere uitleg van de milieu-impact die wordt meegenomen in de LCA-methodiek, de huidige praktijk van vergunningverlening van GGO’s en de auteurs en hun onderzoeksinstituten.

2 Biotechnologie en duurzaamheid

2.1 introductie

In het volgende komt eerst een aantal kernbegrippen die van belang zijn voor dit onderzoek naar voren, zoals biotechnologie, duurzaamheid, LCA en GGO's. Vervolgens wordt nader ingegaan op de drie dimensies van duurzaamheid. Daarna wordt nader ingegaan op de risicodiscussie rond GGO's en het hoofdstuk wordt afgesloten met de relatie tussen risico's en de LCA-methodiek.

2.2 begrippenkader

Biotechnologie
Al eeuwen gebruikt de mens organismen om in zijn behoeften te voorzien; biologische technologie wordt inmiddels op steeds grotere schaal toegepast. Een eenduidige definitie van de term 'biotechnologie' is echter vooralsnog nog niet aanvaard. De producenten van biotechnologie, verenigd in de European Federation of Biotechnology (EFB) stellen de volgende omschrijving voor: 'Biotechnologie is de geïntegreerde toepassing van natuurwetenschappen en ingenieurswetenschappen voor de technologische toepassing van levende organismen, cellen, delen van organismen en moleculaire analogen voor de productie van goederen en diensten'. Biotechnologie behelst dus het gebruik van levende organismen, of delen ervan, om producten te maken of te wijzigen, planten of dieren te verbeteren, of micro-organismen voor specifieke doeleinden te ontwikkelen (BACAS, 2004). Zo geformuleerd valt overigens een groot deel van de moderne landbouw onder biotechnologie. Een verdere indeling wordt gemaakt in enerzijds de klassieke en anderzijds de moderne biotechnologie. De klassieke omvat de traditionele technieken voor het kweken van dieren en planten, en het gebruik van bacteriën, gisten en schimmels voor het maken van bijvoorbeeld brood, bier, wijn en kaas via conventionele fermentatieprocessen. Anderzijds is er de moderne biotechnologie, die behoudens de klassieke technieken, een stapje verder gaat met het aanpassen van de eigenschappen van bacteriën, planten en dieren via gentechnologie, door rechtstreeks in te grijpen op de informatiedrager die aan de basis ligt van alle kenmerken van alle organismen: het DNA. Het voornaamste verschil tussen het gebruik van recombinant DNA technieken en de klassieke techniek is dat in het laatste geval een soortvreemde eigenschap in een organisme tot expressie kan komen.

Industriële biotechnologie.
Ook een heldere en algemeen aanvaarde definitie van industriële biotechnologie ('IBt.') wordt nog gemist. In een poging de verschillende vormen van biotechnologie te karakteriseren wordt de industriële variant ook wel 'witte' biotechnologie genoemd,. Witte biotechnologie wordt geplaatst tegenover 'rode' (medische toepassingen) en 'groene' (agrarische) biotechnologie. Hier zou nog een categorie 'blauwe' biotechnologie aan kunnen worden toegevoegd die verwijst naar biologische zuiveringsprocessen

waarbij (blauw) water de basis is. Belangrijk bij witte biotechnologie is vooral dat de industriële processen in gesloten systemen kunnen worden toegepast. Daardoor is het mogelijk de processen en organismen in isolatie te beheersen. Ook genetisch gemodificeerde micro-organismen kunnen langs deze weg 'contained' worden gebruikt, zonder dat zij in aanraking komen met de omgeving.

De commissie die zich in het kader van de Belgische Comité van de Academie voor Wetenschappen en Techniek (Royal Belgian Academy Council of Applied Science, BACAS) bezig hield met de potenties voor duurzame chemie van industriële biotechnologie, spreekt over 'toepassing van de moderne biotechnologie voor de industriële productie van scheikundige stoffen en bio-energie, gebruikmakend van inherent schone processen, met minder afvalproductie en energieverbruik. Deze technologie maakt bij voorkeur, maar niet exclusief, gebruik van hernieuwbare grondstoffen. De industriële microbiologie omvat vooral het gebruik van (al dan niet genetisch gemodificeerde) micro-organismen en enzymen om nuttige producten en materialen te produceren binnen de domeinen van de chemie, voeding, gezondheidszorg, energievoorziening, enz.' Als definitie van industriële biotechnologie (of 'IBt.') kiezen zij voor 'de toepassing van de moderne biotechnologie voor de industriële productie van scheikundige stoffen en bio-energie, gebruikmakend van levende cellen en hun enzymen, leidend tot inherent schone processen met minder afvalproductie en energieverbruik'. Daarmee gaat BACAS (2004) a-priori uit van een definitie waarin een duurzame invulling centraal staat. Zij zien in de toevoeging 'wit' vooral een symbool voor schone en duurzame technologie (anderen zien hier overigens een onwenselijke raciale associatie met door blanken ontwikkelde technologiën).

In ons onderzoek staat de bijdrage aan duurzaamheid of milieuvriendelijkheid niet van te voren vast en wordt een neutraal begrip industriële biotechnologie (IBt.) gehanteerd. Het laatste deel van bovenstaande definitie wordt daarom niet overgenomen:

'Industriële Biotechnologie' *is de toepassing van levende cellen van micro-organismen en hun enzymen, in processen die gesloten systemen mogelijk maken, voor industriële productie van (chemische) stoffen, materialen en energie, waarbij het productieproces en/of het product niet tot de medische of agrarische sector worden gerekend.*

Industriële Biotechnologie ('IBt.') wordt doorgaans in direct verband gebracht met genetisch gemodificeerde organismen (GGO's). Volgens bovenstaande definitie zijn er evenwel ook vormen van biotechnologie (en IBt.) die niet met GGO's werken. GGO-gebaseerde biotechnologie wordt ook wel 'moderne' biotechnologie genoemd. Het immers zijn vooral de snelle ontwikkelingen in de moderne biotechnologie die nieuwe productieprocessen mogelijk maken. Juist aan de gentechnologie worden de kansen voor duurzaamheidswinst toegeschreven. De mogelijke effecten van genetische modificatie vormen dan ook een kernthema bij de beoordeling van industriële biotechnologie. Verder bestaat ook een relatie met de agrarische sector, omdat de landbouw veelal zorgt voor de levering van (bio)grondstoffen. Ontwikkelingen met betrekking tot de agrarische biotechnologie zijn langs deze weg dan ook van groot belang voor toekomstige mogelijke

bijdragen aan duurzaamheid van de industriële biotechnologie. In dit onderzoek wordt hier verder geen aandacht aan besteed.

Genetisch Gemodificeerde Organismen (GGO).
Richtlijn 2001/18 definieert een genetisch gemodificeerd organisme (GGO), ook wel genetically modified organism (GMO) genoemd als ‘een organisme, met uitzondering van menselijke wezens, waarvan het genetisch materiaal veranderd is op een wijze welke van nature door voortplanting en/of natuurlijke recombinatie niet mogelijk is’. Omdat in theorie GGO’s niet beperkt zijn tot ‘niet-menselijke wezens’ en verder niet duidelijk is wat onder ‘van nature’ wordt verstaan, hanteren wij de volgende definitie: genetisch gemodificeerde organismen (of GGO’s) zijn levensvormen met DNA waarin de mens rechtstreeks (dus niet via manipulatie van omgevingsfactoren) genetisch materiaal heeft gewijzigd. Hieronder vallen ook zelfgekloneerde organismen, het gaat immers niet om het resultaat (dat in dit geval nauwelijks te onderscheiden is van niet gemodificeerde organismen), maar om de wijze waarop het organisme is ontstaan.

Duurzaamheid
Duurzame ontwikkeling betreft het streven naar consumptie- en productiepatronen waarbij geen sprake is van nadelige gevolgen voor mens en milieu, voor huidige en toekomstige generaties en zowel hier als elders. In de literatuur worden verschillende gradaties van duurzaamheid onderscheiden, waarbij het belangrijkste verschil (tussen ‘harde’ of strikte duurzaamheid en ‘zachte’ duurzaamheid) bestaat uit de mate waarin natuurlijk kapitaal en menselijk kapitaal uitwisselbaar zijn. Bij harde duurzaamheid kan een verlies aan natuurlijk kapitaal (bijvoorbeeld grondstoffen) niet worden gecompenseerd met een financieel voordeel, bij zwakke duurzaamheid kan dat wel. Wij doen hier geen keuze, maar gaan uit van een ‘zo sterk mogelijke duurzaamheid’, waarbij duurzame ontwikkeling wordt opgevat als een proces waarin in toenemende mate rekening wordt gehouden met de mogelijk nadelige gevolgen van menselijke activiteiten voor mens en milieu. De verwachtingen met betrekking tot de duurzaamheidswinst zijn vooral gebaseerd op een efficiëntere productie van dezelfde of betere producten, met minder gebruik van grondstoffen, en minder emissies en afval.

Aan duurzaamheid zijn een ecologische, een sociale en een economische dimensie te onderkennen (zie figuur 2.1).

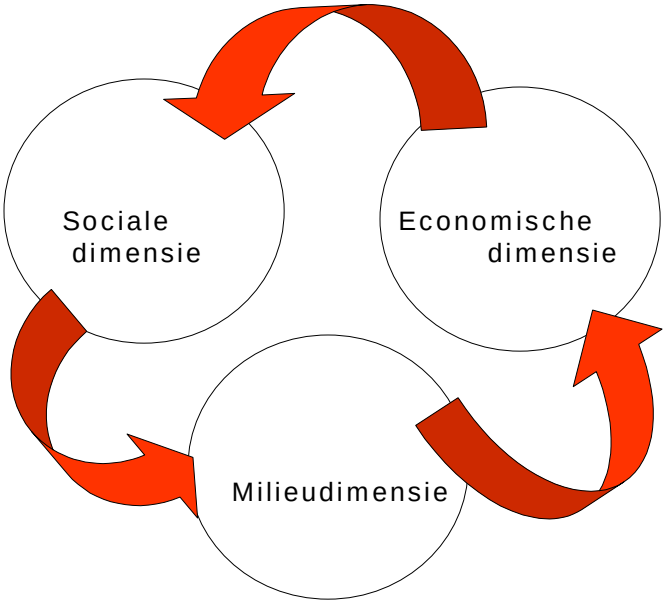


Figure 2-1 de drie dimensies van het duurzaamheidsbegrip.

In het onderstaande komen de drie dimensies nader aan de orde. De vraag over de wenselijkheid van IBt. of GGO's is niet uitsluitend op technisch-rationele gronden te beantwoorden. Maatschappelijke veranderingsprocessen en psychosociale aspecten spelen eveneens een belangrijke rol.

2.3 duurzaamheid

2.3.1 De ecologische dimensie van duurzaamheid

Voor een inschatting van de ecologische dimensie van duurzaamheid worden de volgende criteria gehanteerd:

- verontreiniging (incl. klimaatverandering, aantasting ozonlaag, toxiciteit voor mens en milieu, smog, verzuring, vermesting en straling)
- uitputting (biotische en a-biotische grondstoffen)
- afvalvorming
- habitatverlies (ruimtegebruik)
- andere ecologische effecten (bijv. introductie nieuwe soorten)
- risicopotentieel
    - menselijke gezondheid
    - genetisch gemodificeerde organismen (GGO's)

Een duurzaamheidstoets van industriële biotechnologie zal met deze aspecten rekening moeten houden.

Hoewel bij de beoordeling van de ecologische duurzaamheid van de cases met het uitvoeren van een gedetailleerde Life Cycle Analysis (LCA) de beste resultaten zouden worden bereikt, is de hierbij noodzakelijke tijdsinspanning te omvangrijk voor de context van dit onderzoek. Afhankelijk van de beschikbare informatie is een LCA samengesteld op basis van beschikbare literatuur, of is een gesimplificeerde LCA gemaakt op basis van productiegegevens. Op grond van de bestaande gegevens uit de literatuur zijn de cases benaderd aan de hand van de LCA-methodiek. De LCA-methode heeft zeker zijn beperkingen, maar is toch de meest geschikte vanwege twee eigenschappen:

- het bekijken van wieg-tot-graf ketens
- het analyseren van deze ketens op een groot aantal uiteenlopende milieu-effecten.

Wieg-tot-graf ketens zijn ketens gekoppeld aan een ‘functionele eenheid’, een product of dienst. Alle processen van winning van grondstoffen, productie, gebruik en afvalverwerking die met de functionele eenheid te maken hebben, vormen onderdeel van de keten. Om die reden is het gevaar ingeperkt dat een te nauwe blik wordt gehanteerd (bijvoorbeeld door uitsluitend naar het industriële productieproces te kijken) beperkt. Van deze ketens wordt gespecificeerd wat het totaal aan milieu-ingrepen is, dat wil zeggen, emissies, onttrekkingen en landgebruik. Deze worden middels equivalentiefactoren, waarmee vergelijking van verschillende invloeden op het milieu mogelijk wordt, vertaald in potentiële bijdragen aan bepaalde milieuproblemen of, in LCA jargon, ‘impact categories’. Het LCA stramien kent vier stappen, die ook los van de LCA nuttig kunnen zijn om te doorlopen:

1. Doelbepaling en systeemafbakening: hier worden de doelen en randvoorwaarden van de studie vastgelegd en wordt op basis daarvan de functionele eenheid vastgelegd.
2. Life Cycle Inventory (LCI, inventarisatie): hier wordt de zogenaamde procesboom opgebouwd en wordt, vaak aan de hand van een LCA-database, geïnventariseerd wat de input en output van processen zijn in termen van grondstoffen, producten, emissies en energie. Allocatie, het toerekenen van gedeeltes van de keten wanneer er sprake is van co-productie of hergebruik, is ook onderdeel van de LCI. Het resultaat van de LCI is een complete lijst van milieu-ingrepen, gerelateerd aan de functionele eenheid.
3. Life Cycle Impact Assessment (LCIA, vertaling in bijdrage aan milieuproblemen): de lijst van milieu-ingrepen wordt vertaald in termen van hun bijdrage aan milieuproblemen met behulp van equivalentiefactoren. Deze equivalentiefactoren zijn bepaald op basis van stofeigenschappen, zowel de schadelijkheid ervan als de kenmerken die verspreiding en afbraak in het milieu bepalen. In plaats van een lange lijst emissies en onttrekkingen eindigen we dan met een veel kortere lijst potentiële bijdragen aan milieuproblemen. Een apart onderdeel van de LCIA is de weging: soms is het wenselijk om de scores op de milieuproblemen bij elkaar op te tellen tot één score. Om dat te kunnen doen moeten weegfactoren worden toegekend aan deze milieuproblemen. Dit is een normatieve en contextafhankelijke stap, die om die reden door sommigen wordt ontraden. Voor de LCIA bestaan verschillende methoden die voldoen aan de ISO-richtlijnen met betrekking tot LCA studies (ISO series 14040). Deze methoden hanteren verschillende milieuprobleem-categorieën en weegmethoden.

4. Interpretatie: de resultaten uit de voorgaande stappen worden terugvertaald in termen van de doelstelling van de studie. Het belang van de verschillende keuzes voor de uitkomsten wordt daarbij aangegeven, evenals de belangrijkste onzekerheden. Elementen die in de LCA onderbelicht zijn of buiten de boot gevallen kunnen hier worden vermeld.

Een LCA kan daarmee een redelijk compleet beeld geven van de milieu-effecten gerelateerd aan de functionele eenheid. Er zijn wel bepaalde restricties:

- de LCA is niet locatiespecifiek, waardoor het alleen over 'potentiële effecten' gaat en niet over echte effecten
- de LCA is niet tijdspecifiek, maar 'steady state' wat tot gevolg heeft dat incidenten of rampen geen plaats kunnen hebben in LCA.

Wanneer we kijken welke van de bovengenoemde criteria een voldoende plaats in LCA hebben, zien we dat dat voor de meeste wel het geval is. Verontreiniging, uitputting en afvalvorming hebben een vanzelfsprekende en natuurlijke plaats in LCA. Binnen verontreiniging en uitputting wordt in de meeste methoden onderscheid gemaakt naar een aantal specifieke milieuproblemen. De CML-methode (Guinée et al., 2002) onderscheidt de volgende categorieën 'impact':

- uitputting van abiotische voorraden
- competitie om landgebruik
- broeikaseffect
- ozonlaagaantasting
- humane toxiciteit
- drie typen ecotoxiciteit
- verzuring
- vermesting
- straling
- finaal vast afvalvorming.

Aantasting van biodiversiteit is iets dat niet rechtstreeks in deze LCA methode terug te vinden is, evenmin als aantasting van de menselijke gezondheid. Het achterliggende idee is dat de impact categorieën gezamenlijk een beeld geven. Broeikaseffect, landgebruik, toxiciteit enz. hebben alle negatieve effecten op de natuur en daarmee op de biodiversiteit, zodat het apart meenemen van deze categorie een dubbeltelling zou zijn (de verschillende impactfactoren zijn niet één-dimensionaal maar hebben allemaal een meer-dimensionale component).

De Eco-indicator99 methode, die eveneens vrij compleet is en vrij algemeen geaccepteerd wordt, kent veel minder categorieën, omdat wordt doorvertaald naar het eind van de effectketen. Op die manier wordt weging voor een belangrijk deel overbodig gemaakt. Keerzijde is dat nieuwe onzekerheid en incompleetheid worden ingebouwd. De Eco-indicator onderscheidt:

- menselijke gezondheid (opgebouwd uit verschillende vormen van toxiciteit, aantasting ozonlaag en straling)

- schade aan ecosystemen (opgebouwd uit ‘land use’, eco-toxiciteit, verzuring en vermesting)
- uitputting van voorraden (met onderscheid tussen fossiele brandstoffen en mineralen).

Wat in geen van de LCA-methodes goed is opgenomen, zijn de ruimtelijke aspecten. Hoewel het ruimtegebruik in vierkante meter in diverse databases wel wordt gespecificeerd en pogingen tot het opnemen van landgebruik als impact categorie wel zijn gedaan is hiervoor nog geen algemeen geaccepteerde impact indicator beschikbaar. Habitatverlies of versnippering zijn daardoor problemen die niet uit de verf komen in een LCA. Datzelfde geldt voor de uitputting van vernieuwbare grondstoffen, zoals biota (hout en vis) of water. Arbeidsomstandigheden zijn per definitie uitgesloten van een milieu-LCA, dit onderwerp wordt geacht onder de sociale aspecten van duurzaamheid te vallen. Zoals eerder opgemerkt, zijn ook incidenten niet in de LCA-methode opgenomen; evenmin als de eventuele risico's van het gebruik van GGO’s.

Sommige van deze aspecten zijn wel van belang voor de ecologische duurzaamheid van IBt.. Wanneer onder de huidige omstandigheden wordt overgegaan op grootschalige biotechnologische productie, komt de problematiek van grondstoffen in beeld. Kleinschalige biotechnologie kan gebruik maken van afvalstromen, en daardoor een belangrijke bijdrage leveren aan het sluiten van kringlopen met het oogpunt van duurzame ontwikkeling. Voor grootschalige productie zal evenwel een aanzienlijke uitbreiding van het landbouwareaal noodzakelijk worden. Dit gaat op grond van de huidige stand van de technologie gepaard met land- en watergebruik, die afhankelijk van de locatie beide schaars kunnen zijn. We nemen daarom deze aspecten mee buiten de LCA om. Over het risico van het gebruik van GGO's wordt meer gezegd in § 3.3.

2.3.2 De economische dimensie van duurzaamheid

Bij de inschatting van de economische ‘profit’ dimensie van duurzaamheid wordt een onderscheid gemaakt tussen het macro- en het microniveau.

macroniveau
Op macroniveau heeft de ‘profit’-dimensie betrekking op de mate waarin IBt. (economische) waarde creëert voor de samenleving; de bijdrage die wordt geleverd aan de welvaart. Aspecten die hier onder meer een rol spelen zijn:

- marktvolumes
- aandelenkoersen
- koopkrachteffecten
- arbeidsproductiviteit
- inkomenseffecten voor verschillende stakeholders
- inschatting voordelen door verschillende stakeholders.

microniveau
Op microniveau heeft de economische dimensie vooral betrekking op de continuïteit van een individueel bedrijf, met name gericht op de financiële prestatie. Biotechnologie kan

bij individuele bedrijven op verschillende plaatsen in de bedrijfseconomische keten gevolgen hebben. Gedacht kan worden aan het gebruik van biotechnologie binnen productieprocessen, de hieraan gerelateerde activiteiten van toeleveranciers van goederen en diensten (bijvoorbeeld leveranties van energie, grond- en hulpstoffen) en de activiteiten van bedrijven op het gebied van de transport, verkoop en distributie. Derhalve is een ketenbenadering bij het beoordelen van bedrijfseconomische gevolgen van de toepassing van biotechnologie van groot belang.

De commerciële kansen voor biotechnologiebedrijven laten zich vertalen in een financiële dimensie. Echter deze vertaalslag heeft per definitie een subjectief karakter: het gaat immers om inschattingen. De inschattingen van toekomstige marktontwikkelingen (marktpotentie van de producten die voortkomen uit de toepassing van biotechnologie) leveren inzicht in toekomstige opbrengsten. Belangrijk is dat er ook nieuwe mogelijkheden komen voor bedrijven (spin-off activiteiten, waarvan de effecten niet op voorhand te voorspellen zijn). Dit maakt deel uit van strategische visies, noodzakelijk om op de langere termijn ook nog competitief te zijn. Voorts kan er op basis van de verwachte productieomvang die voorziet in de vraag naar deze producten, worden berekend welke consequenties er zijn voor productiekosten.

Naast de bedrijfseconomische gevolgen van marktontwikkelingen (het op de markt brengen van nieuwe producten of bestaande (niet op basis van IBt. geproduceerde) producten tegen lagere kosten) zijn er bedrijfseconomische gevolgen in relatie tot de onderzoeks- en ontwikkelingsactiviteiten. Deze activiteiten vinden zowel in de private als publieke sector plaats. De voordelen hiervan zijn direct meetbaar aan de hand van patenten en octrooien en de hierin verdisconteerde toekomstige marktwaarde van toepassingen ervan. Voorts zijn er financiële baten voor bedrijven die actief zijn op het gebied van onderzoek en ontwikkeling in de vorm van verkregen subsidies. Voor individuele bedrijven is dit weliswaar een baat maar macro-economisch gezien, betreft het hier op zichzelf geen signaal van een meerwaarde (al kan er in het algemeen van worden uitgegaan dat wetenschappelijk onderzoek een bate oplevert voor de samenleving).

Tussen de bedrijven werkzaam in het veld van de biotechnologie doen zich grote verschillen voor. Er zijn immers vele factoren van invloed op de winstgevendheid van afzonderlijke producten en bedrijven. Bovendien kunnen er significante verschillen zijn tussen de parameters en de daarbij relevante aannames die ondernemers hanteren bij de beoordeling van de winstgevendheid op de langere termijn en de winstgevendheid van afzonderlijke producten (Pinsano, 1997). Klassieke bedrijfseconomische prestatiemaatstaven zijn de som van toekomstige kasstromen, de netto actuele waarde van de toekomstige kasstromen en het interne rendement (opbrengsten gerelateerd aan het geïnvesteerd vermogen). Veel voorkomende verschillen bij het inschatten van de winstgevendheid van biotechnologie zijn het gevolg van de verwachtingen omtrent de marktontwikkelingen (in casu hoe reageert de consument op de associatie van een product met biotechnologie). Deze verwachtingen zijn bepalend voor de mate waarin het minimale rendement wordt gerealiseerd. Het geëiste rendement kan bij ondernemingen

zeer uiteenlopen; percentages zullen variëren tussen de minimale waarden die dekkend zijn voor de kapitaalkosten (+/- 4% tot meer dan 20% in de chemische sector).

Een verdere beschouwing van de verschillende manieren waarop ondernemers de toekomstige winstgevendheid beschouwen van investeringen in het algemeen of biotechnologie in het bijzonder, valt buiten het kader van dit rapport. Wel geldt dat indien niet wordt geïnvesteerd in processen waarmee financiële voordelen te behalen zijn, bijvoorbeeld door de hoeveelheid personeel terug te brengen, een concurrentienadeel kan ontstaan. Nalaten zou uiteindelijk kunnen leiden tot bedrijfssluiting met mogelijk nog veel omvangrijker gevolgen voor personeel en economie.

In hoofdstuk 3 worden de cases geanalyseerd op de in economisch opzicht meest relevante aspecten; in hoofdstuk 4 wordt ingegaan op de meer algemene economische vooruitzichten van de sector.

2.3.3 De sociale dimensie van duurzaamheid

De beoordeling van de sociale dimensie in het kader van duurzaamheid is nog vrij nieuw. Zo wordt bijvoorbeeld in het eerdergenoemde recente advies aan de Belgische regering over industriële biotechnologie en duurzame chemie (BACAS, 2004), geen expliciete aandacht besteed aan de sociale aspecten van industriële biotechnologie, de sociaal-economische effecten van veranderd grondstoffen gebruik uitgezonderd. De beoordeling van de dimensie ‘sociale aspecten' kan geplaatst worden in een ontwikkelingslijn van ‘Environmental Reports' in de 90-er jaren (Novo Nordisk, 1995) naar ‘Sustainability Reports' (Novo Nordisk, 2004) halverwege het eerste decennium van de 21^{e} eeuw.

De pogingen om een ‘Sustainability-standaard’ te ontwikkelen, kennen voorlopers in ‘Environmental Management Performance’ modellen (Rondinelli & Berry, 2000, Veleva, 2001, Olsthoorn, 2001). Daarin wordt ook productverantwoordelijkheid geplaatst in een milieuperspectief (Kruszewska & Thorpe, 1995, Wilt, 1997). Het werken met de modellen heeft geleerd, dat de fysieke data het meest eenvoudig zijn te verzamelen. Indicatoren voor bio-diversiteit en substitutie van materialen en processen zijn veel minder eenvoudig toe te passen (Hart, 1999). Tot nu toe wordt op dat terrein daarom vooral gewerkt met kwalitatieve waarderingen.

Met de opkomst van de begrippen ‘Duurzaam Ondernemen’ (Cramer, 2001) en ‘Maatschappelijk Verantwoord Ondernemen’ (GRI, 2002) wordt vooral de kant van de ethiek, waarden, principes en transparantie van organisaties in ogenschouw genomen. Daarmee worden de afzonderlijke activiteiten, met de gebruikte materialen en technieken als coherente onderdelen van een geheel beschouwd. Het is echter wel de vraag in hoeverre specifieke onderdelen, zoals IBt., één van de potentiële instrumenten om duurzaamheid te bevorderen, gescheiden kunnen worden benaderd. Specifieke uitspraken zijn immers moeilijk te verdedigen, bijvoorbeeld wat is aan ‘industriële biotechnologie’ toe te schrijven, wat aan een bedrijf(sbeleid!) en wat aan de maatschappij in het algemeen? In hoeverre dat in de analyse kan worden verwerkt, zal uit de toelichting bij de

duurzaamheidsindicator moeten volgen. Aan de orde is in ieder geval dat in beginsel ook aan IBt.-bedrijven gevraagd kan worden of zij een duurzaamheidsbeleidskader hebben ontwikkeld en geïmplementeerd.

Even zoals dat bij de profit-pijler het geval was, kan ook voor wat betreft de 'people' pijler van het duurzaamheidsbegrip een onderscheid tussen enerzijds het macroniveau van de samenleving als geheel en anderzijds het microniveau van de individuele bedrijven enige structuur bieden.

macroniveau
Op het niveau van een samenleving wordt bijvoorbeeld de sociale duurzaamheid gemeten aan de hand van de Human Development Index (HDI) of de Human Poverty Index (HPI). De eerste index meet factoren als levensverwachting, analfabetisme, scholingsgraad, maar ook het netto inkomen als indicatie van koopkracht. Dit laatste aspect biedt uiteraard ook informatie als economisch criterium voor duurzaamheid. De correlatie tussen de genoemde factoren is in het algemeen hoog; zo kan een hoger inkomen worden aangewend voor betere scholing of gezondheidszorg. De tweede index, HPI, bestaat uit het percentage van de bevolking waarvan kan worden verwacht dat het niet ouder wordt dan 60 jaar, analfabetisme bij volwassenen, het aandeel van de bevolking dat onder de armoedegrens leeft en het percentage inwoners dat lang werkloos is. Aspecten van een andere aard die hier genoemd kunnen worden zijn de mate waarin nieuwe kennis wordt gegenereerd op het gebied van biotechnologie en de implementatie daarvan in educatieprogramma's ter stimulering van de kenniseconomie.

microniveau
In relatie tot het duurzaamheidsgehalte van bedrijven wordt vooral veel aandacht besteed aan de arbeidsomstandigheden (Schmidt & Brunn Rasmussen, 1999). De NGO 'Social Accountability International' (SAI, 1998) werkt in dit kader bijvoorbeeld in het bijzonder aan de verbetering van werkplaatsen en het arbeidsbeleid. In dit verband ontwikkelt zich een internationale standaard voor werkplaatsen, de SA 8000, en een daarmee verbonden verificatiesysteem. Arbeidsbeleid heeft betrekking op de operationalisering van het ondernemingsbeleid ten aanzien van onder meer kinder- en dwangarbeid, gezondheid, veiligheid, vrijheid van vakvereniging, discriminatie, arbeidstijd, lonen- en managementsystemen. De reputatie van internationale ondernemingen en de publieke toegankelijkheid van gegevens over arbeidsomstandigheden in hun vestigingen vormen de voornaamste focus.

Het is voor bedrijven die duurzaamheid breder willen benaderen en die zelf aangeven hun 'sociale verantwoordelijkheid' te nemen bijzonder lastig om exact aan te geven op welke aspecten deze inpassing betrekking heeft (Cramer, 2003). Niettemin doet een groot aantal bedrijven pogingen duurzaamheidsbeleid te implementeren. Volgens Kriström & Lundgren (2003) zijn deze pogingen vooral ingegeven door de wens tot wat wel 'green goodwill' wordt genoemd: een onderdeel van een gunstige bedrijfsreputatie. Voorlopers op dit terrein onder de grote chemische bedrijven zijn bijvoorbeeld DSM met programma's als 'Responsible Care' en 'Triple P' en Shell met de 'Shell Business Principles'.

Ook een betrekkelijk nieuw beoordelingssysteem voor duurzaamheid als de ‘Dow Jones Sustainability Index’ biedt bruikbare aanknopingspunten. De hierbij geïntroduceerde criteria zijn opgesteld als leidraad voor het toetsen van individuele bedrijven. Het World Resources Institute (WRI, 2001) richt zich in haar zoektocht naar indicatoren voor duurzaamheid op vier basiselementen, te weten werknemers gebruiken, contacten met de samenleving, de ethische insteek en de sociale invloed van het product. In dit verband maakt het Global Reporting Initiative (GRI, 2003) een onderscheid tussen enerzijds intern sociaal duurzaam beleid en anderzijds extern sociaal duurzaam beleid.

- *intern beleid*, heeft vooral betrekking op de mate van tevredenheid van de werknemer van het bedrijf. Hieronder vallen:
  - arbeidsomstandigheden
  - werknemersbeloning
  - sociale en arbeidsrelaties
  - gezondheid en veiligheid
  - organisatie ontwikkeling; de lerende organisatie
  - ontwikkeling ‘human capital’
  - training en educatie
  - gelijke kansen
- *extern beleid*, waaronder drie subcategorieën kunnen worden onderscheiden, heeft vooral betrekking op sociale integriteit. Hieronder vallen:
  - 1. mensenrechten
    - strategie en management
    - non-discriminatie
    - vrijheid van vereniging en collectieve onderhandeling
    - kinderarbeid
    - gedwongen arbeid
    - bedrijfsdiscipline
    - veiligheidsmanagement
    - rechten van inheemse volkeren
  - 2. sociale verantwoordelijkheid
    - gemeenschapsactiviteiten, sociale projecten
    - stakeholder betrokkenheid
    - sociaal jaarverslag
    - corruptie en omkoping
    - financiële bijdragen aan politieke partijen
    - concurrentiegedrag en prijsstrategieën
  - 3. productverantwoordelijkheid
    - consumentengezondheid en –veiligheid
    - producten en diensten
    - toelevering standaard
    - advertentiebeleid
    - privacy

De eerste categorie, *intern beleid*, heeft veel te maken met de keuzen die een individueel bedrijf maakt betreffende de wijze waarop het omgaat met haar werknemers. Niettemin kan voor een aantal aspecten als illustratie een verband worden gelegd met de wijze waarop de productie bij een sector als IBt. plaatsvindt. Zo profiteren de arbeidsomstandigheden in het algemeen als minder zwaar werk, zowel in fysieke als psychische zin, wordt verricht, als er minder giftige stoffen worden toegepast en als het gevaar van explosies en incidenten vermindert. Op deze drie aspecten zouden bepaalde toepassingen van IBt. een positief effect kunnen hebben. Verder geldt in een aantal gevallen dat bij IBt. een verschillende industriële processtappen worden samengenomen in één biotechnologische stap. Hierdoor wordt enerzijds doorgaans de hoeveelheid te transporteren grondstof en halffabrikaat geringer, en anderzijds neemt de kans af dat werknemers in aanraking komen met schadelijke stoffen. Men kan in de meeste gevallen ook verwachten dat doordat met biologische organismen wordt gewerkt, de hoeveelheid giftige stoffen geringer is dan in de conventionele chemische industrie. Ook is het aantal installaties dat werkt met hoge temperaturen of druk geringer waardoor het risico op veiligheidsincidenten in termen van kans en effect in het algemeen wordt gereduceerd.

Daar staat met betrekking tot de werknemers enerzijds het mede door regulering sterk beperkte risico tegenover dat onder bepaalde omstandigheden pathogene organismen en GGO's met zich kunnen meebrengen. Het gaat hierbij dan niet meer om toegelaten vormen van industriële biotechnologie, maar om experimenten onder zeer strenge 'containment-eisen' onder laboratoriumomstandigheden. Op de GGO-risicodiscussie wordt in het vervolg nader ingegaan. Anderzijds staat er tegenover dat een vermindering van processtappen bij gelijkblijvende omzet in beginsel per saldo een afname van werkgelegenheid met zich zal meebrengen. Ook hier geldt uiteraard dat niet alle bedrijven daarbij over één kam geschoren kunnen worden.

Voor wat betreft het vereiste kennisniveau van de betrokken werknemers kan feitelijk geen onderscheid met de chemie worden verwacht. En ook voor wat betreft het laatste criterium dat in het bovenstaande wordt genoemd, 'gelijke kansen', is het niet eenvoudig een relatie met biotechnologie te leggen. In het algemeen kan voor wat betreft het interne beleid worden vastgesteld dat de toepassingen van IBt. zullen vragen om scholingstrajecten van het personeel binnen een transparant beleidskader van veiligheids- en ethische afwegingen die in zijn algemeenheid vergelijkbaar zijn met die in de chemie.

De tweede door GRI (2003) genoemde categorie, *extern beleid*, heeft in zijn algemeenheid vooral betrekking op de sociale integriteit van een onderneming. Hieronder vallen diverse vormen van maatschappelijke verantwoordelijkheid inzake mensenrechten, sociale en product verantwoordelijkheid. De in het bovenstaande van GRI (2003) afkomstige aspecten hebben vooral betrekking op het externe beleid van bedrijven in het algemeen. Het zal bij IBt. echter specifiek gaan om het veiligheidsmanagement en de ethische aspecten van productie en producten. Dit betekent onder meer dat de keuze voor IBt. een gedegen onderbouwing door het management met zich mee zal meebrengen. Niettemin zijn er voorbeelden waarbij de keuze wat eenvoudiger wordt. Zo geldt voor de textielindustrie dat IBt. sommige vormen van ongezond werk in ontwikkelingslanden overbodig maakt. Een vaak genoemd illustratief voorbeeld zou het 'stonewashen' van

denim zijn. Dit blekingsproces zou in bepaalde gevallen hebben geleid tot kinderarbeid, terwijl nu via IBt. een milieuvriendelijker resultaat met enzymen kan worden bereikt. Ook de biotechnologische productie van voedsel als vervanging van producten die worden geproduceerd met behulp van hogere diersoorten levert ethische voordelen op. Zo kan dierenleed in beginsel verminderen als vlees niet meer van koe, schaap of varken afkomstig is, maar hetzelfde resultaat wordt geleverd door een micro-organisme. Ook kan met behulp van IBt. worden voorzien in producten die vergelijkbaar zijn met bijvoorbeeld melk of andere klieruitscheidingen. Een derde voorbeeld betreft de inzet van bio-herbiciden die onder meer vanwege hun afbreekbaarheid en selectiviteit vaak minder negatieve bij-effecten hebben dan de conventionele pesticiden.

We hebben in de casestudies van dit onderzoek eerst getracht de waardering van de dimensie ‘sociale aspecten' uit te werken in twee tabellen, één met indicatoren voor intern beleid en één met indicatoren voor extern beleid. De sociale indicatoren van het externe beleid worden hierbij onderscheiden in mensenrechten, sociale en product verantwoordelijkheid. Binnen die categorieën worden specifieke indicatoren onderscheiden. De geformuleerde indicatoren in deze tabellen zijn gecompileerd vanuit de Global Reporting Inventory (GRI, 2003), Social Accountability (AA 1000, 2001), Shell Business Principles (Shell, 2002), Shell Global Solutions Sustainability Assessment (Cunningham, 2004) en de Dow Jones Sustainability Index 2004. Behoudens de Shell Global Solutions Sustainability Assessment (SGS Sustainability Assessment), zijn de indicatoren in alle bovengenoemde benaderingen opgesteld als leidraad voor het toetsen van individuele bedrijven. Bij een eerste invulling voor de cases zijn de tabellen met indicatoren voor de sociale dimensies van intern en extern beleid gewaardeerd met de classificatie van de Shell Global Solutions Sustainability Assessment met betrekking tot de kwalitatieve afweging van het specifieke van de toepassing ‘Industriële Biotechnologie' ten opzichte van de bestaande activiteiten. De kwalitatieve waarderingsschaal van de indicatoren loopt van ‘Duurzamer' (0) naar ‘Minder Duurzaam' (5) (Cunningham, 2004), zie tabel 2.1.

Tabel 2-1 Scaling of the sustainability assessment matrix

Scoring	0	1	2	3	4	5	NA
Impact	Negligible	Low	Low/medium	Medium	Medium/high	High	Not applicable

From left to right, the scores range from more sustainable (0) to less sustainable (5)

De scores van alle indicatoren kunnen worden getotaliseerd, waardoor het percentage ‘unsustainability' per dimensie kan worden bepaald. Ter illustratie, maximale onduurzaamheid, heeft een score van 5 op de impactschaal, bij een te verwaarlozen impact, met maximale duurzaamheid als resultaat, geldt een score 0. Vergelijking van verschil in percentage ‘unsustainability’ tussen producten of productieroutes met en zonder IBt. kan langs deze weg een indicatie geven voor de vraag of het ene meer of minder duurzaam is dan het andere.

Uit toepassing van de gedetailleerde opzet van de tabellen met een mix van traditionele en nieuwe sociale indicatoren voor intern en extern beleid bleek echter dat de mix van indicatoren op verschillende systeemniveaus, zoals bedrijfsniveau en productniveau, een oneigenlijke vergelijking geeft. Voorts is geconstateerd dat er weinig data, hetzij op

bedrijfsniveau, hetzij op productniveau, beschikbaar zijn voor een relevante vergelijking. De vermelding met scores geeft aan, dat er meer indicatoren niet gescoord kunnen worden dan wel. Tenslotte vraagt de kwestie van systeemgrenzen op productniveau speciale aandacht. Er kan bijvoorbeeld van worden uitgegaan dat de subsidie voor landbouw producten, verbouwd in Japan, Europa en de Verenigde Staten, zal wordt verminderd. Daarnaast is het duidelijk dat de EU zijn moratorium op gengewassen gaat opheffen. Welke implicaties dit zal hebben voor de verschillen tussen rijke en arme landen en welke kansen dit oplevert voor ontwikkelingslanden is niet eenvoudig aan te geven. Om hier een goed beeld van te krijgen zal dit type omgevingsontwikkelingen met sociaal-economische consequenties, in een ruimer tijdskader nader onderzocht (onder meer naar de grondstofwinning) moeten worden.

Om toch enig inzicht te krijgen in de sociale indicatoren wordt de waardering in dit rapport beperkt tot de sociale indicatoren van de SGS Sustainability Assessment (Shell 2002). Deze zijn beperkter in aantal dan die uit de eerder genoemde gecompileerde overzichten (zie tabel 2.2.) en kunnen met behulp van de duurzaamheidsschaal van de sustainability assessment matrix worden ingevuld.

Tabel 2-2 Sociale Indicatoren volgens de SGS Sustainability Assessment

Sociale Indicatoren	Waardering IBt. via schaal sustainability assessment matrix	
	IBt. wel toegepast	IBt. Niet toegepast
Gepercipieerd risico		
Effect op volksgezondheid		
Effect op werkgelegenheid		
Waarschijnlijkheid bedrijfsongeval		
Beperking van product beschikbaarheid		
Invloed van veranderd gebruiksgedrag op basis van product kenmerken		
Noodzaak van training van medewerkers		
Voldoen aan wetgeving		
Product Baten: ‘gemak’		
Sommatie van sociale indicatoren		
Percentage onduurzaamheid		
Verschil in percentage (meting duurzaamheid)		

Ook voor de sociale indicatoren van de SGS Sustainability Assessment geldt dat niet alle gegevens beschikbaar zijn. Verder komt, indien indicatieve data beschikbaar zijn, de basis voor de waardering in de score aan de orde. In de publieke perceptie is de inzet van GGO’s in IBt. nagenoeg identiek aan inzet van genetisch gemodificeerde landbouwgewassen. Bij biotechnologie speelt de publieke perceptie tegenover GGO’s daarom in het algemeen een sterke rol. Ook bij industriële biotechnologie wordt met name de voedingmarkt gekenmerkt door een hoog gepercipieerd risico op basis van grote onzekerheid en maatschappelijke bezorgdheid. ‘Industriële Biotechnologie’ wordt al lang

in de productiepraktijk (zoals in de yoghurt processen) toegepast en in meer dan 90% van de toepassingen is er geen relatie met GGO's. Ook is soms sprake van GGO-vrije eindproducten waarbij eerder in de productieketen een grondstof met GGO is geproduceerd. Toch is de GGO-relatie beeldvormend, waardoor de assessment van het gepercipieerde risico als sociale indicator van 'Industriële Biotechnologie' met een hoger cijfer (minder duurzaam) beoordeeld moet worden.

2.4 Risico's Genetisch Gemodificeerde Organismen

2.4.1 De risicodiscussie

Genetische modificatie houdt in dat door de mens in het DNA van levensvormen, rechtstreeks (dus niet via manipulatie van omgevingsfactoren) genetisch materiaal is gewijzigd. Het kan daarbij zowel gaan om soorteigen als soortvreemd genetisch materiaal. Bij soortvreemd materiaal worden zodoende eigenschappen toegevoegd aan een populatie of soort. De eventuele risico's die hiermee samengaan zijn voor een deel nog onbekend en worden door verschillende groeperingen in de maatschappij geheel verschillend ingeschat. In het onderstaande worden de argumenten nader uiteen gezet.

De risicodiscussie concentreert zich op verschillende terreinen:

1. Directe gezondheidsrisico's gerelateerd aan de consumptie van genetisch gemodificeerde voedselgewassen (groene biotechnologie). Het gaat hier dus om het risico van een product, niet van het productieproces. Vaak wordt in dit verband gewezen op allergieverschijnselen in relatie tot eiwitten, maar hiervan zijn in de praktijk nooit voorbeelden vastgesteld. Gemodificeerd voedsel wordt vaak als 'eng' gepercipieerd, het zogenaamde 'Frankenstein-voedsel' of 'Frankenfood'. In wetenschappelijke zin bestaat geen onderbouwing voor deze risicoperceptie.
2. Ethische bezwaren, al dan niet met een religieuze dimensie; door aan genetisch materiaal te 'knoeien' wordt de integriteit van soorten aangetast.
3. Milieu- of gezondheidseffecten veroorzaakt doordat de GGO in de natuur en / of de nieuw ingebrachte eigenschap in niet-doelpopulaties of –soorten terechtkomt. Bij de vergunningverlening moet aannemelijk worden gemaakt dat de GGO bij ontsnapping geen risico vormt voor mens en milieu. Dat houdt in dat de kans op negatieve effecten in de praktijk buitengewoon klein is. Niettemin houden dit soort vragen velen bezig.

De eerste discussie staat vooral in verband met agrarische biotechnologie en is voor deze studie daarom slechts indirect relevant. Het eindproduct van IBt. is immers GGO-vrij, ook als het wel met GGO's wordt geproduceerd. In de biotechnologische toepassingen in de landbouw worden de GGO's vaak zelf geconsumeerd. De tweede discussie is wel relevant, maar speelt zich af op het terrein van normen en waarden. In dit rapport beperken we ons tot rationeel-wetenschappelijke argumenten. Niet de vraag naar goed of slecht, maar naar waarschijnlijk of niet-waarschijnlijk is van belang in dit rapport. Op ethische argumentaties gaan we verder niet in. Op de derde discussie, de risico's verbonden met verspreiding van GGO's in het milieu, wordt in het onderstaande wel nader ingegaan.

Van nature veranderen soorten in de tijd via evolutionaire processen. Kleine wijzigingen in het genetisch materiaal van organismen treden vanzelf op via foutjes bij de reproductie of onder invloed van straling: het proces van mutatie. Deze wijzigingen kunnen worden doorgegeven aan de volgende generatie en verschijnen zo in de genenpool van de populatie. De omgeving bepaalt welke van deze veranderingen gunstig zijn en zich dus handhaven of zelfs uitbreiden: het proces van natuurlijke selectie. De snelheid van evolutie is verschillend voor verschillende organismen, enerzijds vanwege de reproductiesnelheid en anderzijds vanwege de verschillende manier van uitwisselen van genetisch materiaal. In vergelijking tot planten en dieren is de evolutiesnelheid van micro-organismen buitengewoon hoog.

Het veranderen van soorten door de mens is niet nieuw. In de landbouw en ook in de ‘klassieke’ biotechnologie gebeurt dat al vele eeuwen. Er is echter wel een verschil. In de landbouw en de klassieke biotechnologie is de natuurlijke selectie, die bepaalt in welke richting soorten zich ontwikkelen, overgenomen door de mens. Mutatie, de random wijzigingen in het genetisch materiaal en daarmee de bron van de veranderingen, is nog steeds een natuurlijk proces. Hoewel de menselijke selectiedruk zeer sterk kan zijn en de mutatiesnelheid kan worden opgevoerd, zo worden bij de veredeling van micro-organismen hoogwaardig technologische mutatietechnieken gehanteerd die op zichzelf allesbehalve natuurlijk zijn, geldt dat de veranderingen die optreden op zichzelf allemaal ‘natuurlijk’ zijn. Door de introductie van genetische modificatie grijpt de mens niet alleen in bij de selectie, maar kan het ook genetische veranderingen introduceren die niet van nature kunnen voorkomen. Dit geldt het sterkst voor de rijk-overschrijdende genetische modificaties (bijvoorbeeld, inbrengen van een diergen in een plant of schimmel).

Veel genetische modificaties die worden aangebracht hebben overigens niet als doel een soortvreemd gen tot overexpressie te brengen, maar om een eigen gen van het organisme tot overexpressie te brengen of een gen van het organisme dat ongewenste eigenschappen heeft uit te schakelen. In principe zijn dit soort recente toepassingen van biotechnologie ook te bereiken via klassieke mutatie en selectie, maar vanwege het ‘black box’ karakter van die techniek duurt het (meestal) veel langer voordat het gewenste resultaat wordt behaald.

Tabel 2-3 Mutatie en selectie

	Natuur	**Landbouw en 'klassieke' biotechnologie**	**Genetische modificatie**
Mutatie	Random hoewel bacteriën en schimmels kunnen sturen	Random, de mutatie op zichzelf is random, maar de mens kan wel voorwaarden aanbrengen die de kans vergroten dat een bepaalde mutatie zich voordoet (veredeling)	Mensgestuurd
Selectie	Natuurlijk	Mensgestuurd, tot het moment dat uitkruising plaatsvindt	Mensgestuurd, tot het moment dat uitkruising plaatsvindt

Afgezien van de ethische kwestie, is het de vraag of het menselijk ingrijpen in de natuurlijke processen van mutatie en selectie tot ongewenste effecten kan leiden. Voor wat betreft IBt. kan dat bijvoorbeeld het geval zijn wanneer:

1. de eigenschap vanuit de ingeperkte omgeving in het milieu terecht komt, via het bij IBt. gebruikte GGO;
2. de eigenschap een evolutionair voordeel aan het GGO biedt, of dat dit althans niet nadelig is, zodat het zich buiten kan handhaven;
3. de eigenschap nadelige gevolgen heeft voor mens en / of milieu.

Drie criteria zijn in beginsel niet van toepassing op processen van industriële biotechnologie.

1. Het gesloten karakter van IBt.-processen en de toepassing van organismen die buiten de gesloten industriële omgeving doorgaans niet kunnen overleven, verkleint de kans op ontsnapping sterk;
2. In sommige gevallen worden organismen zodanig bewerkt dat de kans op evolutionair voordeel nagenoeg wordt uitgesloten (ze worden 'kreupel' gemaakt), daardoor zullen de GGO's niet snel een natuurlijke populatie vormen;
3. De toepassing van pathogene of toxische organismen is bij IBt. niet toegestaan, zodat de kans op nadelige gevolgen voor mens en milieu minimaal is.

Bovenstaande eigenschappen staan met name in de agrarische, 'groene' biotechnologie ter discussie. Om het onderscheid met IBt. te verduidelijken het volgende. In toepassingen van biotechnologie in de landbouw worden GGO's (planten) na een eventuele experimentele periode buiten geplant, waardoor zij direct in contact staan met de natuurlijke omgeving. Kruising met niet-gemodificeerde populaties van dezelfde soort komt regelmatig voor. Uitkruisen van de nieuwe eigenschap naar andere soorten is niet gemakkelijk vanwege de soortbarrière. Toch is dit ook bij steriele of niet bloeiende planten via bacteriën in de praktijk mogelijk en ook aangetoond. Zo kunnen eigenschappen als ingebouwde insecticiden of herbicidenresistentie in niet-doelpopulaties terechtkomen, met name van directe wilde verwanten (zie o.a. Zemetra, 1998;

Wolfenbarger & Phifer, 2000; Snow et al, 2001). Ook bij uit de IBt. vrijkomende GGO's is het in beginsel mogelijk dat genetisch materiaal in andere soorten terecht komt, bijvoorbeeld via bacteriën of virussen (horizontale gene transfer: zie o.a. Lagida et al., 2003; Nielsen et.al., 1998). Door composteren kan het risico op de aanwezigheid van opneembaar DNA worden geminimaliseerd.

Hoewel het vóórkomen van 'superweeds' behoort tot de agrarische biotechnologie, mag vanwege de rol in de publieke perceptie die dit bekende en veel genoemde voorbeeld speelt, hier niet ontbreken. Het gaat om onkruiden die zeer moeilijk te bestrijden zijn vanwege genetisch ingebouwde resistenties. Inderdaad is dit verschijnsel gesignaleerd en mag het als een negatief effect worden beschouwd (Hall et al., 2000; Heap, 2000). Op de website www.weedscience.org, beheerd door de Herbicide Resistance Action Committee, de North American Herbicide Resistance Action Committee en de Weed Science Society of America, worden wereldwijd gesignaleerde gevallen bijgehouden. Overigens wordt dit door het Ministerie van VROM beschouwd als een puur agrarisch probleem (het valt ook buiten het bereik van Richtlijn 2001/18), daar het is verbonden met pesticidengebruik in de landbouw (en niet in de natuur). Na beëindiging van het gebruik van betreffende onkruidbestrijdingsmiddelen verdwijnt in de praktijk ook het superonkruid weer.

Voor grote zoogdieren lijkt ontsnappen en uitkruisen, zeker in Nederland, moeilijker voorstelbaar. Deze dieren zullen zich in het wild niet gemakkelijk kunnen handhaven en het aantal aanwezige natuurlijke verwanten is beperkt. Voor water- en vooral zeedieren ligt dat anders (zie o.a. Muir & Howard, 2002). Omdat zeeën met elkaar verbonden zijn doen zich veel minder natuurlijke barrières voor dan op land. Bijvoorbeeld voor gemodificeerde zalm, die gekweekt wordt in zee, is ontsnappen niet te voorkomen. Kruisen met wilde verwanten vindt eveneens plaats. Dit kan gevolgen hebben voor de genetische samenstelling van de natuurlijke zalmpopulaties (Hedrick, 2001). Een rapport van de Pew Initiative on Food and Biotechnology (Anonymus, 2003) bevat een groot aantal referenties.

Hoewel het gaat om een uiterst kleine kans, is zoals uit het bovenstaande mag blijken, ook bij industrieel biotechnologische processen met gemodificeerde micro-organismen nooit helemaal uit te sluiten dat een bepaalde eigenschap zich toch zal kunnen verspreiden. De wisselwerking van genen is een ingewikkeld onderwerp waaraan nog veel te onderzoeken valt (zie o.a. Jones, 1999). Bacteriën hebben in de regel weinig problemen met het nemen van de soortbarrière en wisselen van nature genetisch materiaal uit via horizontal gene transfer (Syvanen, 1999; een lijst van publicaties is te vinden op http://www.biotechinfo.net/risks.html#genetransfer). Bacteriën zijn ook in staat DNA uit het milieu op te nemen. Dit DNA, afkomstig van dode organismen, kan in de bodem lang bewaard blijven gebonden aan bodemdeeltjes. Organisch afval uit biotechnologische processen dat gebruikt wordt als meststof of bodemverbeteraar kan zo een bron van DNA vormen, zelfs wanneer de organismen eerst zijn afgedood (Doblhoff-Dier et al., 2000; Davison, 1999; Nielsen et al., 2000). Monitoring heeft echter aangetoond dat dit verschijnsel in de praktijk beperkt is (Andersen et al., 2001).

Naast de kleine kans op doorgeven van genetische eigenschappen is het vervolgens nog de vraag er vervolgens nadelige milieu- of gezondheidseffecten optreden. Bij de vergunningverlening wordt rekening gehouden met de pathogeniteit van het organisme. Dit speelt vooral in verband met medische, 'rode', biotechnologie. Micro-organismen uit de industriële biotechnologie zijn in beginsel niet pathogeen. Hoewel niet waarschijnlijk, is het denkbaar dat bepaalde eigenschappen toch tot nadelige effecten kunnen leiden, bijvoorbeeld via het tot expressie komen van voorheen latente genen of via een combinatie met andere eigenschappen. Inmiddels is meer dan twintig jaar ervaring opgedaan met grootschalige toepassing van IBt. en zijn nadelige effecten op dit terrein uitgebleven. In de volgende tabel wordt de bijzondere positie verduidelijkt die micro-organismen hebben (die bij IBt. worden gehanteerd) ten opzichte van agrarische en medische biotechnologie.

Tabel 2-4 GGO's en het milieu

	Micro-organismen (Industriële Bt.)	**Planten (niet bij IBt.)**	**Dieren (niet bij IBt.)**
Kans op vrijkomen in het milieu	Zijn in IBt. contained, maar ontsnappen niet 100% uit te sluiten; uitkruisen relatief gemakkelijk	Zijn in veel gevallen al buiten, soortbarrière aanwezig maar niet altijd onneembaar	Vooral bij zeedieren is de kans aanwezig
Evolutionair voordeel	Onwaarschijnlijk, want biologisch ingeperkt, dus in beginsel geen evolutionair voordeel	Soms (bijv. herbicidenresistentie)	Soms (bijv. snelle groei)
Nadelige eigenschap	Onwaarschijnlijk, want GGO's met nadelige eigenschappen worden niet goedgekeurd om op grote schaal in normale fermentoren te worden gebruikt	Soms (bijv. 'superweeds')	Soms (kan gevolgen hebben voor de visserij)

Concluderend kunnen we stellen dat de kans op verspreiding van genetisch gemodificeerde micro-organismen uit de industriële biotechnologie klein is, maar niet volledig afwezig. De risico's daarvan zijn niet geheel bekend. Uit de onderzoeken die tot op heden zijn uitgevoerd kan geen substantieel risico worden aangetoond. Hoewel dus in de praktijk geen negatief effect is aangetoond, blijft op grond van het voorzorgsprincipe ('precautionary principle') waakzaamheid geboden. Er bestaan diverse algemeen geaccepteerde risicoprotocollen. Het besluit GGO, invulling van richtlijn 98/81, is hier een duidelijk voorbeeld van. In bijlage C wordt nader ingegaan op de procedure van vergunningverlening en advisering.

2.4.2 Risico-analyse

De discussie aangaande de veiligheidsmaatregelen en vergunningsvoorwaarden versus risicoanalyse die in het verleden heeft gespeeld bij emissies van chemische stoffen is ook van toepassing op emissies van Genetisch Gemodificeerde Micro-Organismen (GGMO's). De vergunningverlening met betrekking tot emissies en calamiteiten kan heel strikt zijn, maar dat betekent niet dat er geen effecten zijn. Continue, heel kleine emissies kunnen op de lange duur tot normoverschrijdingen of effecten leiden, bijvoorbeeld door ophoping in het milieu of door synergie met andere emissies of in het milieu al aanwezige stoffen. Ook aan deze effecten kan gerekend worden.

Voor calamiteiten met betrekking tot emissies van chemische stoffen of straling bestaan reeds geruime tijd goed functionerende gestandaardiseerde risicoanalysemodellen (Committee for the Prevention of Disasters, 1999). Deze modellen zijn opgebouwd volgens het kans x effect principe: enerzijds wordt rekening gehouden met de kans op een ongewenste gebeurtenis, zoals het falen van een installatie, anderzijds met de omvang van het effect, mocht zo'n gebeurtenis plaatsvinden. Het effect wordt berekend met atmosferische verspreidingsmodellen en gezondheidskundige normen, vastgesteld door de WHO. Bij de vergunningverlening dient kans x effect beneden de wettelijk vastgestelde norm te liggen. Daarnaast zijn er risicoanalysemodellen die iets zeggen over de mogelijke effecten van continue lage emissies. Deze modellen zijn gebaseerd op verspreidingsmodellen, die van een bepaalde emissie beschrijven of voorspellen waar deze naar toe gaat, tot welke evenwichtsconcentraties die kan leiden in water, bodem en lucht en wat daarvan de effecten kunnen zijn op mens en natuur op basis van 'no-effect-levels' of normen voor aanvaardbare concentraties in de milieucompartimenten (EC, 1996). De LCA methode maakt gebruik van deze gestandaardiseerde risicomodellen om 'impact factors' af te leiden juist ten aanzien van de continue, kleine emissies.

Dergelijke modellen, die in de loop van vele jaren zijn ontwikkeld en geperfectioneerd, zijn echter niet zonder meer bruikbaar voor het beschrijven van de verspreiding en effecten van ontsnapte GGMO's bij de bepaling van LCA's. De kansberekeningen in de calamiteitenmodellen die betrekking hebben op de betreffende installaties zijn vermoedelijk wel te gebruiken, maar de verspreidingsmodellen niet. Het wezenlijke verschil is dat het gaat om de verspreiding van genetische informatie, niet van stoffen. Stoffen worden door verspreiding verdund en accumuleren of breken af in de tijd, afhankelijk van de stof. De concentratie in het milieu gedraagt zich voorspelbaar en is rechtstreeks af te leiden van de omvang van de emissie. Bij een emissie van genetische informatie is dit niet het geval. Eenmaal in het milieu kan de genetische eigenschap geheel verdwijnen maar kan zich ook vermenigvuldigen. Ook het optreden van ongewenste effecten valt niet in te schatten met no-effect levels. Het effect van in het milieu gebrachte genetische informatie hangt ook af van de omgeving, en met name van de genetische context. Zolang het gaat om eigenschappen die van nature ook al voorkomen in de brede groep van micro-organismen, zou men kunnen zeggen dat er geen extra risico is. Immers deze eigenschap is reeds aanwezig in het milieu en kan ook nu al uitgewisseld worden. Gaat het om geheel nieuwe eigenschappen, dan kan alleen maar worden vastgesteld dat de risico's onbekend zijn.

Een belangrijke vraag is nu hoe een dergelijk risicoanalysemodel voor emissies van genetische informatie opgebouwd zou moeten worden. In de literatuur zijn enkele publicaties over dit onderwerp te vinden. In deze publicaties wordt een schema gepresenteerd voor risicoanalyse en wordt kwalitatief op enkele belangrijke aspecten ingegaan (Koivisto et al, 2002; Steinhauser, 2001a en b). De auteurs stellen risicoklassen voor, van licht naar zwaar. Dit verschilt niet van wat er bij de vergunningverlening gebruikelijk is. Een kwantificering lijkt nog ver weg te zijn. Bij een dergelijke kwantificering is in elk geval duidelijk dat een milieuverspreidingsmodel zoals gehanteerd wordt voor emissies van chemische stoffen niet adequaat is. Zo'n model zou een biologische grondslag moeten hebben en er zouden in elk geval aspecten van genetica en evolutie in opgenomen moeten worden. Gedacht zou kunnen worden aan aansluiting bij de HACCP methode (Forsythe, 2002), waarin risico's voor de voedselketen worden beoordeeld (Heemskerk, 2003). Het gaat daarbij ook om micro-organismen. Ook kunnen wellicht analogieën gevonden worden in de exotenproblematiek (zie voor een overzicht met veel referenties de website van de ISSG van de IUCN: www.issg.org). In feite gaat het bij exoten (invasive species) ook over vreemd genetisch materiaal en hoe dat zich handhaaft in een nieuwe omgeving. Een vuistregel die hier wel wordt gehanteerd is dat 1 op de 1000 introducties tot problemen leidt: 1 op 10 kan zich vestigen, 1 op 10 daarvan kan zich op termijn handhaven, en 1 op 10 daarvan kan tot plaag uitgroeien (Kuijken et al., 2001). Deze vuistregel is vanzelfsprekend niet rechtstreeks toepasbaar – bij exoten gaat het immers om soorten die allang hebben aangetoond levensvatbaar te zijn – maar het idee is vergelijkbaar.

Concluderend kan worden vastgesteld dat in dit verband geen kwantitatief risicoanalysemodel voor verspreiding en effecten van genetische informatie beschikbaar is, maar dat daar wel behoefte aan is. Het zou op andere grondslag gebaseerd moeten zijn dan het verspreidings- en effectgedeelte van de chemische risicoanalysemodellen.

2.4.3 Life Cycle Assessment en Genetisch Gemodificeerde Organismen

Zoals eerder naar voren kwam kan door middel van het uitvoeren van een LCA inzicht worden verkregen in de milieugevolgen van biotechnologische producten. Zo kunnen op IBt. gebaseerde productieroutes worden vergeleken met de bestaande chemische alternatieven. Bepaalde vormen van milieu-impact, zoals bijvoorbeeld 'calamiteiten' zijn evenwel niet eenvoudig in te passen in de LCA-methodologie. Dit geldt zeker ook voor risico's die zijn verbonden met GGO's.

In LCA worden van alle processen van de gehele van-wieg-tot-graf keten de inputs en outputs gespecificeerd. Dat beperkt zich dus niet tot de productieprocessen, maar omvat ook energiegebruik, winning van grondstoffen, transport, consumptie en afvalverwerking. Van de gehele keten worden de milieu-inputs en -outputs bij elkaar opgeteld. Dit leidt tot een lange lijst van ontrekkingen uit en emissies naar het milieu. Deze lijst wordt vervolgens vertaald in bijdragen aan 'impact categories', zoals uitputting, verzuring, toxiciteit, broeikaseffect enz. Hiervoor wordt gebruik gemaakt van effectgegevens

(bijvoorbeeld toxiciteitsgegevens) en een milieuverspreidingsmodel. Deze worden 'platgeslagen' om in het LCA stramien te passen. Dit 'platslaan' is een abstract proces dat ertoe moet leiden dat tijd en ruimte uit de vergelijking verdwijnen. Het resultaat is een vertaling in termen van equivalenten. Voor het broeikaseffect wordt de bijdrage van alle stoffen weergegeven in CO_2-equivalenten, voor verzuring in H+ equivalenten, enzovoorts.

Om een nieuwe 'impact category', zoals effecten van de emissie van GGO's, in LCA kader op te nemen moet er allereerst een algemeen geaccepteerd risicomodel zijn. Dit model moet vervolgens vertaald worden in LCA-termen (het proces van platslaan). Zolang er niet zo'n algemeen geaccepteerd risicomodel is, kan een dergelijk nieuw thema niet op de gebruikelijke wijze deel uitmaken van een LCA. Tot dat moment zal het apart of schetsmatig meegenomen moeten worden, zoals bijvoorbeeld door Jank et al. (1999) wordt voorgesteld. Er is zelfs twijfel aan het nut om dit type risico's in LCA op te nemen: ontsnappingen van GGO's zouden wellicht eerder als discontinuïteit gezien moeten worden dan als een min of meer continue emissie of onttrekking, en zouden alleen daarom al niet binnen de LCA-methodiek zijn in te passen. Dat zou betekenen dat er naast LCA nog andere methoden gebruikt moeten worden om de milieurisico's af te schatten. Op zichzelf is daar niets op tegen. Ook voor de andere duurzaamheidsaspecten (economisch en sociaal) moeten aanvullende methoden of modellen worden gebruikt. Bovendien zijn ook sommige van de meer gangbare milieueffecten niet bevredigend in de LCA methodiek opgenomen, hoewel dat gemakkelijker zou zijn dan het opnemen van de risico's van het gebruik van GGO's. Gedacht kan worden aan bijvoorbeeld uitputting van watervoorraden, landgebruik en uitputting van biotische voorraden. Wanneer dit relevant is, zal ook op deze gebieden de LCA aangevuld moeten worden.

Een belangrijke conclusie is dat het voorlopig niet mogelijk is het potentiële milieueffect van GGO's op te nemen in het LCA kader op een manier die vergelijkbaar is met de andere milieu-thema's. Misschien is dit overigens vanwege incompatibiliteit met de methodische uitgangspunten van LCA, wel helemaal niet mogelijk, net als het optreden van calamiteiten niet in het LCA-kader past.
Uit het bovenstaande blijkt voorts dat het niet mogelijk is kwantitatieve uitspraken te doen over de risico's voor het milieu van het gebruik van GGO's. Op grond hiervan is in dit onderzoek gekozen een kwalitatieve analyse van elk van de cases. Dit geschiedt in de vorm van een checklist. Dergelijke checklists worden ook gebruikt in de vergunningverleningsprocedure. Voor het doel van deze studie hanteren we een vereenvoudigde versie met de volgende vragen:
Vraag 1: is er sprake van het gebruik van GGO's?
Vraag 2: waar gaat het specifiek om (soort organisme, eigenschap)?
Vraag 3: is er iets te zeggen over de kans op ontsnappen?
Vraag 4: is er iets te zeggen over de levensvatbaarheid in het milieu?
Vraag 5: bestaat er kans op uitwisselen van de eigenschap buiten de doelpopulatie?
Vraag 6: biedt de eigenschap mogelijk een evolutionair voordeel?
Vraag 7: zou de eigenschap ongunstig kunnen uitpakken, d.w.z. kan leiden tot aantasting van gezondheid, natuur of economische waarden?

3 Casestudies

3.1 Introductie

Dit hoofdstuk beschrijft de case studies, zoals die geselecteerd zijn in het project. In paragraaf 3.2 wordt eerst aandacht besteed aan de scope van de casestudies en worden de gekozen cases kort belicht. In de daarop volgende paragrafen worden de geselecteerde cases op ecologische, sociale en economische duurzaamheidaspecten geanalyseerd.
Voor de ecologische analyse wordt gebruik gemaakt van de levenscyclusanalyse (LCA) methodiek. LCA is een methode waarmee de milieuaspecten van producten en diensten over de gehele levenscyclus (van wieg tot graf) in kaart kunnen worden gebracht. Dit gebeurt zoveel mogelijk kwantitatief en daarbij wordt een zo breed en relevant mogelijk spectrum van milieueffecten meegenomen. Eén van de centrale doelen van de LCA-methodiek is om een totaalbeeld te verkrijgen van de milieueffecten van een product of dienst en daarbij tot suggesties voor verbeteringen te komen zonder milieuproblemen af te wentelen naar andere milieuthema's of naar andere delen van de levenscyclus. Voor een uitgebreidere informatie over de LCA methodiek, verwijzen we hier naar Guinée *et al.* (2002).

De LCA methodiek bestaat uit vier fasen:

1. vaststelling van doel en reikwijdte (goal and scope definition);
2. inventarisatie (life cycle inventory analysis);
3. effectbeoordeling (life cycle impact assessment);
4. interpretatie (life cycle interpretation).

In deze vier fasen worden alle keuzes, systeemafbakeningen en berekeningen gemaakt en verantwoord. Binnen de beperkingen van deze studie was het niet mogelijk om voor de drie cases volledige LCA studies uit te voeren. Daarom wordt waar mogelijk gebruik gemaakt van reeds uitgevoerde LCA studies voor de cases en daar waar deze niet beschikbaar zijn, wordt een versimpelde en verkorte LCA uitgevoerd. In principe hoort elke LCA studie per fase gerapporteerd te worden, maar vanwege de beperkte diepgang van de hier uitgevoerde LCA's is de rapportage ingedikt en volgt deze niet meer de fasen.

3.2 Algemene scope casestudies en selectie cases

Het selectieproces van de casestudies in het onderzoek vond plaats in overleg met de begeleidingscommissie van het onderzoek. Daarbij is nadrukkelijk gesteld dat generalisaties over ‘de’ industriële biotechnologie op basis van een kleine selectie van cases niet goed te maken zijn. Hierbij zijn de volgende uitgangspunten van belang.

- De cases zijn gebaseerd op bestaande industriële bio-technologie, die reeds nu, of na beperkte ontwikkeling op industriële schaal toegepast wordt.
- De biotechnologische variant wordt vergeleken met een conventioneel proces dat producten oplevert van vergelijkbare functionaliteit.
- Primair ligt de focus op Nederland als voorbeeld van een Europees land.

- Voor de achterliggende gegevens wordt uitgegaan van bestaande (wetenschappelijke) studies.

In overleg met de begeleidingscommissie zijn de volgende onderwerpen voor de case-studies gekozen:

- **Biobrandstoffen** voor motorvoertuigen.
- **Bioplastics.**.
- **Chymosine** ten behoeve van de kaasproductie.

Bioethanol in motorbrandstoffen

Biologische grondstoffen kunnen als vloeibare brandstoffen worden gebruikt in voertuigen en vormen daarmee een hernieuwbaar alternatief voor benzine en diesel. Eén van de transitieprojecten van het Ministerie van Economische Zaken betreft 'biomassa transitie'; het gaat hierbij om een omschakeling naar een 'biobased economy' waarbij op lange termijn wordt overgegaan tot grootschalige inzet van biomassa voor motorbrandstoffen, energieopwekking, nieuwe bouwstenen en polymeren zoals plastics en 'high-performance' materialen.

Op dit moment zijn de volgende biobrandstoffen beschikbaar en technisch bewezen.

1. Bioethanol uit suikers (bijv. suikerbieten melasse) en zetmeel (bijv. uit maïs of graan);
2. Biodiesel (methylester) uit koolzaad, plantaardige en dierlijke olien en vetten;
3. Koud geperste plantenolie (Pure Planten Olie of PPO) uit bijvoorbeeld koolzaad.

Daarnaast is er een aantal biobrandstoffen en alternatieve grondstoffen die, hoewel in ontwikkeling en niet direct toepasbaar, op (middel)langere termijn wel een alternatief kunnen zijn voor conventionele brandstoffen voor motorvoertuigen:

4. Vergassing gevolgd door Fischer Tropsch–diesel uit diverse soorten biomassa
5. Ethanol uit houtvezels (zogenaamde lignocellulose) en biomassareststromen
6. Butanolproductie uit suiker, tarwe en biomassareststromen

Bij het maken van een vergelijking zijn we hier uitgegaan van een gelijke functie, namelijk vervoer per auto over een bepaalde afstand. Dat kan via benzine (traditioneel) of via biobrandstoffen. Van de vele verschillende biobrandstoffen hebben we gekozen voor bioethanol gemengd met benzine. Het 'klassieke' alternatief dat hiermee vergeleken wordt, is onvermengde benzine. Daarnaast kan bioethanol overigens ook dienen als vervanger voor toevoegingen aan benzine. Dit wordt in de berekeningen niet meegenomen.

De productie van bioethanol verloopt momenteel met behulp van niet-gemodificeerde gistcellen[1].

[1] Bij een andere productieroute van bio-ethanol, uit zetmeel en glucose (C-6 suikers), wordt wel gebruik gemaakt van gemodificeerde gistcellen. Daarmee is dat een beter voorbeeld van moderne biotechnologie. Deze technologie is echter nog niet op commerciële schaal in gebruik, en valt daarom buiten de scope van deze studie.

Polyhydroxyalkanoaat (PHA) als bioplastic
Waar in dit veld de kansen voor biotechnologie liggen en welke milieuvoordelen daarmee te behalen zijn is van groot belang bij de afweging om op commerciële schaal biopolymeren te gaan produceren. Voor Nederland is er door EZ een transitiepad aangegeven, waarin wordt voorzien dat in 2020 50 % van alle plastics met een levensduur korter dan 2 jaar vervangen zouden moeten worden door bioplastics. In 2040 zou dit aandeel uitgebreid moeten zijn tot 90%.

Er zijn verschillende bewezen voorbeelden van bioplastics bekend. De meest genoemde biologische plastics zijn polymelkzuur of polylactid acid (PLA) en polyhydroxyalkanoaat (PHA). Beide lijken geschikt als case. Hier is gekozen voor PHA.

PHA kan met behulp van micro-organismen worden geproduceerd uit organische reststromen, zoals afvalwater met een hoog gehalte aan organisch materiaal. Het omzettingsproces van afvalwater tot PHA verloopt via niet-gemodificeerde bacteriën die van nature aanwezig zijn het afvalwater. Het conventionele alternatief voor PHA is PE, PP of PS. Functioneel komt Lage Dichtheid PE (LDPE) het meest overeen met PHA. Om die reden zal PHA in deze case vergeleken worden met conventioneel LDPE.

Chymosine
De productie van chymosine wordt gezien als één van de kansrijke biotechnologische ontwikkelingen. Chymosine is een enzym dat een belangrijke rol speelt bij de bereiding van kaas. Kaas wordt verkregen door coagulatie (klonteren) van melk, magere melk, halfvolle melk, room, weiroom of karnemelk, of een combinatie van deze producten, door stremsels of andere coaguleermiddelen (Statline, 2002). Chymosine is een van deze coaguleermiddelen. Het kan worden gewonnen uit de magen van zeer jonge kalveren. De wand van de vierde maag van kalveren maakt voor de vertering van koemelk een combinatie van enzymen aan. Traditioneel wordt dit type stremsel gewonnen in een mengsel van chymosine en pepsine, door extractie uit magen afkomstig uit de slacht van kalveren. Dit mengsel staat bekend als het product ‘animal rennet’.

Chymosine kan ook via biotechnologische fermentatie worden verkregen, met een transgeen micro-organisme, waarin het gen voor de productie van chymosine tot expressie komt. Dit proces vindt onder meer plaats bij DSM. De eigenschappen en prestaties van dit product zijn functioneel vergelijkbaar met die van kalfs-rennet preparaten van vergelijkbare sterkte. Dit chymosine wordt gemaakt met een genetisch gemodificeerd micro-organisme, en is 100% zuiver protease. Dit stremsel is kwalitatief het beste te vergelijken met dierlijk rennet met een samenstelling van 95% chymosine en 5% pepsine (Van Dijck, 2004; Haak, 2004).

In de volgende paragrafen worden de cases één voor één besproken. Steeds wordt eerst de ecologische, dan de economische en tenslotte de sociale duurzaamheid tegen het licht gehouden.

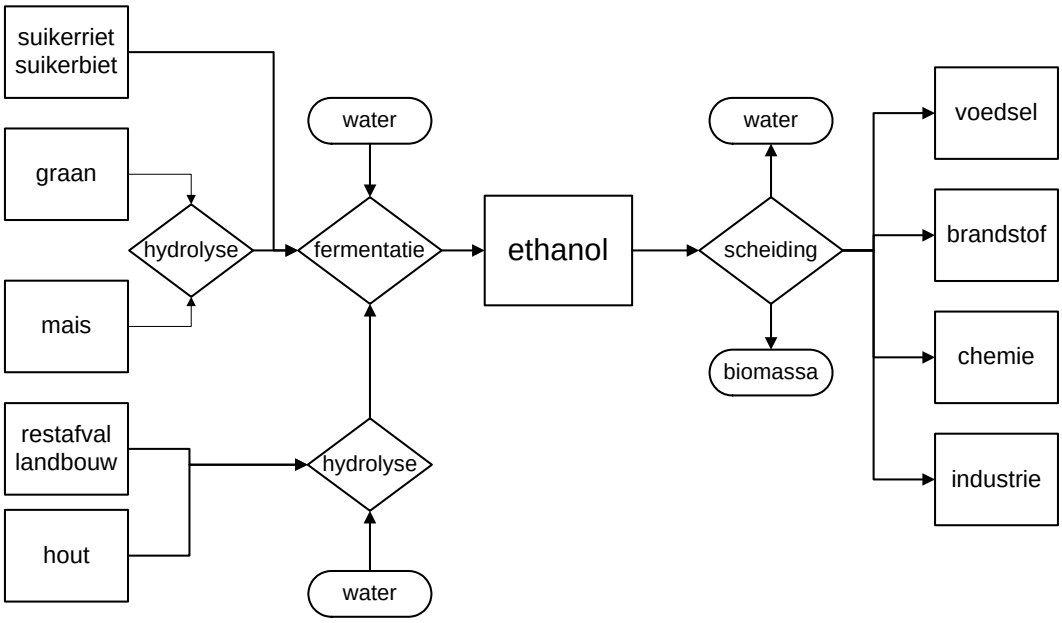
3.3 Case 1: Bioethanol in motorbrandstoffen

3.3.1 Inleiding

In deze casestudie wordt een benzine-bioethanol mengsel vergeleken met conventionele benzine. Voor het toetsen op ecologische aspecten van duurzaamheid is, zoals eerder aangegeven, gebruik gemaakt van de LCA-methodiek. Gezien de beperkte omvang van de studie en vanwege de aanwezigheid van meerdere LCA studies over dit onderwerp, is geen nieuwe LCA studie uitgevoerd, maar is gebruik gemaakt van de bestaande studies.

Bioethanol

De productie van ethanol via industriële biotechnologie vindt plaats vanuit agrarische grondstoffen, waarvan er meerdere beschikbaar zijn, zoals in Figuur 3-1 is te zien. Voor deze case is gekozen voor grondstoffen die direct in Nederland beschikbaar zijn voor de bereiding van bioethanol. Dit zijn suikerbieten, (geïmporteerd) suikerriet, maïs of graan. Daarnaast kunnen in de toekomst wellicht restafvalstromen uit de landbouw en bijvoorbeeld houtsnippers benut worden als grondstof voor bioethanol.



Figuur 3-1 Grondstoffen en toepassingen van Bioethanol

De bereiding en het gebruik van ethanol uit gewassen is op te delen in verschillende stappen:

1. Het verbouwen van gewassen en het oogsten.
2. Raffinage van de gewassen door het vermalen en oplossen van zetmeel. Door het toevoegen van enzymen kan het zetmeel gesplitst worden tot suikers.[2]
3. Fermentatie met behulp van gisten, waarbij ethanol ontstaat. De hiervoor gebruikte gisten zijn doorgaans niet genetisch gemodificeerd. Voor de (toekomstige) productieroute via houtsnippers zouden overigens wel GGO's nodig zijn.
4. Scheiding van het productiemengsel in een vaste en een vloeibare fractie (filtratie).
5. Destillatie van de vloeistof en zuivering van het ethanol.
6. Het bijmengen van ethanol in benzine.
7. Het gebruik van het benzine-ethanolmengsel in een motorvoertuig.

In verschillende Europese landen wordt op kleine schaal geëxperimenteerd met het bijmengen van ethanol in benzine, zoals in Spanje, Frankrijk en Zweden (GAVE, 2003; Elam, 2000). Dit is mogelijk tot een bepaalde mengverhouding. Daarboven veranderen de eigenschappen van het mengsel dusdanig dat het niet meer voldoet aan de Europese brandstofrichtlijnen. Percentages hoger dan 10 % zijn alleen mogelijk na aanpassing van de huidige standaard verbrandingsmotoren (Er bestaan ook flexmotoren die geschikt zijn voor benzine, pure bioethanol en andere biomotorbrandstoffen).

Benzine

Benzine wordt geproduceerd uit een uitputbare fossiele grondstof, minerale olie. Door deze olie te raffineren ontstaat een scala aan producten, waaronder benzine. Het gebruik van benzine als brandstof is sterk gereguleerd en ook de producteigenschappen zijn in Europese regelgeving vastgelegd zoals in de transportbrandstoffenrichtlijn (98/70/EC) en de benzine (EN288). De productie en gebruik van benzine is op te delen in de volgende stappen:

1. de winning van aardolie (offshore of op land)
2. transport en opslag van ruwe olie
3. raffinage van aardolie
4. transport, opslag en distributie van benzine
5. tanken en gebruik (verbranding)

[2] Gespecialiseerde micro-organismen kunnen ook direct zetmeel benutten voor de productie van ethanol; dit valt echter buit de scope van deze case.

3.3.2 Ecologische Aspecten

Voor de milieuvergelijking van bioethanol met conventionele benzine is in deze studie geen nieuwe LCA uitgevoerd, maar zijn de resultaten van verschillende reeds uitgevoerde LCA(-achtige) studies op dit gebied met elkaar vergeleken. De studies, en de onderliggende onderzoeken zijn over het algemeen zeer verschillend van aard en leveren verschillende resultaten.

In november 2003 is in opdracht van het ministerie van VROM een studie verschenen naar het vervangen van fossiele brandstoffen door biobrandstoffen (GAVE, 2003). Hierin worden verschillende biobrandstoffen met elkaar vergeleken. De milieuvergelijking van biobrandstoffen in de GAVE-studie is gebaseerd op een zestal internationale LCA-studies voor de Europese situatie, waarbij per onderwerp het meest waarschijnlijke resultaat ("best estimate") en de spreiding van resultaten wordt behandeld. Dit rapport vormt hier de basis voor de milieuvergelijking tussen bioethanol bijgemengd in benzine en conventionele benzine.

Milieuvergelijking bioethanol versus benzine op basis van GAVE-studie

De zes LCA-studies die in de GAVE-studie vergeleken worden zijn zogeheten "well-to-wheel" (bron tot wiel) studies. De zes studies zijn vergeleken op basis van dezelfde functionele eenheid: de hoeveelheid brandstof die nodig is om een model middenklasse auto in de EU 1 km te laten rijden.
Voor wat betreft de vergelijking van bioethanol met benzine, beperken de zes zich hoofdzakelijk tot emissies van broeikasgassen en enkele andere emissies zoals NOx, CO, koolwaterstoffen en fijn stof. De resultaten van de studies voor deze twee categorieën van emissies worden hieronder besproken.

Broeikasgasemissies

Over de energie die nodig is om bioethanol en het mengsel met benzine (E10) te maken uit verschillende landbouwproducten, en de daarmee gepaard gaande emissies van broeikasgassen, zijn sterk uiteenlopende uitkomsten gerapporteerd. Voor de vergeleken studies geeft de GAVE-studie een overzicht van de spreiding en een "best estimate" voor broeikasgasemissies van ‘bron-tot-wiel’ in CO_2-equivalenten (Zie Figuur 3-2).

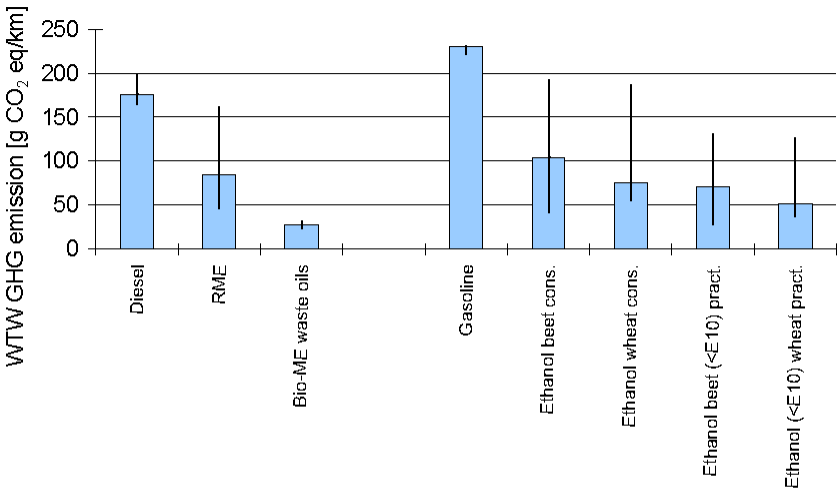


Figure 7.1: Well to wheel GHG emissions of biofuels versus fossil fuels. The bars present the best estimates, and the black lines the ranges in the literature studied. In the case of ethanol, "cons." means that we use the conservative estimate; "pract." means that we use the practical observation based estimate, which is only valid for ethanol blends below 10% (see Section 3.5.4).

Figuur 3-2: Bron tot wiel emissies van biobrandstoffen ten opzichte van fossiele brandstoffen – bron: GAVE, 2003, gepubliceerd met toestemming van de auteur.

De verschillen in de uitkomsten worden voornamelijk veroorzaakt omdat de achterliggende studies niet goed vergelijkbaar zijn door met name:

- verschillen in grondstoffen (type landbouwgewas) die gebruikt zijn voor de bioethanol bereiding
- verschillen in afbakening van het bestudeerde systeem;
- verschillen in aannamen ten aanzien van de opbrengsten van gewassen;
- verschillen in de berekeningswijze van de N_2O emissie uit landbouwgronden;
- verschillen in de allocatie (toerekening) van emissies aan bij- of nevenproducten;

Een belangrijke oorzaak voor de verschillende resultaten is het type landbouwgewas dat wordt gebruikt voor de productie van bioethanol. De gerapporteerde waardes voor energie en daaraan gerelateerde broeikasgasemissies voor het verbouwen van gewassen en transport van de oogst zijn voor maïs, tarwe en suikerbieten verschillend, en bepalen tegelijkertijd sterk het totaalcijfer voor de uitstoot van broeikasgassen (zie Tabel 3-1).

Tabel 3-1 Range voor Emissies van broeikasgassen voor bioethanol (E10) uit verschillende grondstoffen, uitgedrukt in CO_2–equivalenten voor verschillende overzichtstudies.

Grondstof	Range voor Emissie van broeikas gassen Range [g CO_2-eq./km]	t.o.v. benzine [%]	Bron
Suikerbieten	97...252	65-85 %	GM, 2002; GAVE, 2003
Maïs	-115…230[1]	80-95%	Wang, 2003; Shapouri, 2003
Tarwe	55...186	65-85 %	GM, 2002; GAVE, 2003
Benzine	222...231	100 %	GAVE,2003

[1]Omgerekend vanuit relatieve emissies (tov benzine). Waardes zijn negatief als meer CO_2 word vastgelegd bij de groei dan in totaal wordt geëmitteerd. [2]Deze waarden zijn indicatief bedoeld.

De broeikasgasemissie verschilt sterk voor de verschillende gewassen. De productie van suikerbieten vergt meer energie dan de productie van tarwe, waarmee deze verschillen voor een deel kunnen worden verklaard. Maar ook de opbouw van de broeikasgasemissies voor de verschillende gewassen loopt uiteen. Dit is onderzocht door Elsayed (2003). Zijn bevindingen staan in Figuur 3-3.

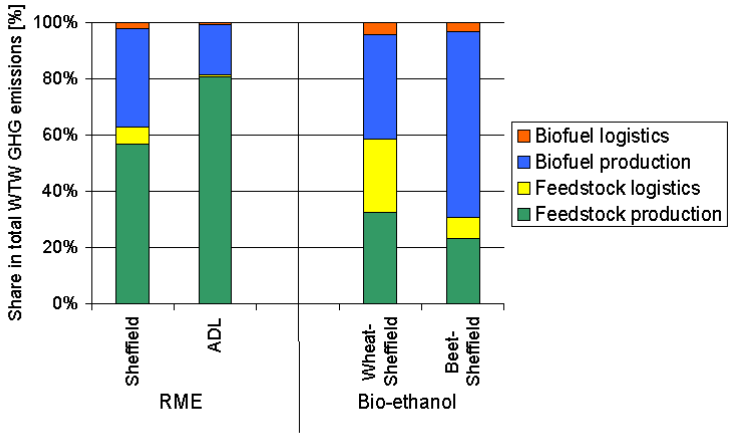


Figure 7.2: Share of the various steps in chain in the WTW GHG emissions.*(Elsayed, 2003; ADL, 1999).*

Figuur 3-3 Aandeel van verschillende productiestappen in bron-tot-wiel broeikasgas emissies– bron: GAVE, 2003, gepubliceerd met toestemming van auteur

Uit Figuur 3-3 blijkt dat de bijdrage aan de bron-tot-wiel emissie van broeikasgassen voor ethanol verschillend is opgebouwd. De productie van bioethanol uit bieten levert in vergelijking met tarwe veel broeikasgasemissies op vanwege het hogere energiegebruik. Voor graan levert de logistiek een aanzienlijke bijdrage aan het totaal.

Overige emissies

De overige emissies tijdens de verschillende stadia van productie die in de GAVE studie zijn meegenomen, betreffen: NO_X, CO, koolwaterstoffen (HC) en fijn stof (PM). Figuur 3-4 geeft voor elk van deze vier typen emissies de relatieve uitstoot voor bioethanol ten opzichte van benzine.

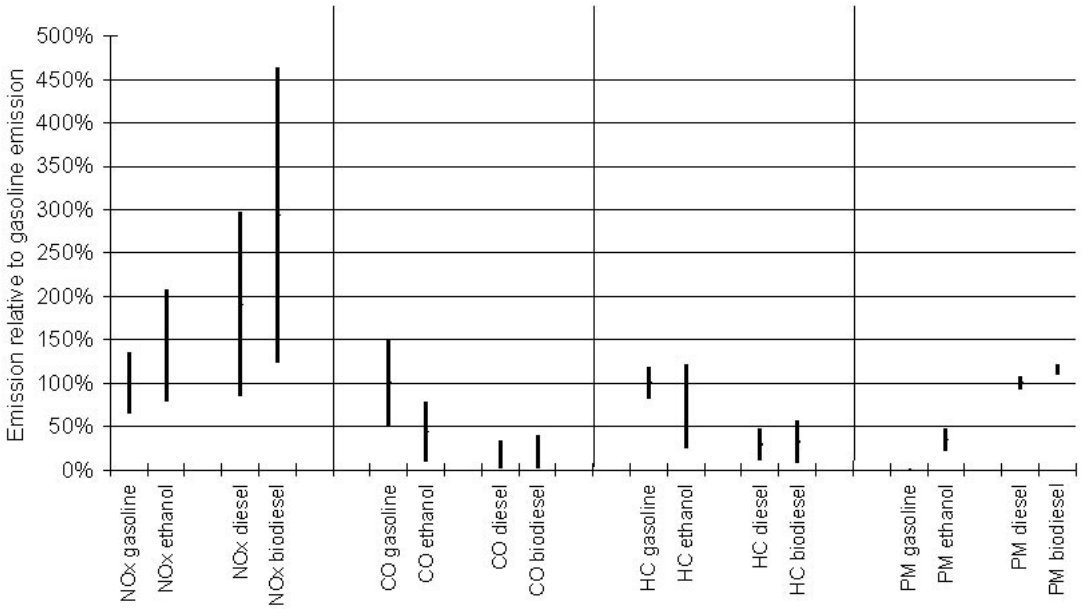


Figure 7.6: Ranges of various WTW emissions of gasoline, bioethanol (from sugar/starch), diesel and biodiesel. The average gasoline value has been taken as a basis, except for PM emissions, which are estimated to be negligible for gasoline. With PM emissions, diesel is used as a basis. Source: (IEA, 1999).

Figuur 3-4 Overige emissies van bio- en fossiele motorbrandstoffen –bron: GAVE, 2003, gepubliceerd met toestemming van auteur

Naast de emissies gegeven in Figuur 3-4 bestaat nog een groot aantal andere emissies uit andere fasen van de bron tot wiel keten. Hiervan zijn in de zes door GAVE vergeleken studies geen gegevens voorhanden:

- Landbouwgebonden emissies van nutriënten door kunstmestgebruik (N en P) en pesticiden.
- Emissies uit de elektriciteitsvoorziening (naast CO_2 ook SO_2, zware metalen, PAK's enz.).

Deze emissies zijn dus niet meegenomen en vormen daarmee een duidelijke beperking voor deze case.

Discussie

Zoals hierboven aangegeven, bevatten de zes studies die in de GAVE-studie vergeleken worden, nogal wat beperkingen. Eén van de belangrijkste beperkingen is het niet meenemen van de landbouwketen, terwijl met name deze keten een belangrijk verschil is tussen biobrandstoffen en conventionele brandstoffen. Bij de landbouwketen kunnen met name drie problemen spelen:

- landgebruik;
- watergebruik;
- emissies gerelateerd aan het gebruik van kunstmest, energie en gewasbeschermingsmiddelen.

Bij grootschalige omschakeling op biobrandstoffen zou er concurrentie ontstaan tussen landgebruik voor voedsel-, biobrandstof-, biomaterialen en diervoederproductie. Volgens GAVE (2003) zou dit zich op globale schaal voordoen, daar het niet zinvol is om alleen naar Nederland te kijken, aangezien het landgebruik

in Nederland bepaald niet representatief is voor de rest van de wereld. Afhankelijk van locatie en type gewas, zouden in dat geval ook waterschaarsteproblemen ontstaan, aangezien de landbouw een van de belangrijkste waterverbruikers is. Verder gaat de landbouwketen gepaard met emissies gerelateerd aan het gebruik van kunstmest, energie en gewasbeschermingsmiddelen. De omvang van deze emissies hangen af van de specifieke landbouwpraktijk ter plaatse, onder meer van de gewasroulatie (De Snoo, 2004). Met name de emissies van pesticiden kunnen sterk bijdragen aan ecotoxicologische milieueffecten. Via de omzetting van gewassen in ethanol, kan worden teruggerekend wat het noodzakelijke landgebruik is voor een theoretische volledige vervanging van benzine door het E10 mengsel met bioethanol (zie Tabel 3-2).

Tabel 3-2. Schatting van benodigde landbouwgrondstoffen en landgebruik voor de productie van 1 ton ethanol uit suikerbieten en graan

	Hoeveelheid		*eenheid*	*bron*
benzine jaarverbruik		7,22	miln. m3	voor Nederland (CBS2003, binnenlandse aflevering aardolieproducten)
benodigde bioethanol		0,72	miln. m3	Voor E10: een menghouding ethanol-benzine van 90:10 op volume basis (E10)
	suikerbiet	*graan*		
gewasopbrengst	0,10	0,35	m3 EtOH / t	GAVE, 2003
benodigd gewas	7,22	2,10	mln. t	
Landopbrengst	5,80	2,65	m3 EtOH / ha	GAVE, 2003
benodigd landoppervlak	0,12	0,27	miln. ha	grassie2000
t.o.v. beschikbare landbouwgrond	16 %	34 %	ten opzichte van 0,8 miln. ha	(CBS '92-'99, gemeten grond gebruik, akkerbouwgewassen (incl. tuin- en bosbouw))

Tabel 3-2 laat zien dat bij volledige vervanging van benzine door E10 op basis van één enkel gewas een substantieel areaal moet worden gebruikt, wat vergelijkbaar is met 15-30% van het Nederlandse landbouwareaal. Ook hier moet worden opgemerkt dat in werkelijkheid een dergelijke omschakeling hoogstwaarschijnlijk geen gevolgen heeft voor in Nederland geteelde gewassen. Andere biomassa-bronnen, bijvoorbeeld afvalstromen uit de landbouw, zijn ook beschikbaar, al zullen ze bij een grootschalige omschakeling zoals voorzien in de EZ transitiescenario's niet voldoende zijn. Import van biomassa of bioethanol uit landen waar de teelt efficiënter kan zijn is ook goed voorstelbaar. Aan de andere kant betekent import ook dat elders het landgebruik toeneemt. Deze schatting laat in elk geval zien dat het landgebruik voor bioethanol op basis van graan of suikerbieten zeer aanzienlijk is.

Een toenemende landbouwproductie houdt bovendien een toenemend watergebruik in. Ook de uiteindelijke impact van intensieve landbouw op het watergebruik is contextgebonden; het hangt sterk af van de locatie en het type gewas. Een manier om dit inzichtelijk te maken is via het concept van 'virtueel water': het volume aan water dat nodig is voor de productie van een goed (Hoekstra, 1998). Om 1 kg graan te telen in natuurlijk beregende, klimatologisch gunstige condities (in bijvoorbeeld Nederland of Canada), is 1000-2000 kg water nodig. In droge gebieden, waar de verdamping van de plant veel hoger ligt, is 3000-5000 kg water nodig (Chapagain, 2003).

Naast de emissies die te vinden zijn in de hierboven genoemde studies, is er een aantal emissies waarvan de effecten om verschillende redenen veelal niet worden meegenomen in de ecologische analyse, zoals:

- bestrijdingsmiddelen
- kunstmest
- SOx als SO2 naar de lucht
- NOx als NO2 naar de lucht
- overige gassen, zoals CH4, N2O en CO naar de lucht
- fijn stof naar de lucht
- oxideerbare organische verbindingen (TOC), ammonium en fosfaat in afvalwater.

Interpretatie

Uit de gecombineerde LCI en LCIA kan worden opgemaakt dat een verlaging van de uitstoot voor broeikasgassen verwacht wordt bij het gebruik van 10% bioethanol dat bijgemengd is in benzine (E10) voor voertuigen, als gekeken wordt naar de 'bron-tot-wiel' emissies. De overige emissies, voor zover geïnventariseerd, zijn in dezelfde range als bij benzine, met uitzondering van NO_x-emissies, die voor bioethanol een factor twee hoger liggen. Tenslotte zijn er in de bioethanolketen emissies die gerelateerd zijn aan de landbouw. Die emissies zijn er niet in de keten van benzine. Voor bioethanol uit verschillende grondstoffen, zoals tarwe, bieten en mais kunnen deze emissies aanzienlijk verschillen. Aanpassing van de motoren geschikt voor bioethanol kan overigens weer andere emissies met zich meebrengen.

Een mogelijke verklaring voor de aanzienlijke spreiding in de resultaten van de verschillende LCA-studies is gelegen in het omgaan met bij- of neven-producten van de processen. Bij bioethanol gaat het om landbouwafval dat tijdens het verbouwen van granen ontstaat. Dit afval wordt deels lokaal benut als lage kwaliteit bodem verbeteraar of als veevoer. Dan heeft het een ecologisch en economische betekenis die vaak niet wordt meegenomen in de uitgevoerde studies. Het verdere gebruik van deze bij/nevenproducten en de daarbij behorende emissies worden veelal niet toegewezen aan ethanol. De studies gaan hier verschillend mee om, wat het vergelijken van de resultaten bemoeilijkt. De afbakening is daarmee medebepalend voor de totale milieu impact van het gebruik van bioethanol. In de GAVE-studie zijn de resultaten gecorrigeerd voor het aandeel van bijproducten zoals veevoer. Voor deze case is bijvoorbeeld het wel of niet toerekenen van het verbranden van de bijproducten van suikerriet aan de productie van suiker, van grote invloed op de uiteindelijke CO_2-productie (Wang, 1999).

Daarnaast zijn twee mogelijk belangrijke milieueffecten in de genoemde ‘bron-tot-wiel’ studies niet meegenomen: landgebruik en watergebruik. Deze zijn apart behandeld; het blijkt dat het landgebruik aanzienlijk is wanneer volledig wordt overgestapt op E10. De exacte omvang is daarbij afhankelijk van het gewas en de omstandigheden. Concurrentie met het gebruik van land en water voor de voedsel- en drinkwaterproductie zou daarvan het resultaat kunnen zijn, hoogstwaarschijnlijk eerder buiten Nederland dan daarbinnen.

3.3.3 Economische aspecten

Op microniveau geldt dat producenten van bioethanol anno 2004 nog sterk afhankelijk zijn van overheidsstimulering. Hoewel de stijgende olieprijzen de economische haalbaarheid van biobrandstoffen steeds dichterbij brengt, zijn de productiekosten vooralsnog relatief hoog. De GAVE-studie (2003) concludeert dat de kosten van bioethanol (op kilometer basis) hoger zijn dan die van benzine, namelijk 2,5 tot 2,8 maal zo hoog. Economisch geldt uiteraard dat indien kan worden overgegaan tot aanzienlijke opschaling, de economische voordelen doorgaans groot zijn, zeker in geval van hogere prijzen van conventionele energiedragers. Hier komt nog bij dat door de vermeden CO_2 uitstoot, de kosten van vermeden CO_2-equivalenten volgens het GAVE-rapport, afhankelijk van de grondstof, 230 tot 355 Euro bedragen. Voor een macro-analyse dienen ook dit type baten te worden meegenomen.

Andere economische consequenties zijn het gevolg van overheidregels op technisch gebied. Te denken valt hierbij aan de vereiste zuiverheidsspecificaties van brandstoffen en de formele maximumpercentages die binnen de huidige normering aan benzine kunnen worden toegevoegd. De mogelijkheden voor brandstofmotoren om op bioethanol te presteren, verschillen per fabrikant en type; de zogenaamde ‘flex-motoren’ kunnen ook pure bioethanol verwerken. Aanpassing van alle motoren aan bioethanol zou grootscheepse economische consequenties hebben en ligt overigens ook niet voor de hand. Bijmenging of het gebruik van bioethanol als grondstof voor ETBE die kan worden toegepast als vervanging van het aan benzine toegevoegde MTBE, zijn economische gezien kansrijker.

3.3.4 Sociale aspecten

De op basis van Global Reporting Initiative (GRI, 2003), Social Accountability (SA 8000, 2001), Shell Business Principles (Shell, 2002) en de Dow Jones Sustainability Index 2004 gecompileerde criteria voor sociale duurzaamheid worden in het volgende toegepast op de case motorbrandstoffen. Daarbij wordt een tabel met dimensies van intern beleid en een tabel met dimensies van extern beleid opgesteld.

In de kolom ‘Waardering’ wordt een kwalitatieve afweging (+, -, neutraal, n.v.t.) gemaakt over het specifieke van IBt. ten opzichte van de bestaande activiteiten:

Tabel 3-3 Sociale Aspecten van Interne Beleid

1 Sociale Aspecten Intern Beleid	*Waardering Bioethanol*
1.1 Arbeidsomstandigheden	Neutraal
1.2 Werknemersrelaties	Neutraal
1.3.Sociale en arbeidsrelaties	Neutraal
1.4 Gezondheid en veiligheid	+
1.5 Organisatie ontwikkeling: lerende organisatie	+
1.6 Ontwikkeling ‘human capital’/talent	+
1.7 Training en educatie	Neutraal
1.8 Gelijke kansen	Neutraal

IBt. geproduceerde bioethanol kan arbeidsplaatsen in de landbouw creëren. De vraag of de introductie van IBt. arbeidsplaatsen oplevert of kost, is echter geheel case-afhankelijk en houdt onder meer verband met de wijze waarop de grondstof wordt geoogst. Een goede illustratie van speculatieve karakter van de sociale gevolgen geldt dat ethanolproductie slecht betaald en ongezond werk zou kunnen opleveren als de grondstof suikerriet bijvoorbeeld in Brazilië met de hand wordt gekapt. Als het om suikerbieten gaat die door Nederlandse industriële machines worden geoogst is het type arbeid echter van een geheel andere aard. Tegelijk kan schaalvergroting ook in ontwikkelingslanden leiden tot mechanisatie. Dat betekent een ander type werk en zowel een vermindering van de hoeveelheid werk vanwege mechanisatie als een toename vanwege extra areaal dat wordt verbouwd. De exacte uitkomsten van dergelijke causaliteiten vergen evenwel uitgebreide scenariostudies.

De sociale aspecten van het externe beleid worden onderscheiden in mensenrechten, sociale verantwoordelijkheid en product verantwoordelijkheid. Binnen die categorieën worden specifieke aspecten onderscheiden. In de volgende tabel wordt een inschatting gemaakt van de effecten die overschakeling van benzine naar bioethanol zou hebben.

Tabel 3-4 Sociale aspecten van het externe beleid

2 Sociale Aspecten Extern Beleid	*Waardering Bioethanol*
2.1 Mensenrechten	
2.1.1 Strategie en management	Neutraal
2.1.2 Non-discriminatie	Neutraal
2.1.3 Vrijheid van vereniging en collectieve onderhandeling	Neutraal
2.1.4 Kinderarbeid	risico bij import
2.1.5 Gedwongen arbeid	risico bij import
2.1.6 Bedrijfsdiscipline	+
2.1.7 Veiligheidsmanagement	Neutraal
2.1.8 Rechten van inheemse volkeren	-

2.2 Sociale verantwoordelijkheid	
2.2.1 Gemeenschapsactiviteiten, sociale projecten	Neutraal
2.2.2 Stakeholder betrokkenheid	Neutraal
2.2.3 Sociaal jaarverslag	Neutraal
2.2.4 Corruptie en omkoping	Neutraal
2.2.5 Financiële bijdragen aan maatschappelijke partijen	Neutraal
2.2.6 Concurrentiegedrag en prijsstrategieën	Neutraal
2.3 Product verantwoordelijkheid	
2.3.1 Consumentengezondheid en –veiligheid	Onbekend
2.3.2 Producten en diensten	Neutraal
2.3.3 Toelevering standaard	+
2.3.4 Advertentiebeleid	Neutraal
2.3.5 Privacy	Neutraal

Op het macro niveau van de Europese Unie of een land kan worden gesteld dat de toevoeging van ethanol uit biomassa aan benzine de strategische positie op het wereldtoneel verbetert. Doordat de netto broeikasgasemissie van het gebruik van biomassa als energiebron lager is dan die van conventionele brandstoffen, kan beter aan de internationale verplichtingen kan worden voldaan. Uit juridisch (en ethisch) oogpunt betekent dit een positief te waarderen ontwikkeling.

Zou en grootschalige inzet van bioethanol optreden dan zouden de meest ingrijpende sociale gevolgen optreden in de landbouw. De aanwending van biomassa is van sociaal-economisch belang omdat de verbouw van een aantal huidige landbouwproducten in Nederland steeds moeizamer gaat, vooral door afnemende landbouwsubsidies. Verbouw van biomassa kan de agrarische sector belangrijke nieuwe impulsen geven, die passen bij het innovatieve, op een hoog kennisniveau gebaseerde karakter van de sector. De verminderde kansen voor intensieve veeteelt spelen hier tevens een indirecte rol, in die zin dat de afzetmogelijkheden van agrarische reststromen (melasse, aardappelschillen, bietenpulp) steeds minder kunnen worden afgezet als veevoeder.

Op het meso en micro niveau van productiebedrijven zijn de sociale duurzaamheids aspecten moeilijker in te vullen. Met betrekking tot het intern beleid verschillen de professionele chemische en biologische processen nauwelijks van elkaar. Derhalve zullen de diverse aspecten, zoals voldoen aan wetgeving en het risico van bedrijfsongevallen, neutraal scoren. Alleen bij een overgangssituatie zal tijdelijk sprake zijn van meer aandacht voor leerprocessen en de ontwikkeling van talenten om de nieuwe technieken te kunnen toepassen. Daarna zal niet van een significant verschil sprake zijn.

Voor het externe beleid geldt ongeveer dezelfde redenering. Wel is van belang dat een organisatie het biotechnologisch alternatief binnen het bedrijfsbeleid kan plaatsen in een duurzaamheidskader, waarbij met name de ethische aspecten van productie en producten positief kunnen worden ingezet.

Tabel 3-5 Sociale Indicatoren volgens de SGS Sustainability Assessment van Bioethanol

Sociale Indicatoren	Waardering	
	Bio-ethanol	Benzine
Gepercipieerd risico	NA	NA
Effect op volksgezondheid	NA	NA
Effect op werkgelegenheid	2	3
Waarschijnlijkheid bedrijfsongeval	NA	NA
Beperking van product beschikbaarheid	2	3
Invloed van veranderd gebruiksgedrag op basis van product kenmerken	NA	NA
Noodzaak van training van medewerkers	3	3
Voldoen aan wetgeving	3	3
Product Baten: 'gemak'	NA	NA
Sommatie van sociale indicatoren	10	12
Percentage onduurzaamheid	22	27
Verschil in percentage (meting duurzaamheid)	5	

3.3.5 Conclusie Bioethanol-case

De milieuvergelijking van bioethanol en benzine is gedaan door gebruik te maken van een vergelijking van bestaande LCA-studies ('bron tot wiel') op basis van het GAVE (2003) rapport. Benadrukt dient te worden dat de ecologische analyse daarmee duidelijk zijn beperkingen heeft en er op basis hiervan dus geen vergaande conclusies getrokken en generalisaties gemaakt kunnen worden.

Met bovenstaande kanttekeningen in het achterhoofd, blijkt uit de bioethanol case dat het gebruik van bioethanol een bijdrage kan leveren aan het verminderen van broeikasgasemissies. Voor andere typen emissies, zoals NOx, SOx en roet is de situatie onduidelijker, aangezien hier minder gegevens over zijn. Hier liggen mogelijk probleemafwentelingen: met bioethanol bijgemengde benzine blijkt in de onderhavige case bijvoorbeeld slechter te scoren op NOx-emissies. Daarnaast is in veel studies de landbouwketen niet, of onvolledig meegenomen. Dit zou nog aanzienlijk kunnen bijdragen aan de milieubelasting van de gehele keten. Naast de emissies gerelateerd aan landbouw zijn met name het landgebruik en het watergebruik nog mogelijke praktische belemmeringen voor een grootschalige productie van deze gewassen. De verschillen tussen intensieve en extensieve landbouw, regionale verschillen, zoals waterschaarste, landgebruik en concurrentie met voedselproductie zijn daarmee aandachtspunten bij de inschatting van de duurzaamheid van biomotorbrandstoffen.

Wanneer energiegewassen niet in Nederland zullen worden verbouwd, zal dit mogelijk leiden tot grootschalige import, waarbij om milieuredenen verbonden aan het transport de import van de biobrandstof is te verkiezen boven de import van

biomassa. Het is ook mogelijk om verschillende (landbouw)afvalstromen te benutten voor biobrandstoffen. In dat geval is het gebruikelijk om de impact van de landbouwproductieprocessen niet mee te nemen in de milieuanalyse.

Economisch geldt dat indien kan worden overgegaan tot aanzienlijke opschaling de economische voordelen naar verwachting groot zijn, zeker in geval van stijgende prijzen van conventionele energiedragers.

Voor wat betreft de sociale aspecten kan worden vastgesteld dat op het meso en micro nivo van productiebedrijven de sociale duurzaamheidsaspecten niet eenvoudig zijn in te vullen. Met betrekking tot het interne bedrijfsbeleid verschillen de professionele chemische en biologische processen nauwelijks van elkaar. Derhalve zullen de diverse sociale duurzaamheidsaspecten neutraal scoren, en alleen bij een overgangssituatie zal tijdelijk sprake zijn van meer aandacht voor leerprocessen en de ontwikkeling van talenten om de nieuwe technieken te kunnen toepassen. Voor het externe beleid geldt een vergelijkbare constatering. Wel kan de substitutie van chemische naar biologische brandstoffen een kans bieden aan bedrijven om deze verandering in te passen in een beleid gericht op duurzaamheid. In dit beleidskader duurzame ontwikkeling kunnen met name de ethische aspecten van productie en producten beleidsmatig onderbouwd worden.

3.4 Case 2: Bioplastics

3.4.1 Inleiding

Bioplastics of -polymeren zijn kunststoffen, die gemaakt worden van biologische grondstoffen. Biopolymeren kunnen een alternatief zijn voor polymeren van fossiele oorsprong. Vanwege hun oorsprong zijn deze polymeren doorgaans biologisch afbreekbaar. Bij afbraak blijft in eerste instantie humus, en bij verdere afbraak slechts mineralen en anorganische zouten over (EC, 1994).

Als voornaamste drijfveren worden, met name in de VS, het beperken van de afhankelijkheid van fossiele grondstoffen en de reductie van CO_2-emissies genoemd. Daarnaast wordt de biologische afbreekbaarheid (composteerbaarheid) gezien als een voordeel bij de afvalverwerking.

Grootschalig geproduceerde biopolymeren laten zich als volgt indelen aan de hand van de wijze van productie:

- polymeren gemaakt met chemische of fysische processen op basis van biologische stoffen, zoals zetmeel, cellulose, en saccharides, die direct via chemische weg uit biomassa worden geproduceerd;
- polymeren gemaakt via biologische processen, zoals bij de bereiding van melkzuur voor polymelkzuur (PLA), polyhydroxyalkanoaat (PHA) en andere polyesters;
- polymeren gemaakt door transgene planten in het veld, die polymeren ophopen in hun cellen.

Vooral de biologische polyesters (middelste categorie) zijn voor dit onderzoek interessant vanwege de mogelijkheden voor een biotechnologische bereidingswijze via fermentatie. Van nature maken micro-organismen polyesters aan in tijden van schaarste van nutriënten, met als doel een energiereserve op te bouwen. Hiervan kan gebruik worden gemaakt door polyesters te laten aanmaken in bacteriën. De productie van PHA's via fermentatie heeft al op pilotplant-schaal plaatsgevonden en is daarom als case interessant (Kurdikar, 2002). Bijkomend voordeel is dat er over PHA relatief veel gegevens beschikbaar zijn. PHA kan worden geproduceerd uit organisch afval in een specifiek alternatief proces, met behulp van in de natuur voorkomende bacteriën.

In deze case studie wordt PHA vergeleken met conventioneel LDPE. Voor het toetsen op ecologische aspecten van duurzaamheid is wederom gebruik gemaakt van de LCA-methodiek. Aangezien er geen LCA's over dit onderwerp bekend zijn, is in dit geval wel een nieuwe LCA uitgevoerd, maar vanwege de hiervoor beperkt beschikbare tijd is deze LCA sterk vereenvoudigd.

PHA

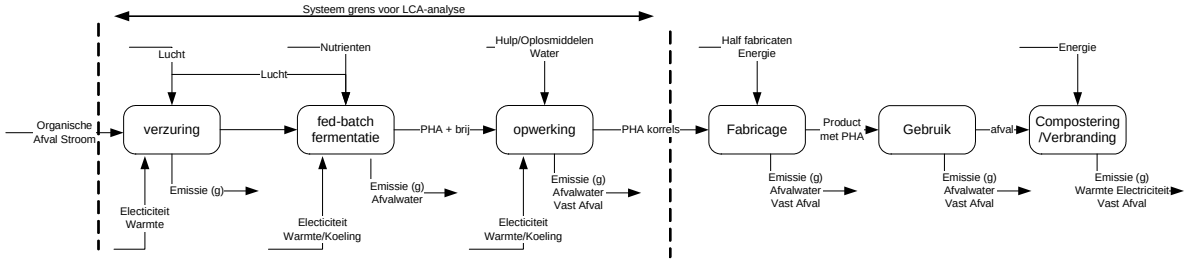
PHA (van polyhydroxyalkanoaat) is een verzamelnaam voor polymeren waarvan PHB (van polyhydroxybutyraat) een voorbeeld is. PHA kunststof is opgebouwd uit veresterde monomeren met zijketens van verschillende lengte. De monomeercompositie bepaalt de eigenschappen van het biopolymeer. Het wordt van nature aangemaakt in verscheidene bacteriën en schimmels als een energiereserve.

Vooral onder aërobe omstandigheden accumuleren deze micro-organismen PHA (Lee, 1996).

De grondstof voor alle biopolymeren, dus ook voor PHA, is biomassa, maar afhankelijk van de productiemethode kan de oorsprong verschillen. Zetmeel en suikers kunnen relatief goed tot PHA's worden omgezet; de opbrengst op basis van meer houtige vezels, zoals houtsnippers, landbouwafval etc., ligt echter lager. De opbrengst per kg is voor melasse verreweg het hoogst (Lee, 1996).

Er is een grote verscheidenheid van routes om biogrondstoffen om te zetten in materialen. Een bewezen productieroute van PHA gaat uit van fermentatie van afvalwaterstromen. Vooral afvalwaterstromen met een hoog gehalte aan organisch materiaal zijn vergeleken met de andere mogelijke grondstoffen (maïs, graan, suikerbiet, riet, hout) een goedkoop en direct beschikbaar alternatief (Lee, 1996; Meesters, 1998). Voor de biopolymeren-case is daarom voor de productieroute uit afvalwater van een composteerfabriek als voorbeeld gekozen.

Bij de productie van PHA uit afvalwater wordt het organisch materiaal in de waterige afvalstromen eerst anaëroob omgezet in vetzuren. Deze vetzuren vormen vervolgens de voeding van een fermentatie-proces waarin het PHA wordt gemaakt. Het omzettingsproces tot PHA verloopt in een open systeem via niet-gemodificeerde bacteriën.



Figuur 3-5 Productie van PHA uit een industriële afval stroom die is rijk is aan organisch materiaal.

Tijdens de fermentatie hoopt het PHA zich op in de micro-organismen. Door de cellen open te breken komt het PHA vrij waardoor het afgescheiden kan worden. Hierbij wordt gebruik gemaakt van oppervlakte-actieve stoffen voor de bevochtiging, en van een variatie aan oplosmiddelen voor de verschillende scheidings- en reinigingsstappen (opwerking). Uiteindelijk wordt het eindproduct gedroogd.

De voorketen van het afvalwater (de productie van graan, hout enz.) is niet in de milieuvergelijking betrokken, omdat er hier in de versimpelde LCA van wordt uitgegaan dat het afvalwater geen verder economische waarde heeft en er dus geen allocatieproblemen spelen. Gebruik en afvalverwerking behoren in een volledige LCA eigenlijk ook bij het systeem betrokken te worden. De mogelijke emissies daarvan zijn echter onbekend en ook is de meest relevante afvalverwerkingsroute vooralsnog onduidelijk. Om deze redenen wordt de LCA in dit rapport beperkt tot een cradle-to-gate analyse, die stopt bij de productie van het polymeer. Mogelijke voordelen uit verbranding met terugwinning van energie (voor PE en PHA), hergebruik van plastics (voor PE) of de composteerbaarheid van bioplastics (voor PHA) komen dus niet aan het licht. Bij een complete LCA zouden deze elementen wel meegenomen moeten

worden. Ook de vermeden effecten van lozing van afvalwater spelen bij een reële vergelijking een rol.

Polyetheen

PE wordt gemaakt van fossiele grondstoffen, zoals bijvoorbeeld olie. Na de exploratie, de winning en het transport, wordt de fossiele grondstof thermisch gekraakt. Hierbij worden langere koolstofketens opgebroken in kortere stukken. Zo ontstaan onverzadigde alkenen als onder andere etheen en propeen, die als grondstof kunnen dienen voor polyetheen (en polypropeen). Afhankelijk van het gewenste type polyetheen vindt de productie plaats in een specifieke continue productiefaciliteit. De verwerking tot producten en het gebruik en het afdanken van het product, zijn de laatste fasen in de levenscyclus.

3.4.2 Ecologische Aspecten

Zoals gezegd is een vereenvoudigde LCA uitgevoerd voor deze case. Daarbij zijn 'richtlijnen voor gesimplificeerde LCA' toegepast (Guinée *et al.*, 2002) gebruikmakend van CMLCA-software (http://www.leidenuniv.nl/cml/ssp/software/index.html).

Vereenvoudigde LCA van PHA en LDPE

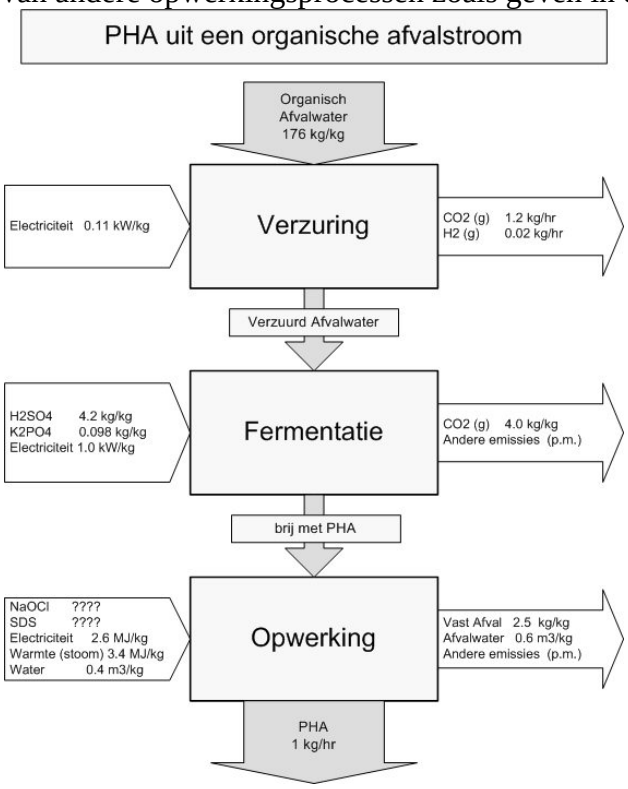
Het doel van deze vereenvoudigde LCA is het verkrijgen van een globale indruk van vergelijking van de milieueffecten van PHA met die van traditioneel LDPE.

Als functionele eenheid wordt gekozen voor 1 kg van de beide materialen. Vanwege de functionele vergelijkbaarheid wordt uitgegaan van een toepassing in verpakkingsfolie. Zowel PHA als LDPE zijn hiervoor te gebruiken. Alternatieven zijn een inhoudsmaat (verschil is relevant als het soortelijk gewicht niet gelijk is), of een maat die dichter naar het product toe gaat, bijvoorbeeld 1 m^2 folie. We kiezen om praktische redenen voor 1 kg granulaat als functionele eenheid.

De aanname is daarbij dat PHA qua producteigenschappen vergelijkbaar is met LDPE, althans voor wat betreft hun toepassing in folies voor de verpakking van voedsel. Er wordt echter een langere houdbaarheid geclaimd bij toepassing van PHA's in folies voor voedselverpakking. Deze langere houdbaarheid kan zeker milieuvoordelen hebben, die niet zozeer te maken hebben met de keten van het verpakkingsmateriaal, maar met de geringere verliezen uit de keten van de voedselproducten. Bij de berekeningen in dit rapport beperken we ons tot de keten van de kunststoffen en wordt hiermee dus geen rekening gehouden. Bij de evaluatie is dit aspect vanzelfsprekend wel van belang.

De inventarisatie van de verschillende stappen in de levenscyclus van PHA resulteerde in de onderstaande Figuur 3-6. Deze inventarisatie is gebaseerd op een conceptueel ontwerp van PHA uit organisch afvalwater afkomstig uit lekwater van huishoudelijk afval. Na een anaërobe verzuring van het afvalwater wordt het in twee stappen aëroob gefermenteerd (continue fermentatie en fed-batch fermentatie), waarbij PHA ontstaat. Voor de opwerking (het reinigen en concentreren van PHA uit de fermentatie brij) is gekozen voor een methode zoals is beschreven door Akiyama (2002) voor PHA uit maïs. Deze methode bestaat uit een behandeling met oppervlakte

actieve stoffen en met hypochloriet, centrifugeren, mixen en sproei-drogen. Dit artikel geeft ook de energiebehoeftes van het proces en de materialen. De materiaalbenodigdheden zelf en daarbij horende emissies en onttrekkingen zijn ingeschat op basis van andere opwerkingsprocessen zoals geven in dit artikel.



Figuur 3-6 Schematisch overzicht van PHA-productieproces, met een Levens Cyclus Inventarisatie

Bij de afbakening van het PHA-systeem is van een aantal vooronderstellingen uitgegaan. Allereerst is aangenomen dat het afvalwater vrijelijk beschikbaar is zonder extra transport. Daarnaast is er van uitgegaan dat samenstelling en toelevering van organisch afvalwater voldoende constant is voor een continue productie, wat in de praktijk niet het geval hoeft te zijn.

De LCI-gegevens voor LDPE zijn overgenomen uit de EcoInvent2000 database (Frischknecht, 2004). Daarbij zijn in principe alle processen van wieg tot granulaat in beschouwing genomen. De inventarisatieresultaten zijn vervolgens conform de methodieken uit Guinée *et al.* (2002) en met behulp van de CMLCA-software omgerekend in bijdragen aan milieuthema's (effectbeoordeling fase oftewel, Life Cycle Impact Assessment (LCIA)). Het resultaat van de LCIA is te zien in de onderstaande tabel. Voor de verschillende milieuthema's zijn de emissies uitgedrukt in emissie-equivalenten en gesommeerd, zodat een beeld ontstaat van de bijdrage van de twee vergeleken processen aan de verschillende thema's.

Tabel 3-6 LCIA-results. Comparison of the environmental impact of PHA and LDPE

Impact category	PHA	LDPE	Unit	LDPE t.o.v. PHA* Ratio	Score
abiotic depletion (ADP)	0.0267	0.0341	kg antimony eq.	1,2	0
global warming (GWP)	5.44	2.08	kg CO2 eq.	0,4	0
ozone layer depletion (ODP)	1.94E-7	1.36E-10	kg CFC-11	0,001	- -
human toxicity (HTP)	2.06	0.08	kg 1,4-dichloro-benzene eq. to air	0,04	-
freshwater aquatic ecotoxicity (FAETP)	5.46	0.019	kg 1,4-dichloro-benzene eq. to freshwater	0,003	- -
marine aquatic ecotoxicity (MAETP)	3.67E3	119	kg 1,4-dichloro-benzene eq. emitted to sea	0,03	-
terrestrial ecotoxicity TETP inf	0.0374	0.00941	kg 1,4-dichloro-benzene eq.emitted to industrial soil	0,25	0
photochemical oxidation (high NOx)	0.00413	0.00723	kg ethylene eq.	1,75	0
acidification	0.077	0.0147	kg SO2 eq.	0,2	-
eutrophication	0.0132	0.0013	kg PO4--- eq.	0,1	-

*de ratio tussen de impacts van beide alternatieven zijn afgerond in een score: ++ en - - : > 2 ordegroottes verschil; + en - : 1 tot 2 ordegroottes verschil, *0* minder dan 1 ondergrootte verschil.

Uit de bovenstaande tabel blijkt dat PHA op een aantal thema's slechter scoort dan LDPE. Dat geldt zelfs voor het thema Global warming. Dit wordt voornamelijk veroorzaakt door het hogere energieverbruik bij de productie van PHA t.o.v. LDPE.

Discussie

In de discussie over de milieueffecten van biopolymeren zoals PHA wordt vaak gesproken over energie die nodig is (in de gehele keten). Hierover zijn verschillende kritische artikelen verschenen, die elkaar deels tegenspreken. Gerngross (1999 & 2000), Patzek (2003) en Kelley (2003) beweren dat PHA productie meer kost in energietermen dan thermoplastics vanuit petroleum. Dat is in lijn met onze eigen bevindingen. Anderzijds zijn er studies waarbij juist een zeer positief beeld wordt geschetst (Lee, 1996). In deze studies wordt echter maar een deel van de keten meegenomen. Weer andere studies geven een genuanceerder beeld, zoals Patel (2002, 1999). Diverse andere bioplastics, zoals PLA, hebben volgens deze auteurs een lagere milieubelasting dan PHA, vanwege een meer efficiënte omzetting van suikers naar kunststof. Uiteraard speelt hier een rol dat de cases uit verschillende studies niet werkelijk vergelijkbaar zijn. Ook de uitgangspunten en de stand der technologie zijn verschillend. Al met al ontstaat het beeld dat de milieuvoordelen van bioplastics sterk afhankelijk zijn van de specifieke omstandigheden en randvoorwaarden. Het is daarom belangrijk dat er per geval een afweging wordt gemaakt.

3.4.3 Economische Aspecten

Even als dat bij fossiele brandstoffen het geval is hebben de olieprijzen een doorslaggevende rol bij de vraag of bioplastics economisch interessant worden. Voor het overige zijn de meeste toepassingen momenteel voor het economisch rendement

afhankelijk van efficiëntieverhoging, bijvoorbeeld als gevolg van doorbraken in genetische modificatie van micro-organismen en planten. Als bijkomend voordeel voor bepaalde markten geldt dat de afvalverwerkingskosten van afval, uitval en afgedankte eindproducten kunnen dalen door de biologische afbreekbaarheid ervan.

Een nadere beschouwing op microniveau ten aanzien van de toepassingen van biotechnologie voor bioplastics is zonder een gedegen studie op bedrijfsniveau slechts zeer beperkt mogelijk. Het blijvend op de markt brengen van nieuwe producten wijst echter op de bedrijfseconomische haalbaarheid ervan. EuropaBio (2003) wijst op producten zoals kleding en elektronica waarbij door bioplastics (in dit geval PLA) kostenreducties worden gerealiseerd. Ten aanzien van polymeren gaat het daarbij om nieuwe producten waarvan de uiteindelijke bedrijfseconomische haalbaarheid sterk afhankelijk is van de daling van gemiddelde kostprijzen door kostenreducties als gevolg van te realiseren schaalvoordelen. Zonder de schaalvoordelen blijven substantiële dalingen in de kostprijzen van deze producten grotendeels achterwege.

Voor de financiële bedrijfsconsequenties van de toepassing van bioplastics zijn de directe financiële gevolgen van de betere ecologische prestaties van groot belang. Hierbij kan worden gedacht aan de heffingen op emissies naar water (vooral bij de productie van textiel) en naar de financiële consequenties van emissies (zoals verhandelbare CO2-emissierechten) naar de lucht.

3.4.4 Sociale Aspecten

Voor hetgeen in het bovenstaande werd opgemerkt over het gebruik van biomassa als grondstof kan voor een groot deel worden verwezen naar de sociale aspecten van biobrandstoffen. In het onderstaande wordt een inschatting van de SGA voor PHA tegenover PET gemaakt.

Tabel 3-7 Sociale Indicatoren volgens de SGA Sustainability Assessment Bioplastics

Sociale Indicatoren	Waardering	
	PHA	PET
Gepercipieerd risico	NA	NA
Effect op volksgezondheid	NA	NA
Effect op werkgelegenheid	NA	NA
Waarschijnlijkheid bedrijfsongeval	NA	NA
Beperking van product beschikbaarheid	2	3
Invloed van veranderd gebruiksgedrag op basis van product kenmerken	2	3
Noodzaak van training van medewerkers	NA	NA
Voldoen aan wetgeving	NA	NA
Product Baten: ‘gemak'	NA	NA
Sommatie van sociale indicatoren	4	6
Percentage onduurzaamheid	9	13
Verschil in percentage (meting duurzaamheid)	4	

3.4.5 Conclusie Bioplastics

Ten behoeve van de milieuvergelijking tussen PHA - als voorbeeld van een bioplastic - en traditioneel LDPE is een korte, vereenvoudigde LCA-studie verricht. De analyse is beperkt tot een wieg tot poort analyse. Daarbij zijn meerdere versimpelingen en inperkingen gemaakt die gerapporteerd zijn in § 0; denk bijvoorbeeld aan het feit dat de afvalverwerking van het eindproduct in de huidige LCA studie niet is meegenomen terwijl daar mogelijk voor met name PHA nog winst valt te behalen. Benadrukt dient dan ook te worden dat de hier uitgevoerde milieuvergelijking duidelijk zijn beperkingen heeft en op basis hiervan dus geen vergaande conclusies getrokken en generalisaties gemaakt kunnen worden. Zo is in deze case bijvoorbeeld uitgegaan van productie van PHA uit afvalwater. Bij een grootschalige productie van bioplastics is deze bron niet toereikend en zal een beroep gedaan moeten worden op andere bronnen, zoals speciaal geteelde gewassen. Dan zullen echter wel alsnog de milieueffecten van de landbouwketen in de LCA meegenomen moeten worden.

Met bovenstaande kanttekeningen in het achterhoofd, blijkt uit de PHA case dat PHA op een aantal milieuthema's slechter scoort dan LDPE. Ondanks het vermeden gebruik van fossiele grondstoffen scoort PHA in het algemeen toch minder vanwege het hogere energieverbruik bij de productie.

Op niche-markten bestaan belangrijke economische kansen. De mogelijkheid bestaat dat bij substantiële opschaling nog aanzienlijke economische voordelen te behalen zijn. Dit geldt zeker in geval van stijgende prijzen van conventionele grondstoffen en stimuleringsmaatregelen. Een overgang naar de 'biobased-economy' is evenwel een zaak van de middellange tot lange termijn, waarvan de economische gevolgen buiten de scope van dit verkennend onderzoek vallen.

Voor wat betreft de sociale aspecten kan in lijn met hetgeen werd opgemerkt bij de case biobrandstoffen worden vastgesteld dat op het meso- en microniveau van productiebedrijven de sociale duurzaamheidsaspecten niet eenvoudig zijn te waarderen, met name omdat zich processen met tegengestelde causaliteiten voordoen. Daarnaast verschillen zowel met betrekking tot het interne als het externe beleid de chemische en biologische processen nauwelijks van elkaar. Wel kunnen bedrijven door het biotechnologisch alternatief in een op duurzaamheid gericht beleidskader te plaatsen, met name de ethische aspecten van productie en producten ondersteunen.

3.5 Case 3: Chymosine

3.5.1 Inleiding

In deze casestudie worden de duurzaamheidsaspecten van een biotechnologische en een traditionele variant van kaasstremsel vergeleken. Daartoe wordt chymosine gemaakt via biotechnologische fermentatie met een genetisch gemodificeerd micro-organisme, vergeleken met chymosine gewonnen door extractie uit de magen van zeer jonge kalveren in een mengsel van chymosine en pepsine (‘animal rennet’). Voor het toetsen op ecologische aspecten van duurzaamheid is wederom gebruik gemaakt van de LCA-methodiek. Aangezien er geen LCA's over dit onderwerp bekend zijn, is ook in dit geval een nieuwe, sterk vereenvoudigde LCA uitgevoerd.

Chymosine via biotechnologische fermentatie

De belangrijkste grondstoffen voor de productie van Chymosine via fermentatie zijn die stoffen die nodig zijn voor de groei van het micro-organisme in het algemeen, zoals glucose als energiedrager en koolstofbron, nutriënten en sporen elementen. De bereiding van Chymosine via industriële fermentatie is mogelijk met verschillende typen micro-organismen; Pfizer begon met produceren van Chymosine met *E. coli* bacteriën in 1990, DSM-Gist volgde in 1992 met een gist (*Kluyveromyces lactis*) (Van Dijck, 1999), en Genencor International volgde in 1993 met een productiewijze via een *Aspergillus niger* schimmel (Maryanski, 1995). Deze casestudie is gebaseerd op een productieroute met een gist, de economische en productiegegevens zijn door DSM beschikbaar gesteld.

De productie van Chymosine is op te delen in de volgende processtappen:
Productie

1. Fermentatie
2. Afdoden van biomassa

Opwerking

3. *Mash*-behandeling
4. Filtratie
5. Ultra-filtratie

Formulering

6. Dosering additieven
7. PH regeling
8. Verdunning op sterkte
9. Filtratie
10. Verpakken

Bij de formulering is gekozen voor een eindproduct in vloeibare vorm, aangezien dit de meest voorkomende formulering is. De fermentatieve productie van Chymosine kan worden gezien als een toepassing van moderne biotechnologische technieken waardoor dierlijke enzymen te produceren zijn met behulp van micro-organismen.

Chymosine geëxtraheerd uit kalvermagen

Voor de traditionele productie (‘animal rennet’) vormen kalvermagen de grondstof. De traditionele bereiding van Chymosine is in deze casestudy de referentie. De productketen ziet er als volgt uit:

- verzamelen van kalvermagen
- invriezen
- transport
- ontdooien
- verteren (zuurbehandeling)
- opwerking
    - centrifugeren
    - filtratie
    - concentratie
- formulering
    - Verpakken
    - pH regeling, dosering additieven, verdunnen op sterkte
    - Opslag

3.5.2 Ecologische Aspecten

Vereenvoudigde LCA

Zoals gezegd is voor deze case een sterk vereenvoudigde LCA uitgevoerd. Daarbij zijn 'richtlijnen voor gesimplificeerde LCA' toegepast (Guinée *et al.*, 2002), gebruikmakend van CMLCA-software (http://www.leidenuniv.nl/cml/ssp/software/index.html).

Het doel van deze vereenvoudigde LCA is het verkrijgen van een eerste indruk van de milieueffecten van chymosine geproduceerd met industriële fermentatie ten opzichte van de milieueffecten van de traditionele bereiding van chymosine via extractie uit kalvermagen. De productieketen wordt meegenomen vanaf de grondstoffen tot aan de formulering van het product. De veehouderij en de slacht van kalveren worden niet meegenomen in de analyse, en de kalvermagen worden hier voor het gemak gezien als een 'gratis' restproduct. Het type verpakking en de verdere stappen in de keten worden voor het gemak geacht gelijk te zijn voor de twee alternatieven, en zijn daarom ook niet meegenomen in de analyse. Ook hier wordt de LCA dus beperkt tot een cradle-to-gate analyse. In dit geval is de achterliggende keten van gebruik en afvalverwerking voor beide ketens identiek, en mag daarom verwaarloosd worden. In LCA-termen heet dit een verschilanalyse.

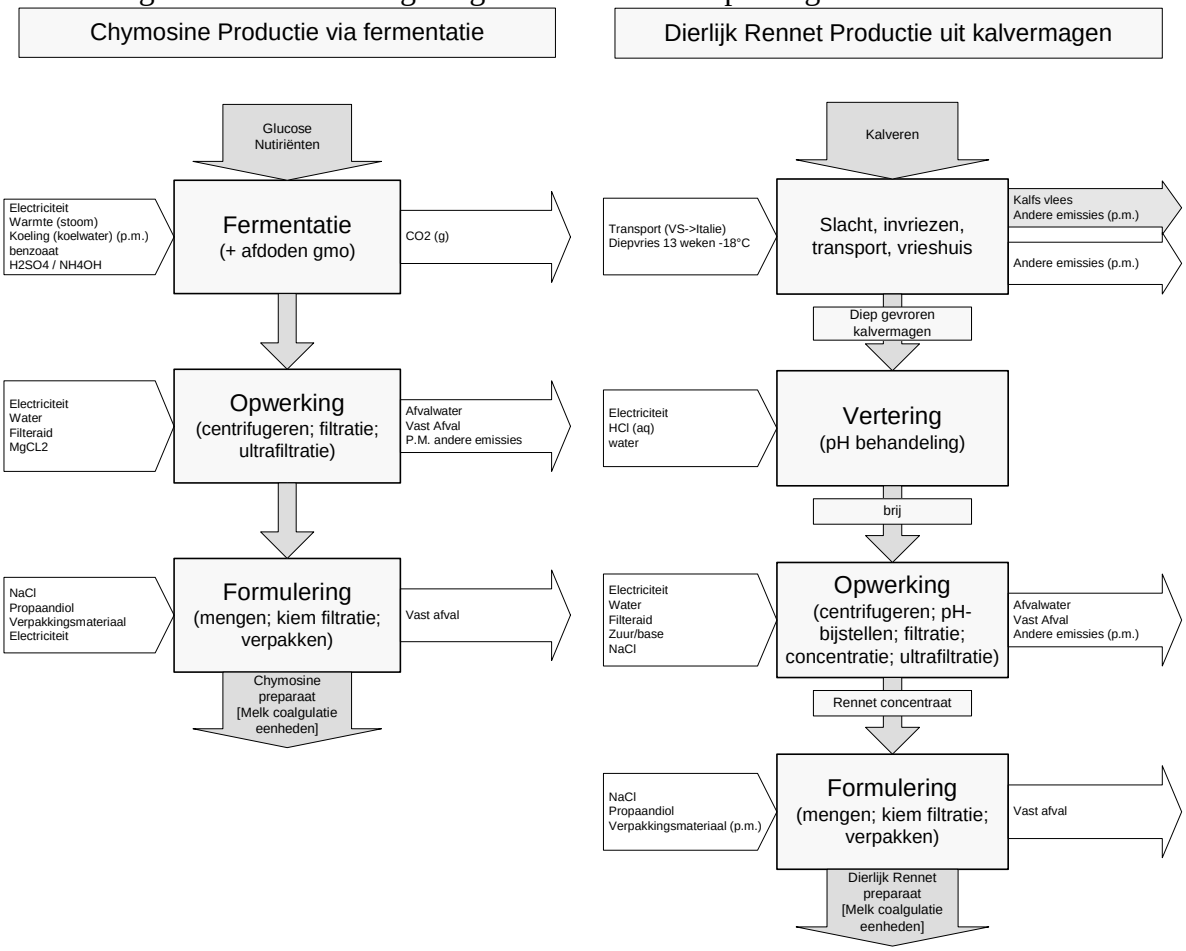
De functionele eenheid van de vergelijking is de hoeveelheid chymosine die nodig is voor de bereiding van 1 kg kaas. De functionaliteit van chymosine en rennet (met 95 % chymosine) in vloeibare vorm zijn vergelijkbaar. Voor de kaasstremming is echter de dosering bij het gebruik van chymosine (ferm. proces) ca 5-10 % lager dan bij gebruik van animal rennet. Voor de vergelijking van de twee alternatieven is hiermee rekening gehouden.

Voor chymosine geproduceerd via biotechnologische fermentatie zijn glucosesiroop, nutriënten, en verschillende hulpstoffen nodig. Het afdoden van de biomassa gebeurt door toevoeging van zout en een pH-behandeling (zuur-base). Bij het scheiden wordt flocculant toegevoegd, en verschillende andere zouten zijn nodig bij de filtratiestappen. De warmte, koeling en elektrische energie zijn, voorzover beschikbaar en mogelijk, gerelateerd aan het reactorvolume. Het afvalwater wordt via afvalwaterzuivering lokaal verwerkt. De filterkoeken worden afgevoerd naar een

vuilstort. De geformuleerde producten kunnen afhankelijk van de betreffende toepassing diverse sterktes hebben.

Bij de productie van 'animal rennet' worden de magen van jonge kalveren verzameld bij de slacht en ingevroren getransporteerd naar een vrieshuis (13 weken bij –18°C). Voor rennet met een lagere kwaliteit van 80/20 (Chymosine/pepsine) worden voornamelijk magen uit EU-landen betrokken. Magen met een hoog Chymosine gehalte komen voornamelijk uit de VS en Australië of Nieuw-Zeeland. De transportafstanden zijn gerekend tot de productiefaciliteit in Noord-Italië, hiervoor is een transport afstand gekozen van 8860 km.

Na het ontdooien wordt zuur toegevoegd, waardoor de magen verteren. De opwerking bestaat uit verschillende filtratie- en reinigingsstappen, zoals: centrifugeren, plaatfiltreren, concentreren, ultra- en kiemfiltreren. Bij deze stappen worden verschillende hulpstoffen gebruikt: filter-hulpstoffen, en zuur-regelaars. Daarna wordt het product op de gewenste sterkte gebracht en verpakt (dit valt buiten de analyse). De stremsel activiteit wordt bij zowel fermentatieve als dierlijke Chymosine uitgedrukt in International Milk Clotting Units (IMCU's). De sterkte van de verschillende formuleringen variëren al naar gelang de betreffende toepassing.



Figuur 2.Overzicht van productie stappen, materiaal- en energiestromen, en emissies voor Chymosine via fermentatie *(rechts)* en via traditionele bereiding vanuit kalvermagen *(links)*

Bij het maken van de effectbeoordelingsberekeningen (LCIA) zijn tenslotte de volgende aannames nog gemaakt in verband met onvoldoende beschikbaarheid van

achtergronddata van emissies in de Ecoinvent database voor het maken van deze berekeningen:

- $MgCl_2$ is vervangen door MgO_2;
- Als filteraid is LDPE gekozen;
- propaandiol is vervangen door isopropanol.
- Als grondstof voor de fermentatie is gekozen voor gelijke hoeveelheden suikerbieten in plaats van glucose en het proteïne hydrolysaat en gistextract zijn niet meegenomen.

Tabel 3-8 geeft de resultaten van de LCA voor Chymosine en Animal Rennet. De milieueffecten zijn weergegeven in termen van de verschillende milieuthema's die in de LCA methode worden onderscheiden.

Tabel 3-8 Resultaat van de vereenvoudigde LCA van Chymosine geproduceerd via industriële fermentatie en Chymosine geëxtraheerd uit kalvermagen (Animal Rennet).

Impact Category	Chymosine	Animal Rennet	Unit	Chymosine tov Rennet*	
				Ratio	Score
abiotic depletion (ADP)	7,50E-04	1,68E-01	kg antimony eq.	223	++
global warming (GWP)	3,53E-04	8,16E-03	kg CO2 eq.	23	+
human toxicity (HTP)	4,20E-03	5,62E-01	kg 1,4-dichloro-benzene eq. to air	134	++
freshwater aquatic ecotoxicity (FAETP)	4,50E-02	9,84E-03	kg 1,4-dichloro-benzene eq. to fresh water	0	0
marine aquatic ecotoxicity (MAETP)	2,83	58,7	kg 1,4-dichloro-benzene eq. to sea	21	+
terrestrial ecotoxicity TETP inf	2,05E-03	3,78E-03	kg 1,4-dichloro-benzene eq. to industrial soil	2	0
photochemical oxidation (high NOx)	2,11E-05	6,76E-04	kg ethylene eq.	32	+
acidification	9,50E-05	2,90E-03	kg SO2 eq.	31	+
eutrophication	7,67E-05	7,33E-04	kg PO4--- eq.	10	+

*de ratio tussen de impacts van beide alternatieven zijn afgerond in een score. ++ : > 2 r ordegroottes verschil; + : 1 tot 2 ordegroottes en *0* minder dan 1 ondergrootte verschil.

Vanuit milieuoogpunt lijkt het biotechnologisch alternatief gemiddeld beter te scoren. De milieuvoordelen van chymosine in vergelijking met rennet zijn in hoofdzaak bepaald door het energieverbruik. Het invriezen en gekoeld transport van de kalvermagen vergt veel energie, wat zich vertaalt in hoge impacts voor de thema's "abiotic depletion", "global warming" en "human toxicity". De hoeveelheid vast afval en afvalwater is vergelijkbaar voor beide processen.

Aspecten van GGO

Chymosine geproduceerd met moderne biotechnologie is beschikbaar, maar is momenteel in een aantal landen niet in gebruik, vanwege de kritische houding van de consument tegenover GGO's, of vanwege een coöperatieve regelgeving die een traditionele bereidingswijze voorschrijft (bijv. DOP kazen in Italië). In betreffende landen wordt gebruikt gemaakt van dierlijke bereid stremsel.

De eventuele risico's van het gebruik van GGO's bij industriële fermentatie zijn eerder in het algemeen besproken. Voor deze case gaat het specifiek om genetisch materiaal dat codeert voor een dierlijk enzym, dat is overgebracht naar een micro-organisme, *Kluyveromyces lactis*. Hiervoor is in Europa per land wetgeving afgeleid van EU richtlijn 90/219/EC (gereviseerd als 98/81/EC). In dit kader kan het micro-organisme worden beschouwd als een veilig organisme om chymosine mee te produceren (Bonekamp, 1994). Volgens protocol wordt de biomassa gedood door benzoaat toe te voegen en een zuurbehandeling door te voeren. Hierbij wordt de biomassa gedenatureerd. Om een risico te vormen, is ontsnapping noodzakelijk. Mogelijke routes daarvoor zijn via de lucht, via afvalstromen en via incidenten. Hoewel de kans klein is, valt toch niet geheel uit te sluiten dat GGO's in het milieu terechtkomen. Verschillende publicaties (Noordover, 2002) over dit onderwerp laten zien dat ontsnappen uit een fermentatie fabriek mogelijk is. Ook blijkt dat van het genetisch materiaal op akkerland dat is verrijkt met gedode biomassa uit fermentatie afkomstig GGO-DNA lang aanwezig blijft in de vrije natuur (Andersen, 2002). Mocht het transgeen-DNA of een levend micro-organisme in de natuur terecht komen, dan is het echter vervolgens de vraag of het kan overleven. Daarna is het nog de vraag of de eigenschap op één of andere manier nadelige effecten kan hebben op mens of milieu. Aangezien chymosine een eiwit is dat melk doet klonteren, is dit op basis van functionele redenen niet waarschijnlijk.

3.5.3 Economische Aspecten

Chymosine gemaakt met een transgene gist, zoals het door DSM geproduceerde Maxiren, wordt een aantal marktvoordelen toegedicht ten opzichte van de traditionele bereiding.

Allereerst is de productie onafhankelijk van de beschikbaarheid van kalvermagen, waardoor de productie van kaas losgekoppeld wordt van deze traditionele bron van een essentiële grondstof. Hierdoor kunnen fluctuaties in de grondstofprijzen worden vermeden. Het is met name de periodieke schaarste aan geschikte kalvermagen voor de grondstof die een belangrijke reden is voor de keuze voor chymosine geproduceerd met industriële biotechnologie.

Daarnaast is het industrieel biotechnologische product zuiverder dan traditionele producten. Door de zuiverheid van het product kan een hoge kwaliteit worden geleverd met weinig risico op verontreinigingen in het product die afbreuk kunnen doen op het marktaandeel.

Tenslotte worden ook deels andere markten bediend. Ogenschijnlijk leidt de toepassing van industriële biotechnologie in chymosine niet tot het commercialiseren van nieuwe producten. Het zijn immers bestaande kaassoorten waarvan het productieproces van een essentiële hulpstof verandert, maar niet de productie of het eindproduct zelf. Toch kan hier een kanttekening bij worden gezet. Met kaas die met biotechnologisch geproduceerd chymosine is bereid, kan namelijk worden ingespeeld op de behoeften van specifieke doelgroepen in de markt. Zo kan het worden gebruikt voor de productie van kaas voor de vegetarische markt en resulteert het in kosjere en hallal kaas waarvan voorheen de productie niet op de daarvoor noodzakelijke wijze kon worden geproduceerd.

Anderzijds sluit de inzet van een genetisch gemodificeerd organisme momenteel verschillende West-Europese markten uit, zoals Duitsland en Nederland. In Europa is echter een zekere maatschappelijke sensibiliteit voor toepassingen van biotechnologie een onzekere bedreiging voor de afzet, ten gunste van veelal ambachtelijke kaassoorten die gebruik maken van niet-biotechnologisch geproduceerd chymosine. De marktontwikkeling wordt sterk beïnvloed door de wet- en regelgeving omtrent de toepassing ervan. In de Verenigde Staten en het Verenigd Koninkrijk wordt het echter op grote schaal toegepast, wat laat zien dat culturele aspecten hierbij een belangrijke rol spelen.

Risicoreductie en grondstofkosten

Door de producent DSM wordt in aanvulling op de vermoedelijke netto waarde toevoeging (stijgingen van opbrengsten door afzet van kosjere producten en lagere verkoopprijzen) gewezen op aanzienlijke verbetering van het beheersen van bedrijfsrisico. Daarbij gaat het om minder risico als gevolg van het niet meer hoeven toepassen van dierlijk stremsel. Deze toevoeging is van significante invloed op de kostprijs van het eindproduct (meer dan 50%) en kenmerkt zich door een economische instabiliteit: ‘grillige markt’, waarbij de inkoopkosten van dierlijk stremsel enorm kan fluctueren. Toepassing van chymosine reduceert dit marktrisico aanzienlijk en zou kunnen leiden tot gemiddeld lagere inkoopkosten van grondstoffen bij de kaasfabrikanten.

Kostprijs Chymosine

Dat daadwerkelijk een kostenreductie kan worden gerealiseerd, kan op basis van het hier uitgevoerde onderzoek niet hard gemaakt worden. Wel kan een aantal kanttekeningen worden gemaakt.

- De productie van chymosine vindt bij DSM plaats in een multi-purpose fabriek. De kostentoewijzing aan de productie van chymosine vindt soms plaats op arbitraire wijze: niet alle kosten zijn direct herleidbaar tot de productie van chymosine maar worden tevens veroorzaakt door de productie van de overige producten.
- Er is onduidelijkheid over de mate waarin de onderzoeks- en ontwikkelingskosten van chymosine zijn opgenomen in de kostprijs.

Een vergelijk van de financiële gevolgen van de veranderingen in de afval en emissies door over te stappen van een dierlijk stremsel naar chymosine levert het beeld op dat er ten aanzien van deze categorie van kosten per saldo kostenreducties worden gerealiseerd. Het gaat hierbij om reducties in afvalstoffen die vrijkomen door vergaande filtering gedurende de verschillende stappen in de productieprocessen. Dierlijk stremsel resulteert in meer afval dan bij chymosine het geval is.

Bedrijfseconomische effecten in ketenperspectief

De bedrijfseconomische voor- en nadelen van het toepassen van chymosine kent verschillende eigenaars. Om hier zicht op te krijgen, worden de verschillende partijen bij de productie en gebruik van chymosine in het kort besproken. Macro-economisch zullen de baten opwegen tegen de kosten. Maar duidelijk is dat er naast winnaars ook verliezers zijn.

De consumenten

De toepassing van biotechnologisch geproduceerd chymosine levert de consument dezelfde kaassoorten op met nieuwe productattributen (kosjer en geproduceerd met behulp van industriële biotechnologie). Echter door het gebruik van GGO's is de afzet beperkt tot die landen waar via GGO geproduceerde kaas is geaccepteerd. Doordat de Duitse markt vooralsnog GGO's lijkt af te wijzen, maken ook Nederlandse kaasproducenten geen gebruik maken van deze chymosine. Per saldo is de verwachting dat de afzet niet zal veranderen.

De kaasfabrikant

De prijsontwikkeling op de stremsel markt zou kunnen worden gestabiliseerd door biotechnologisch geproduceerd chymosine.

De producent van Chymosine

Het op de markt brengen van chymosine met behulp van industriële biotechnologie genereert nieuwe opbrengsten. De uiteindelijke winstgevendheid is moeilijk te beoordelen gelet op de toerekening van de kosten in een multi-purpose fabriek en onduidelijk bij de doorberekening van onderzoeks- en ontwikkelingskosten. Er zal waarschijnlijk een stijging van werkgelegenheid in Frankrijk (vestiging van de multipurpose fabriek) kunnen optreden.

De producent van dierlijk stremsel

De afzet en opbrengst van dierlijk stremsel zal stagneren bij stijging in de afzet van chymosine dat is geproduceerd met behulp van industriële biotechnologie. Hierbij wordt opgemerkt dat het gaat om een bijproduct van de vleessector. Er zijn geen aanwijzingen voor directe gevolgen voor verlies aan werkgelegenheid in Nederland. Voor zover dit verlies aan werkgelegenheid zich in de ambachtelijke sfeer voordoet (kalvermagen afzonderen van het overige vlees vergt vakmanschap), vindt dat plaats in het buitenland. Producenten van dierlijk stremsel opereren op dit moment in een markt met overcapaciteit en zullen door een verdere daling van de afzet verlies moeten nemen op een mogelijke staking van productieactiviteiten waarbij investeringen niet het einde halen van de aanvankelijke beoogde economische levensduur (verliesneming door noodzakelijke inhaalafschrijvingen).

3.5.4 Sociale Aspecten

Bij een waardering van de uitgebreide tabellen met sociale indicatoren op basis van gecompileerde criteria voor sociale duurzaamheid wordt bij chymosine geconstateerd, dat er te weinig data zijn voor een uitgebreide expert waardering van de sociale aspecten van intern en extern beleid. Er kan worden gesteld, dat een verandering in productieproces een relatie heeft met de organisatie en 'human capital' ontwikkeling, maar dit geldt voor elke verandering en geeft bij chymosine geen significante verschillen. Daarom wordt volstaan met het volgende overzicht van de SGA criteria.

Tabel 1-13 Sociale Indicatoren van Chymosine

Sociale Indicatoren	Waardering Chymosine	
	IBt.	Kalf
Gepercipieerd risico	3	1
Effect op volksgezondheid	NA	NA
Effect op werkgelegenheid	3	2
Waarschijnlijkheid bedrijfsongeval	NA	NA
Beperking van product beschikbaarheid	NA	NA
Invloed van veranderd gebruiksgedrag op basis van product kenmerken	NA	NA
Noodzaak van training van medewerkers	NA	NA
Voldoen aan wetgeving	NA	NA
Product Baten: 'gemak'	NA	NA
Sommatie van sociale indicatoren	6	3
Percentage onduurzaamheid	13	7
Verschil in percentage (meting duurzaamheid)	-6	

Er is hier uitgegaan van de gehele keten, dus inclusief het voortraject, waar de risicoperceptie ten opzichte van de toepassing van GGO's een rol speelt. Indien het voortraject van de chymosinebereiding buiten de vergelijking blijft, speelt het risico geen rol, daar chymosine zelf geen GGO is, maar er slechts mee wordt geproduceerd. Voor de consument geldt dat bij het eindproduct kaas de relatie met de GGO nog verder verwijderd is. Niettemin kan de perceptie dat ook de kaas genetisch is gemodificeerd bepalend zijn voor het oordeel van de consument.

3.5.5 Conclusies Chymosine

Ten behoeve van de milieuvergelijking tussen chymosine geproduceerd via industriële fermentatie en chymosine geëxtraheerd uit kalvermagen is een korte, vereenvoudigde LCA-studie verricht. De analyse is beperkt tot een wieg-tot-poort analyse. Daarbij zijn een aantal versimpelingen en aannamen gemaakt (met name de vooronderstelling dat grote delen van beide ketens gelijk zijn en dat dus met een verschilanalyse kan worden volstaan) die gerapporteerd zijn in § 0. Benadrukt dient dan ook te worden dat op basis van de hier uitgevoerde milieuvergelijking dus geen vergaande conclusies getrokken en generalisaties gemaakt kunnen worden. Met bovenstaande kanttekeningen in het achterhoofd, blijkt dat de biotechnologische productie van chymosine vanuit milieuoogpunt gunstiger uitpakt dan de productieroute via kalvermagen. Dit komt met name door de energiebesparing die ontstaat doordat transport en bevroren opslag van kalvermagen niet langer nodig is.

Economisch en sociaal zijn de effecten vermoedelijk niet groot. Vanwege het gebruik van GGO's vallen momenteel sommige markten weg, terwijl het niet langer gebruik maken van dierlijke grondstoffen andere markten juist opent.

4 Duurzaamheidaspecten Industriële Biotechnologie

4.1 Introductie

Industriële biotechnologie is de toegangspoort naar een duurzame toekomst, aldus de Europese vereniging van producenten 'EuropaBio' (2003): '…white biotechnology has a beneficial impact on both the environment and the economy. Energy efficiency is boosted, raw materials consumption is decreased, CO2 emissions are substantially reduced and production costs are usually lowered'. Ook de Belgische adviescommissie BACAS (2004) roemt de ecologische voordelen: 'als grondstof wordt bij voorkeur gebruik gemaakt van (agrarische) hernieuwbare grondstoffen in plaats van fossiele grondstoffen zoals aardolie. Dit leidt ertoe dat deze technologie gunstige gevolgen heeft op het versterkte broeikaseffect, en tevens een sterke steun in de rug vormt voor de landbouwsector, die deze grondstoffen produceert. Daarnaast vertoont de industriële biotechnologie vaak belangrijke technische voordelen ten opzichte van de klassieke chemische productietechnologieën, zoals een zeer hoge reactieselectiviteit, verhoogd rendement, grotere zuiverheid van het eindproduct, verlaagde energieconsumptie en de productie van beduidend minder afvalstoffen. De combinatie van al deze factoren leidt er toe dat de industriële biotechnologie heden sterk binnendringt in alle sectoren van de chemische industrie, vooral in de sectoren van de fijnchemie, maar ook in de bulkchemie zoals plastics en motorbrandstoffen. Heden bedraagt de penetratiegraad van biotechnologische processen in de chemische industrie reeds 5 %, maar er wordt verwacht dat dit percentage in 2010 zal opgelopen zijn tot 10 à 20 %'.

Het is de vraag of deze duurzaamheidsclaims ook hard gemaakt kunnen worden. In dit hoofdstuk wordt op basis van literatuurstudie en deskundigenraadpleging en geïllustreerd met de resultaten van de casestudies uit dit onderzoek een antwoord geformuleerd.

4.2 De ecologische dimensie van duurzaamheid

De industriële biotechnologie maakt gebruik van organische grondstoffen. Dit heeft bepaalde milieuvoordelen. Doordat geen fossiele grondstoffen nodig zijn wordt hierop bespaard bij de productie van materialen en chemicaliën, en bij de inzet van biomassa voor energiewinning worden CO2-emissies voorkomen. Met name wanneer gebruik wordt gemaakt van organische afvalstromen kunnen deze voordelen aanzienlijk zijn. Bij de productie van fijnchemicaliën zijn milieuvoordelen mogelijk vanwege het verminderde aantal processtappen.

Tegenover deze voordelen staan ook nadelen. Ondanks het feit dat biotechnologische processen onder lage druk en bij lage temperatuur plaatsvinden, gebruiken veel fermentatieprocessen door bijvoorbeeld roeren, beluchten, koelen etc. gemiddeld niet

minder energie dan chemische productieroutes. Wanneer gebruik wordt gemaakt van gewassen uit de landbouw, moet ook de agrarische productie worden meegenomen bij de beoordeling van de keten. Energiegebruik, emissies ten gevolge van het gebruik van kunstmest en pesticiden, watergebruik en landgebruik zijn daarbij van belang. Met name het landgebruik zou bij een aanzienlijke opschaling van IBt. een beperkende factor zijn, met concurrentie ten opzichte van voedselvoorziening of natuur als mogelijk gevolg.

Zouden we ons tot de Nederlandse situatie beperken, ontstaan aldus problemen, maar de realiteit noopt op deze plaats tot een klein uitstapje naar scenario-ontwikkeling. Want opschaling zal vanaf het moment dat Nederlandse reststoffen niet meer voldoende zijn, leiden tot afwenteling van de ruimtevraag naar andere landen. Nationale verbouw van biomassa als grondstof voor biotechnologische processen is immers vanwege het klimaat veel minder efficiënt dan in veel warme gebieden het geval is. Een voorbeeld is Brazilië dat veel gunstiger suiker kan produceren door suikerriet te verbouwen in vergelijking met de Nederlandse suikerbietenproductie. Import van biomassa zelf ligt evenwel ook niet voor de hand vanwege de hoge transportkosten. Productie van (half)fabrikaten ter plaatse ligt veel meer voor de hand. Ook het transport van halffabrikaten heeft echter toch impact op het milieu.

Bovengeschetste ontwikkeling is van belang als illustratie voor het gegeven dat niet op voorhand duidelijk is hoe de milieubalans zal uitvallen bij specifieke processen of producten van de industriële biotechnologie. Van geval tot geval zal moeten worden nagegaan wat de voor- en nadelen zijn. Hierbij is van groot belang wat er bij deze afweging allemaal wel en niet wordt meegenomen. De uitgevoerde case studies illustreren dat dit bepalend is voor de uiteindelijke resultaten.

Voor wat betreft de opwekking van energie voor motorbrandstoffen zou opschaling van het gebruik van biogrondstoffen tegen beperkingen oplopen in verband met landgebruik. Alleen voor het bijmengen van benzine met 10% bioethanol in Nederland is ter vergelijk al een gebied ter grootte van 30% van het huidige Nederlands landbouwareaal nodig. Voor de inzet van afvalstoffen geldt dit bezwaar vanzelfsprekend niet. Desondanks is landgebruik een variabele waarmee rekening moet worden gehouden bij het opstellen van beleidsdoelstellingen ten aanzien van energie uit biomassa, of dit nu via biotechnologische routes verloopt of niet.

Datzelfde geldt, zij het in mindere mate, voor de opschaling van bulkmaterialen van biologische grondstoffen zoals bioplastics. De benodigde hoeveelheden zullen ordegroottes lager zijn dan die voor energie - ook nu worden slechts enkele procenten van de gewonnen fossiele brandstoffen gebruikt voor plastics. Afval als grondstof kan hier een belangrijke bron vormen. Ook is het denkbaar dat aan het gebruik van bioplastics andere voordelen zitten in de gebruiks- en afvalverwerkingsfase van de keten. Dit is in deze studie niet onderzocht, maar kan belangrijk zijn. Momenteel komt PHA slechter uit de vergelijking, vooral vanwege het energiegebruik bij het productieproces. Verdere ontwikkeling en opschaling zou zich met name op het verbeteren van deze aspecten kunnen richten.

De derde case, chymosine, is een voorbeeld waarbij vanuit milieu-oogpunt het biotechnologisch alternatief aanzienlijk beter scoort. De milieuvoordelen van chymosine in vergelijking met dierlijk rennet zijn in hoofdzaak bepaald door het energieverbruik. Het invriezen en gekoeld transport van de kalvermagen vergt veel energie, die bespaard wordt bij de biotechnologische productieroute. Energie blijkt daarmee in alle gevallen een belangrijke variabele te zijn, naast het al genoemde land- en watergebruik.

Een aspect dat in de beeldvorming belangrijk is, betreft het gebruik van genetisch gemodificeerde organismen. In de beschreven cases is dit in twee van de drie gevallen niet aan de orde. Dat geldt ook voor de biotechnologie als geheel: de meeste processen maken op dit moment geen gebruik van GGO's. Waar dat wel gebeurt, is altijd sprake van ingeperkt gebruik. De kans dat dergelijke organismen in het milieu terecht komen is dan ook gering. Over verspreiding en effecten van deze organismen is weinig bekend. Om dit aspect te kunnen opnemen in overall milieu-assessments, zoals bijvoorbeeld door middel van een LCA-studie, is meer onderzoek nodig. In de praktijk zijn geen negatieve milieueffecten als gevolg van ingeperkt gebruikte micro-organismen aangetoond.

Al met al betekent dit dat bepaalde vormen van IBt. vanuit milieu-oogpunt zeker een bijdrage aan duurzame ontwikkeling kunnen hebben. De grootste voordelen zijn te verwachten bij het gebruik van organische afvalstromen en bij het vervangen van veelstappige chemische processen door enkelstaps biotechnologische processen. Het is echter wel zaak dit van geval tot geval te bekijken, aangezien afwenteling van milieuproblemen in veel gevallen aan de orde is. Ook is het van belang om bij het formuleren van lange termijn beleidsdoelstellingen rekening te houden met beperkende factoren, zoals het landgebruik.

4.3 De economische dimensie van duurzaamheid

Macroniveau
Vanuit een macro-economisch perspectief lijkt IBt. te resulteren in welvaartstijgingen. Een aanwijzing dat het hierbij gaat om een economisch waardevolle technologie, zijn de waardestijgingen van bedrijven die werkzaam zijn in de biotechnologie. Zo steeg de Nasdaq Biotechnology Index in 1999 met 174 % (Albrecht, 2000). De literatuur wijst op fundamentele factoren die ten grondslag liggen aan deze koersstijgingen (Signals Magazine, 2000; Albrecht, 2000). Fundamenteel in de zin dat het om waardestijgingen gaat, die gelijk opgaan met de marktkapitalisatie van toekomstige netto opbrengsten die de biotechnologie de desbetreffende bedrijven gaat opleveren. Welvaartsstijgingen worden ook gereflecteerd in de grote aantallen nieuwe producten die zowel in het rijke Noorden als in het zich ontwikkelende Zuiden de consumenten worden aangeboden.

Naast het op de markt aanbieden van nieuwe producten lijken met behulp van biotechnologie bestaande producten tegen lagere kosten te kunnen worden geproduceerd.

Tabel 4.1 geeft hiervan enkele illustraties.

Tabel 4-1 bron: EuropaBio 2003

Product	Invloed op productiekosten (++ reductie meer dan 50%, 0 neutraal (+/- 10%), + reductie 10 tot 50 % en – voor stijging tot 50%)
Vitamin B2 (BASF)	+
Antibiotic (DSM)	+
Scouring enzyme (Novozymes)	+
NatureWorks (Cargill Dow)	0
Sorona (Dupont)	+
Ethyleen op basis van biomassa (mogelijk toekomstig perspectief)	-

Beschouwt men de marktvolumes bij geneesmiddelen dan lijkt deze groep van producten het bovengeschetste beeld te overtreffen. De verkopen van de genoemde producten, die overigens vallen onder de medische biotechnologie, maar vaak met IBt. worden geproduceerd, steeg in 1999 met 50 à 100% (Albrecht, 2000, p. 66).

Bekijkt men echter de winstgevendheid van de biotechnologiebedrijven in het algemeen, dan kan worden geconstateerd dat het merendeel nog altijd niet rendabel is. Een belangrijke reden hiervoor zijn de hoge kosten in relatie tot onderzoek en ontwikkeling. Zo genereerde de totale Amerikaanse biotech-sector 19 miljard dollar maar bedroegen de onderzoekskosten 10 miljard dollar (US Senate Joint Economic Committee, 1999). Toch lijken de marktperspectieven in het algemeen gunstig te zijn. Voor wat betreft de medische toepassingen bevinden veel nieuwe medicijnen zich in de fase van klinische tests met een slaagpercentage van 80-90%. Er wordt in dit verband wel gesproken over een toekomstige marktexplosie (Albrecht, 2000, p. 66). Ook ten aanzien van andere applicaties van de biotechnologie wordt door de sector zelf gesproken over gunstige marktontwikkelingen en positieve financiële resultaten voor de bedrijven werkzaam op het gebied van de IBt. (EuropaBio, 2003; Erickson & Hessler 2004).

Bij een vergelijking tussen de sector en conventionele toepassingen zijn vooral de te verwachten prijsstijgingen van ruwe olie van groot belang. Een andere belangrijke factor is de marktbeïnvloedende werking van de overheid, bijvoorbeeld door landbouwsubsidies, importheffingen of andere regelgeving. Overheden steunen de ontwikkelingen om diverse redenen. Met name de Verenigde Staten willen met de ontwikkeling van duurzame energiebronnen uit de land- en bosbouwsector de afhankelijkheid van Amerika van buitenlandse energieleveranciers verkleinen. Tegelijk worden deze duurzame sectoren (en gebruik van steenkool) daarmee gesteund. De Amerikaanse ministeries van energie (DOE) en landbouw (USDA) hebben in de zomer van 2004 een aantal van 22 biomassaprojecten gehonoreerd met subsidies van in totaal 25 miljoen dollar. De private partijen leggen daar nog eens ruim 13 miljoen dollar bij (EZ, 2004). De projecten voor onderzoek, ontwikkeling en demonstratie variëren van onderzoek naar vergassingstechnologie en gasreiniging tot aan studies naar de toevoer van biomassa. Enkele andere onderwerpen: behandeling van biomassa; nieuwe

technologie voor ethanolproductie; nieuwe chemische bioproducten; biobrandstof voor brandstofcellen; kleine biogasturbines.

Ook in Europa beïnvloeden overheden de markt, zo is glucose in de EU driedubbel zo duur als de wereldmarktprijs vanwege omvangrijke heffingen op elders geproduceerde suiker en creëert de Europese doelstelling dat in 2005 en 2010 resp. 2% en 5.75% van de energie-inhoud van motorbrandstoffen wordt vervangen door biobrandstoffen uiteraard belangrijke marktperspectieven. Een algemeen macro-economische verkenning van de impact van agrarische, 'groene' biotechnologie wijst uit dat dit slechts in uitzonderlijke gevallen in het nadeel uitpakt voor biotechnologie ten opzichte van trditionele technologie. Het in de literatuur aangetroffen onderzoek op basis van uitgevoerde casestudies en beurskoersontwikkelingen van biotechnologiebedrijven bewijst niet het tegendeel voor de toepassing van de IBt.

Om de volle omvang van de duurzaamheidsclaims te kunnen beoordelen is het zinvol te bezien welke effecten zouden optreden bij verdere opschaling, met name van de cases bioethanol en PHA. Volgens deskundigen wordt in de Verenigde Staten momenteel reeds per jaar 7 miljoen ton op basis van biomassa geproduceerd bioethanol geconsumeerd; in Brazilië is dat 12 miljoen ton per jaar. Het beleid in beide landen is gericht op vergroting van dit aandeel. De productiestructuur van een op biomassa gebaseerde economie is evenwel geheel anders dan de huidige op minerale olie gebaseerde structuur. In verband met de relatief geringe optimale reactoromvang van industrieel biotechnologische productie, is het optimale economische schaalniveau al bij een relatief geringe productieomvang bereikt. Dit wordt nog eens versterkt doordat het transport van grondstoffen door het hoge gewicht in relatie tot de energetische opbrengst veel energie kost en dat biomassa, met name grondstoffen voor suikers, aan bederf onderhevig is. Dit relatief lage optimale schaalniveau en de noodzaak om relatief korte aanvoertijden van grondstoffen aan te houden, leidt naar verwachting tot een decentrale productie-infrastructuur met een verschuiving van het economische zwaartepunt van het (multi)nationale naar het regionale niveau. Doordat hierdoor een veel grotere groep producenten de markt zou gaan bedienen (zeker in aanvulling tot de traditionele aanbieders van fossiele grond- en brandstoffen) vindt een spreiding van het aantal aanbieders plaats, waardoor een verschuiving in economische machtsverhoudingen zou optreden.

Recapitulerend zou onder de huidige omstandigheden de opschaling van de productie in het bijzonder veel economisch voordeel kunnen opleveren als afval kan worden ingezet als grondstof. Substitutie van minerale olie als grondstof zou een verschuiving inhouden van schaarse fossiele brandstoffen naar landbouwproductie met de hiermee verbonden (schaarse) productiefactoren grond en water. Dit kan resulteren in concurrentie om de beschikbare ruimte met andere sectoren, zoals de voedselproductie en natuur. Daarnaast zou de te verwachten decentralisatie van de productie grote gevolgen hebben voor de economische structuur.

Microniveau
Naar schatting zijn in Nederland momenteel enige tientallen bedrijven actief in het toepassen van biotechnologie in productieprocessen; het exacte aantal is niet bekend en is ook moeilijk te benaderen door de weinig strakke grenzen waarbinnen de sector gedefinieerd wordt. Op wetenschappelijk gebied heeft Nederland nog steeds een toonaangevende positie in de wereld. De overheid verstrekt enige tientallen miljoenen euro's ten behoeven van het stimuleren en helpen van startende ondernemingen op het gebied van de biotechnologie en er worden direct dan wel indirect investeringen gedaan in wetenschappelijk onderzoek naar genetische kennis en de toepassing ervan.

Industrieel biotechnologische bedrijven worden in het algemeen belangrijke technische voordelen ten opzichte van de klassieke chemische productiehuishoudingen toegedicht, zoals technologie met een hoge reactieselectiviteit, verhoogde energie efficiëntie, reductie van afvalstoffen en minder uitval. Bij uitval betreft het eindproducten die worden afgekeurd als gevolg van het niet voldoen aan de geëiste /gewenste producteigenschappen. Een mogelijke verlaagde uitval door toepassing van biotechnologie is het gevolg van grotere zuiverheid van het eindproduct. Individuele toepassingen van de biotechnologie kunnen afwijken van het beschreven algemene beeld dat is ontstaan op basis van een verkennende literatuurstudie.

In elk geval is duidelijk dat de biochemie doordat deze nog lang niet is uitontwikkeld een stimulerende omgeving voor productinnovaties biedt. In het bijzonder bij de fijnchemicaliën en 'special products' vormt de IBt.-sector een kweekvijver voor innovatieve technologie met nieuwe kansen door nieuwe producteigenschappen. In geval van bioplastics zijn de nieuw ontwikkelde materialen vooralsnog meestal duurder dan vergelijkbare maar wel uitontwikkelde chemische producten. Bij de productie van chymosine daarentegen bleek het eindproduct tegen een lagere kostprijs te worden geproduceerd. In beide gevallen worden door uitbreiding van functievervulling nieuwe marktkansen geschapen. Vooral de inkorting van het aantal stappen ten opzichte van conventionele productieprocessen en de toepassing van reststromen kan tot efficiëntere productie leiden. Het algemene beeld dat zich laat vertalen in de toepassingen van biotechnologie in de industrie heeft positieve effecten op productiekosten en het creëren van nieuwe marktkansen.

Op basis van de algemeen geldende economische wetmatigheden (hogere efficiëntie van industriële bio-industrie) kan worden verwacht dat de toepassingen van biotechnologie in de industrie in omvang zullen toenemen. Dit ondersteunt de conclusies van de studie van McKinsey (Bachman, 2002) die wijzen op een toename van het marktaandeel van industriële biotechnologie in alle gebieden, en vooral in de fijnchemie. Het gaat hierbij om een geschatte penetratiegraad in 2010 tussen de 30 en 60% voor de fijnchemie. Voor de polymeren en bulkchemicaliën is de verwachte penetratiegraad lager, namelijk tussen 6 en 12 %. De uiteindelijke penetratiegraad zal sterk afhankelijk zijn van factoren als prijsontwikkelingen van aardolie en landbouwstoffen, technologische ontwikkelingen en institutionele en maatschappelijke ontwikkelingen, zoals wet- en regelgeving en consumentenpreferenties (BACAS, 2004). Energiestudies onderbouwen de verwachting van kostenreducties bij het toepassen van biotechnologie als direct gevolg van de

stijgingen in de prijzen van fossiele brandstoffen (en grondstoffen). Een toonaangevende opinie is de volgende: ‘There thus appear to be only two periods in the 21st century when fuel costs and prices are likely to rise in real terms; viz. first, towards the end of the second decade of the century, because of the then approaching need for conventional oil production to be supplemented post-2020 by inherently higher cost non-conventional oil production, in a situation in which oil still remains the world's most important energy source; and second, around 2040, when the non-conventional gas production has to be commercialised on a large, at a time when renewable energies have not yet become capable of taking over the responsibilities for substituting more expensive gas’ (Odell, 2004, p. 107, 108). Derhalve wordt op de langere termijn de besproken economische wetmatigheid die de toepassing van biotechnologie stimuleert, relevanter. Voorlopig geldt voor wat betreft de winstgevenheid van biotechnologische alternatieven voor bestaande productieprocessen dat nieuwe IBt.-installaties vaak moeten concurreren met reeds afgeschreven chemische installaties. Tegen betrekkelijk weinig extra kosten kan de levensduur van de traditionele productiemethode doorgaans aanzienlijk worden verlengd, terwijl de investering in de IBt.-route hoge kosten met zich meebrengt. Hier staan de hogere onderhouds- en milieukosten van de verouderde installaties tegenover en bestaat er in veel gevallen de mogelijkheid deelprocessen te vervangen.

Generaliserend geeft McKinsey&Company (Bachman, 2003) aan dat er voor ondernemers in de sector chemie waarde wordt gecreëerd met toepassingen van biotechnologie op basis van zowel stijgingen in de opbrengsten (new business en waarde toevoegende processen) als reducties van kosten (door lagere risco’s, proceskosten en grondstofkosten). Daarbij wordt het merendeel (ongeveer 55%) veroorzaakt door stijging van opbrengsten. De bedrijfseconomische aantrekkelijkheid van industriële biotechnologie wordt ook onderbouwd door een recent rapport over de toepassing van biotechnologie voor industriële duurzaamheid van de OECD (2001). Deze studie wijst op de ecologische voordelen van 21 gevallen waarin biotechnologie industrieel wordt toegepast. Daarbij gaat het in de meeste gevallen om processen die in de industriële praktijk economisch competitief zijn. Zoals de BACAS (2004)-studie hierover opmerkt: ‘het gaat hier dus geenszins om theoretische studies of onderzoeksprojecten’.

Een illustratie van de commerciële aantrekkelijkheid voor het producerende bedrijf (DSM), biedt de case chymosine. Op basis van de aannames van de producent onderbouwt een studie van EuropaBio (2003) de positieve prestatie van industriële technologie op het vlak van de economische impact. Daarbij speelt onder meer een rol dat de biotechnologische productiemethode een vrijwel identiek productresultaat oplevert aan het klassieke product, maar met een hogere zuiverheidsgraad. De markt voor de toepassing is aldus al aanwezig. Gelet op de grote set aan factoren die de uiteindelijke winstgevendheid van de toepassing van industriële technologie beïnvloedt, kan het beeld echter niet worden veralgemeniseerd voor elk bedrijf dat industriële technologie toepast.

Hier kan nog aan worden toegevoegd dat een bedrijfseconomische analyse op het niveau van de individuele onderneming met betrekking tot macro-economische indicatoren tot gevolgen leidt die vanuit nationaal beleid niet per definitie als gunstig kunnen worden bestempeld. Voorbeelden zijn een mogelijke daling van productiekosten door hogere

arbeidsproductiviteit. Wegens een mogelijke daling van de nationale werkgelegenheid kunnen die ook als ongewenst worden beschouwd. Verder kunnen onderzoekskosten die worden bekostigd door nationale bedrijven waarvan de verdere ontwikkeling en commercialisering bij buitenlandse bedrijven plaatsvindt en winstrealisaties in het buitenland plaatsvinden een ongewenst gemis aan nationale belastingopbrengsten te zien geven. Hier kan nog aan worden toegevoegd dat de markt er in beginsel toe leidt dat economisch profijtelijke productieprocessen zich ook zonder overheidssteun ontwikkelen. Hooguit kan overheidsstimulering ertoe leiden dat de ontwikkelingskosten worden gedrukt, waardoor de termijn van invoering wordt verkort. Veel eerder echter ligt de vraag bij de wenselijkheid van ontwikkelingstrajecten op grond van de twee andere duurzaamheidsdimensies. Daarbij speelt met name het vraagstuk van de perceptie op GGO's een essentiële rol. In het algemeen is GGO-gebruik vanwege het negatieve imago bij consumenten een bedreiging voor de markt, terwijl consumenten in het algemeen niet goed op de hoogte van de voor- en nadelen van bepaalde GGO's en de daarmee geproduceerde producten.

Recapitulerend kan met betrekking tot de economische dimensie van duurzaamheid worden vastgesteld dat de marktpositie van IBt. in het bijzonder bij de fijnchemicaliën en de 'specialty products' zonder meer als 'goed' valt te kwalificeren. In economisch positieve zin gelden met name de kweekvijverpositie voor innovatieve technologie, de nieuwe marktkansen door nieuwe producteigenschappen en de kostenreductie vanwege efficiëntievoordelen, waardoor in zijn algemeenheid de positie van industriële biotechnologie ten opzichte van de conventionele chemische industrie gunstig zijn te noemen. Grootschalige invoering van biotechnologie zou onder de huidige omstandigheden naar verwachting leiden tot decentralisatie van de productie en met name daardoor tot een transitie van de samenleving die ingrijpende economische (en sociale) gevolgen zou hebben.

4.4 De sociale dimensie van duurzaamheid

microniveau
Zoals eerder aangegeven is een overzicht van geformuleerde criteria voor sociale duurzaamheid gecompileerd uit de Global Reporting Initiative (GRI, 2003), de Social Accountability (SA 8000, 2001), de Shell Business Principles (Shell, 2002) en de Dow Jones Sustainability Index 2004. Deze criteria zijn, onderverdeeld naar intern en extern bedrijfsbeleid, in eerste instantie gerelateerd aan de cases (zie de tabellen 4.2 en 4.3). Daarbij is in de kolom 'Waardering' een kwalitatieve afweging (+, -, neutraal, n.v.t.) gemaakt over het specifieke van de Industrieel biotechnologische productieroute ten opzichte van de traditionele alternatieven.

Tabel 4-2 *Sociale Aspecten van Interne Beleid*

1 Sociale Aspecten Intern Beleid	Waardering		
	Bioethanol	Bio-plastics	Chymosine
1.1 Arbeidsomstandigheden	Neutraal	Neutraal	Neutraal
1.2 Werknemersrelaties	Neutraal	Neutraal	Neutraal
1.3.Sociale en arbeidsrelaties	Neutraal	Neutraal	Neutraal
1.4 Gezondheid en veiligheid	+	+	+
1.5 Organisatieontwikk., lerende organisatie	+	+	+
1.6 Ontwikkeling 'human capital'/talent	+	+	+
1.7 Training en educatie	Neutraal	Neutraal	Neutraal
1.8 Gelijke kansen	Neutraal	Neutraal	Neutraal

Tabel 4-3 *Sociale aspecten van het externe beleid*

2 Sociale Aspecten Extern Beleid	Waardering		
	Ethanol	Bio-plastics	Chymosine
2.1 Mensenrechten			
2.1.1 Strategie en management	Neutraal	Neutraal	Neutraal
2.1.2 Non-discriminatie	Neutraal	Neutraal	Neutraal
2.1.3 Vrijheid van vereniging en collectieve onderhandeling	Neutraal	Neutraal	Neutraal
2.1.4 Kinderarbeid	Neutraal	Neutraal	Neutraal
2.1.5 Gedwongen arbeid	Neutraal	Neutraal	Neutraal
2.1.6 Bedrijfsdiscipline	+	+	+
2.1.7 Veiligheidsmanagement	Neutraal	Neutraal	Neutraal
2.1.8 Rechten van inheemse volkeren	Neutraal	Neutraal	Neutraal
2.2 Sociale verantwoordelijkheid			
2.2.1 Gemeenschapsactiviteiten, sociale projecten	Neutraal	Neutraal	Neutraal
2.2.2 Stakeholder betrokkenheid	Neutraal	Neutraal	Neutraal
2.2.3 Sociaal jaarverslag	Neutraal	Neutraal	Neutraal
2.2.4 Corruptie en omkoping	Neutraal	Neutraal	Neutraal
2.2.5 Financiële bijdragen aan maatschappelijke partijen	Neutraal	Neutraal	Neutraal
2.2.6 Concurrentiegedrag en prijsstrategieën	Neutraal	Neutraal	-
2.3 Product verantwoordelijkheid			
2.3.1 Consumentengezondheid en –veiligheid	Neutraal	Neutraal	+
2.3.2 Producten en diensten	Neutraal	Neutraal	Neutraal
2.3.3 Toelevering standaard	+	+	+
2.3.4 Advertentiebeleid	Neutraal	Neutraal	Neutraal
2.3.5 Privacy	Neutraal	Neutraal	Neutraal

Het - beperkte - resultaat dat de scores opleveren bevindt zich met name op het terrein van werkgelegenheid en arbeidsomstandigheden. In het algemeen kan worden aangenomen dat de inkorting van het aantal productiestappen en de lagere druk en temperatuur in de reactorvaten kan leiden tot veiliger productieprocessen. De mogelijke gevolgen van GGO-gebruik worden hier verder niet meegenomen.

Voor het overige is ook bij de sociale component de herkomst van de biologische grondstof een belangrijke bepalende variabele. Zowel werkgelegenheid als

arbeidsomstandigheden hangen hier sterk mee samen. Als illustratie kan worden gewezen op de mogelijke gevolgen van opschaling van IBt. Hoewel invoering van meer efficiënte IBt.-processen ten koste van het aantal arbeidsplaatsen lijkt te gaan, kan ook het omgekeerde het resultaat zijn, vanwege een te verwachten decentralisering van de economische structuur.

Voor wat betreft de inzet van GGO's in de toeleverende agrarische biotechnologie dient nog een belangrijke kanttekening worden gemaakt. Zij gaan namelijk veelal samen met een bijzondere kwaliteit zaaigoed, pesticiden, geneesmiddelen en meststoffen. Omdat deze worden aangeboden door een beperkt aantal multinationals, versterkt IBt. (via groene biotechnologie) daarmee hun positie.

macroniveau
Het verzet tegen biotechnologie en vooral GGO's staat in nauw verband met mondiale beweging met een perceptie op de samenleving waarin weerstand tegen het Westerse, met de USA verbonden productiesysteem centraal staat en waarbij 'anti-McDonald-gevoelens' de boventoon voeren. Zo wordt biotechnologie gekoppeld aan afkeuring van kapitalistische overheersing door machtige bedrijven uit het kapitaalkrachtige Noorden. Verzet tegen biotechnologie wordt langs deze weg ook het domein van antiglobalisten die zich vooral inzetten om 'eigen' cultuur en daarmee veelal ambachtelijke productieprocessen te behouden tegen Angelsaksische invloeden van dominante voedselmultinationals. Bewegingen als 'Slow Food' (tegen industrieel en 'fast' voedsel) en de Franse 'Confédération Paysanne' van José Bové bewegen zich op dit gebied en zijn pertinent tegen de introductie van GGO's bij voedselbereiding.

Eén van de belangrijkste maatschappelijke tegenstanders van GGO's is Greenpeace. Deze organisatie wijst onder meer op het gevaar van 'genetische vervuiling'. Strikte toepassing van het voorzorgsprincipe leidt er in de ogen van deze milieuactiegroep toe dat voorlopig geen (met name soortoverschrijdende) genmanipulatie mag worden toegestaan. Greenpeace richt zich vooral op genetisch gemodificeerde plant- en diersoorten en laat zich niet specifiek uit over genetisch gemodificeerde micro-organismen.

In het algemeen bestaan er verschillende gradaties in de mate waarin GGO's worden geaccepteerd; perceptie speelt daarbij een belangrijke rol. Zo is er veel protest tegen GGO's in voedsel, maar worden medicijnen die via GGO's worden geproduceerd, zoals insuline of groeihormoon, zonder veel bedenkingen geaccepteerd. Hetzelfde geldt voor medicijnen die in 'unmet needs' kunnen voorzien. Verder zijn er ongelijksoortige belangen en voor- en nadelen in het geding. Tegenover de bezwaren tegen GGO's staat bijvoorbeeld de mogelijkheid dierenleed te reduceren. Als producten waarvoor nu nog hogere diersoorten nodig zijn, kunnen worden vervangen door genetisch gemodificeerde micro-organismen zou veel dierenleed kunnen worden voorkomen. Dit belangrijke ethische voordeel wordt nog niet standaard in de sociale duurzaamheidsindicatoren opgenomen, maar verdient daar zeker een plaats.

Voor toepassing van de sociale duurzaamheidscriteria op een ‘sector’ als IBt. kiezen we voor toepassing van de Shell Global Solutions Sustainability Assessment, de SGS (Shell, 2002) als afgeleide beschouwing in de zin van “wat is specifiek afwijkend in het geval van IBt.”. Hierbij komt met name de veiligheid (direct en indirect) bij de verwerking en de consequenties van de ontwikkeling van de grondstoffen aan de orde. Daaraan gerelateerd is de onderbouwing van de waarden van het beleid, de ethische aspecten, belangrijk, specifiek in relatie tot de perceptie van biotechnologie en het op één lijn plaatsen met GGO’s. En, hoewel IBt. meestal geen relatie heeft met genetische modificatie, is die relatie toch beeldvormend. Het is de vraag in hoeverre IBt. gescheiden kan worden benaderd van de GGO-perceptie om er specifieke uitspraken over te doen.

De indicatoren worden in het volgende in tabelvorm geïnventariseerd en gewaardeerd met de kwalitatieve waarderingsschaal van ‘Duurzamer' (0) naar ‘Minder Duurzaam' (5) (Cunningham, 2004).

Tabel 4-4 Scaling of the sustainability assessment matrix

Scoring	0	1	2	3	4	5	NA
Impact	Negligible	Low	Low/medium	Medium	Medium/high	High	Not applicable

From left to right, the scores range from more sustainable (0) to less sustainable (5), most insustainable is 45 points

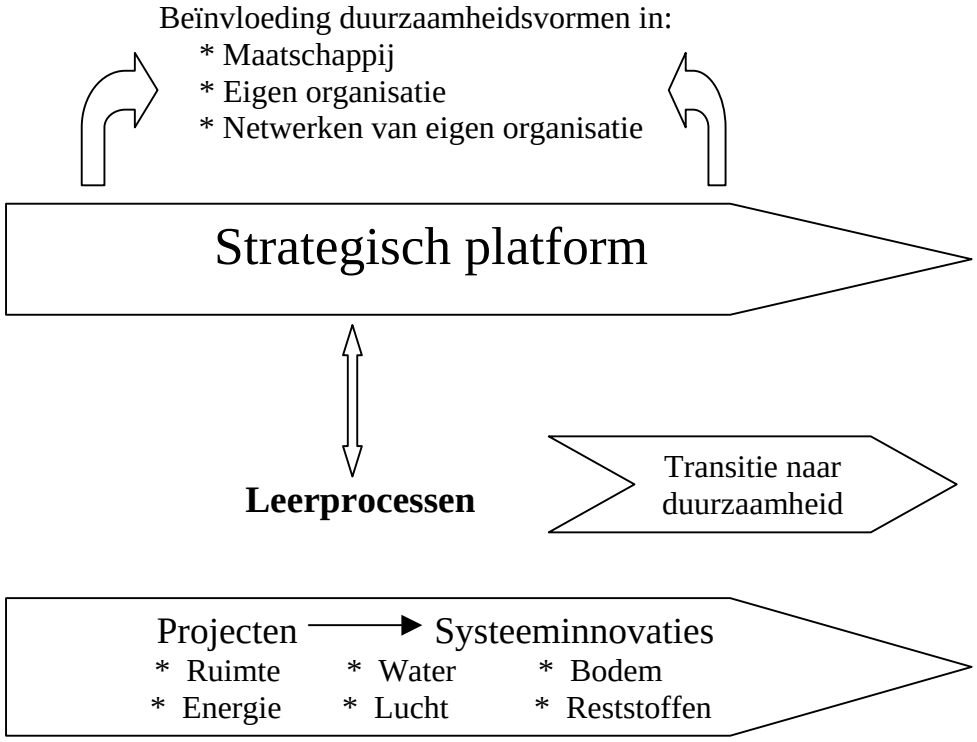
De invulling is als volgt.

Tabel 4-5 Sociale Indicatoren volgens de SGS Sustainability Assessment

Sociale Indicatoren	Waardering toepassing IBt.					
	Ethanol		Bio-plastics		Chymosine	
	Wel	Niet	Wel	Niet	Wel	Niet
Gepercipieerd risico	NA	NA	NA	NA	3	1
Effect op volksgezondheid	NA	NA	NA	NA	NA	NA
Effect op werkgelegenheid	2	3	NA	NA	3	2
Waarschijnlijkheid bedrijfsongeval	NA	NA	NA	NA	NA	NA
Beperking van product beschikbaarheid	2	3	2	3	NA	NA
Invloed van veranderd gebruiksgedrag op basis van product kenmerken	NA	NA	2	3	NA	NA
Noodzaak van training van medewerkers	3	3	NA	NA	NA	NA
Voldoen aan wetgeving	3	3	NA	NA	NA	NA
Product Baten: ‘gemak'	NA	NA	NA	NA	NA	NA
Totalisatie sociale indicatoren	10	12	4	6	6	3
Percentage onduurzaamheid	22	27	9	13	13	7
Verschil in percentage (meting duurzaamheid)	5		4		-6	

Uit bovenstaand overzicht kan aldus worden opgemaakt dat de biotechnologische alternatieven wisselend beter en minder goed scoren op de aangegeven criteria voor sociale duurzaamheid. De mindere score houdt vooral verband met de maatschappelijke perceptie ten opzichte van GGO-gebruik en heeft dus feitelijk geen betrekking op de onderliggende industrieel biotechnologische technologie.

Een belangrijk ander element van sociale duurzaamheid betreft het integreren van maatschappelijke actoren in de beleidsvorming. In het kader van het transitieproces richting duurzaamheid is in het bedrijfsleven een platform opgericht van stakeholders vanuit de industrie, overheid, milieubeweging, consumentenorganisaties en universiteiten. Op basis van diverse projecten is daarbij de ervaring dat faciliteren en participeren de basis zijn voor leerprocessen om duurzaamheidsvormen ook in de eigen organisaties en netwerken te ontwikkelen. Op langere termijn wordt daarmee de kennis en het draagvlak voor systeeminnovaties gecreëerd (Baas, 2003).



Tabel 4-6 Van projecten naar systeeminnovaties: de weg naar duurzaamheid

Mede als basis voor voortgaande strategische discussies en keuzes komen daarbij vragen aan de orde zoals ‘Welke lessen leren we uit de wereld om ons heen en hoe vertalen we de industriële, bestuurlijke en academische informatie naar de toepassing van industriële biotechnologie?’. Daarbij zullen zeker ook scenario’s voor opschaling ter sprake dienen te komen, want het relatief lage optimale schaalniveau van bioreactoren kan leiden tot een decentrale productie-infrastructuur met sociale kansen voor de regio en schaalvergroting in de landbouw. De concurrentie om de beschikbare ruimte die hiermee verband houdt, kan vervolgens leiden tot sociale spanningen tussen de diverse belangengroepen, zoals boeren, bewoners en natuurbeheerders.

Al met al geldt voor wat betreft de sociale dimensie dat geen helder en eenduidig verband kan worden gelegd tussen IBt. en de sociale duurzaamheidsindicatoren. Sociale indicatoren waarmee en type productieproces of een industriële sector als geheel kan worden geëvalueerd, ontbreken. De sociale duurzaamheidsaspecten zitten vooral in de individuele bedrijven. Op caseniveau kan deze relatie beter worden gelegd, maar binnen het tijdsbestek van deze studie is het onmogelijk 'harde gegevens' op het snijvlak van IBt. en sociale duurzaamheid te achterhalen. We hebben ons moeten beperken tot een inschatting van de gevolgen op basis van 'expert judgement' en op basis daarvan lijkt het type technologie, het 'wit biotechnologisch procédé' een ondergeschikte rol te spelen. Op grond daarvan kan vervolgens worden geconcludeerd dat bedrijven uit deze sector zich niet substantieel onderscheiden van bedrijven uit andere industriële sectoren. Dit met uitzondering van de inzet van GGO's, waar het imago vanwege de onzekerheden rond de risico's leiden tot een negatieve perceptie. Indirect zouden wel belangrijke sociale gevolgen kunnen optreden als biomassa onder de huidige omstandigheden op grote schaal zou worden ingezet. Voor de landbouw betekent dat schaalvergroting, voor de industrie schaalverkleining. Voor beide zou naar alle waarschijnlijkheid een zekere regionalisatie optreden.

4.5 Recapitulatie

In de cases zijn aanwijzingen te vinden dat met relatief beperkte toepassingen van IBt. een zekere duurzaamheidswinst kan worden behaald. Dit is vooral het geval bij de productie van specialty-products, en in geval van bulkproductie wanneer de grondstof bestaat uit reststromen (afval, met name uit de landbouw). Voor het vaak aangedragen versterkte broeikaseffect blijkt bulkproductie op basis van met IBt. bewerkte biomassa slechts marginale voordelen te hebben. Vooralsnog vraagt de inzet van IBt. zoveel energie (vooral wegens het transport en de bewerking van de grondstoffen) dat de winst uit het vastleggen van CO2 grotendeels teniet wordt gedaan. Ook compenseert het gebruik van pesticiden en kunstmest veel van de behaalde milieuwinst. Werkelijk grootschalige productie op basis van daarvoor geteelde landbouwgewassen zal onder de huidige stand van technologie oplopen tegen belemmeringen in met name land- en watergebruik.

De buitengewone kansen voor duurzame ontwikkeling die door organisaties van IBt.-producenten worden toegedicht aan IBt. zijn aldus op grond van de gegevens uit dit verkennend onderzoek niet hard te maken. Voor een beoordeling van de resultaten die het Öko-Institut en McKinsey (Europabio, 2003) trekken, konden door deze onderzoeksinstanties onvoldoende gegevens beschikbaar worden gesteld. Slechts indien reële doorbraken plaatsvinden van technologieën waarmee duurzame energie en efficiënte landbouwproductie worden gerealiseerd, of indien bepaalde grondstoffen kunnen worden benut die op dit moment nog ontoegankelijk zijn (houtafval) zou een aanzienlijke duurzaamheidswinst kunnen worden bereikt. Het is echter de vraag of deze doorbraken op afzienbare termijn zullen plaatsvinden.

Voor wat betreft GGO's geldt dat strikte toepassing van het voorzorgsbeginsel er in beginsel toe leidt dat GGO's niet kunnen worden toegelaten. Realistische toepassing, waarbij rekening wordt gehouden met de in het buitenland gehanteerde condities en de ervaring die tot op heden is opgedaan, leidt echter tot een genuanceerder beeld. Het kan worden vertaald in de volgende eenvoudige stellingen.

1. er zijn effecten in het milieu geconstateerd als gevolg van het gebruik van genetisch gemodificeerde planten in de landbouw (dit valt overigens onder de agrarische biotechnologie). Behoudens ethische bezwaren tegen soortoverschrijdende genmodificatie zijn er vooralsnog geen doorslaggevende argumenten beschikbaar om tot een negatief oordeel over deze effecten te komen.
2. van genetisch gemodificeerde micro-organismen (die bij industriële biotechnologie worden gebruikt) zijn vooralsnog voor mens en milieu geen negatieve effecten bekend, ethische bezwaren niet meegerekend;

5 Conclusies en aanbevelingen

5.1 Projectresultaten

Dit onderzoek is gericht op het verschaffen van inzicht in de bijdrage die bestaande voorbeelden van industriële biotechnologie kunnen leveren aan duurzame ontwikkeling. Gezien de maatschappelijke onrust op het terrein van biotechnologie, met name in relatie tot genetische modificatie, is het van groot belang de onduidelijkheden in oordelen en vooroordelen hieromtrent helder te krijgen.

De conclusies en aanbevelingen van dit onderzoek zijn gebaseerd op drie categorieën bronnen:

1. algemene literatuur, inclusief casestudies uit de algemene literatuur
2. drie onderzochte cases (bioethanol, PHA, chymosine)
3. deskundigenraadpleging.

De belangrijkste bevindingen zijn in het volgende samengevat. Daarbij is het van belang de beperkingen van het onderzoek in het oog te houden:

- uitgegaan wordt van het actuele kennisniveau, mogelijke doorbraken die meer duurzame alternatieven opleveren zijn niet verdisconteerd; ook een discussie over de bijdrage van biomassa in duurzame energievoorziening wordt niet meegenomen;
- de Nederlandse context staat centraal; slechts de gevolgen die opschaling van vormen van industriële biotechnologie hebben bij onveranderde omstandigheden zijn verkend; in werkelijkheid gaat het hier om een mondiale context;
- het literatuur- en deskundigenonderzoek is explorerend van aard geweest; de resultaten zijn kwalitatief van aard;
- een beperkt aantal van drie cases is onderzocht, slechts één case uit de bulkchemie (bioethanol) en twee toepassingen uit de fijnchemie (PHA en chymosine), waarbij alleen bij laatstgenoemde case sprake is van een GGO (met soortvreemde genen); het empirisch resultaat is indicatief; representativiteit wordt niet gepretendeerd;
- door de onderzoekers zelf zijn geen LCA's voor bepaling van de ecologische duurzaamheid uitgevoerd (er wordt gebruik gemaakt van de resultaten van reeds uitgevoerde studies);
- duurzaamheidsvoordelen in de eindgebruiks- of afvalfase worden bij de casestudies niet steeds meegenomen.

Uit dit verkennend onderzoek komt overtuigend naar voren dat alleen per individuele toepassing van industriële biotechnologie kan worden bepaald of een bijdrage aan duurzame ontwikkeling kan worden geleverd. Hierbij kan een overzicht van aspecten die de duurzaamheidstoets in positieve dan wel negatieve zin beïnvloeden van nut zijn. Met betrekking tot dit onderwerp blijken echter min of meer 'neutrale' beschrijvingen van de effecten van de impact van biotechnologie niet voor handen te zijn; ofwel bestaan er technisch wetenschappelijke publicaties die slechts leesbaar zijn voor ingewijden, ofwel bestaan er publicaties van organisaties of (lobby-)groepen met

grote belangen bij de biotechnologie. Van veel door bedrijven verrichte studies zijn de gegevens niet openbaar.

Industriële biotechnologie kan met en kan zonder genetische modificatie plaatsvinden, maar met name de mogelijkheid genetisch gemodificeerde organismen (GGO's) in te zetten, biedt perspectief op duurzame innovaties. Het is duidelijk dat het gebruik van GGO's in een aantal gevallen voordelen oplevert doordat nieuwe toepassingen mogelijk worden gemaakt. Daartegenover staan de mogelijke risico's van het gebruik van GGO's. Bij ingeperkte toepassingen van de industriële variant van biotechnologie zijn negatieve effecten in het milieu niet waarschijnlijk.

Het afkeuren van GGO's op grond van een ethische argumentatie kan met wetenschappelijk onderbouwde argumenten worden bekrachtigd noch ontkracht, evenzo geldt dat voor een onbeperkt geloof in technologische vooruitgang. Perceptie en levenshouding van de gebruikers spelen hier een doorslaggevende rol. Uitsluitend door de verspreiding van 'correcte' informatie over de voor- en nadelen van IBt. kan deze perceptie op legitieme wijze worden beïnvloed. Hier zij benadrukt dat veel bezwaren zich vooral richten op genetisch gemodificeerde hogere diersoorten en tegen planten die worden gebruikt als voedingsmiddel. Tegen ingeperkt gebruik van micro-organismen als bacteriën, schimmels en gisten bestaat betrekkelijk weinig oppositie.

Biotechnologische innovaties hebben de mogelijkheid om producten of goederen te produceren die passen binnen een duurzame ontwikkelingsrichting. Hiermee kan aan de aanbodzijde worden bijgedragen aan vergroting van het aantal duurzame handelingsperspectieven voor zowel producenten als consumenten. Daarbij geldt in Nederland voor GGO's gebruikt in industriële biotechnologie dat een zorgvuldige toelatingsprocedure is vereist. Dit, in combinatie met het ingeperkte karakter van de productieprocessen en de van nature ook al aanzienlijke genetische dynamiek van micro-organismen, betekent dat er weinig reële bezwaren resteren. Als er al substantiële bezwaren zijn, hebben die in het algemeen eerder betrekking op GGO's in andere levensvormen en in agrarische (groene) of medische (rode) biotechnologie dan in IBt. Op basis van ons verkennend literatuuronderzoek, deskundigenraadpleging en casestudies komen wij tot een oordeel over de duurzaamheid van industriële biotechnologie dat kan worden gekenschetst als *'onder condities positief'*.

In het volgende komen de conclusies per case achtereenvolgens naar voren. Daarna worden de veralgemeniseerde observaties opgesomd; het hoofdstuk wordt afgesloten met een aantal aanbevelingen voor het beleid.

5.2 Conclusies duurzaamheid per case

5.2.1 Bio-motorbrandstof: bioethanol

Een vergelijking op de ecologische, economische en sociale dimensie van duurzaamheid van *bioethanol als bijmenging met benzine* ten opzichte van benzine ziet er, uitgaande van de huidige stand der techniek, in hoofdpunten als volgt uit.

- *ecologisch*
  - inzet van biobrandstoffen, i.c. bioethanol leidt tot verminderde uitputting van niet-vernieuwbare fossiele brandstoffen en tot een beperkte vermindering in de uitstoot van broeikasgassen;
  - op de overige milieuthema's scoort bioethanol gelijk of slechter dan het alternatief, benzine, met name omdat de levenscyclus in de landbouwketen gepaard gaat met milieu-effecten ten gevolge van het gebruik van kunstmest en pesticiden en van energie. De milieuwinst van bioethanol wordt hierdoor (deels) teniet gedaan;
  - per energetische eenheid zijn ruimte- en watergebruik aanzienlijk als bij opschaling gewassen zouden worden geteeld voor de grondstof; bij aanzienlijke opschaling zou het ruimtegebruik een belemmering voor grootschalige productie inhouden; datzelfde geldt voor het watergebruik;
  - deze nadelen gelden niet bij een productie uit reststromen uit de landbouw. Bij het invullen van transitiepaden met betrekking tot biomassa is het belangrijk een inschatting te maken van de (potentiële) omvang van deze afvalstromen.

- *economisch*
  - de vanwege toenemende schaarste verwachte stijging van de olieprijzen zijn in hoge mate bepalend voor de economische kansen; de wens onafhankelijk te zijn van olieproducerende landen heeft eveneens een belangrijke invloed op de markt van biobrandstoffen;
  - de markt voor suikers en dan met name de protectie van binnenlandse markten is eveneens van invloed;
  - bij opschaling zou een verschuiving plaatsvinden van schaarse fossiele brandstoffen naar landbouwproductie met de hiermee verbonden (schaarse) productiefactoren grond en water;
  - de concurrentie om de beschikbare ruimte kan andere sectoren zoals de voedselproductie of natuur in economisch opzicht onder druk zetten;
  - de noodzaak om relatief korte aanvoerlijnen van de landbouwgrondstoffen aan te houden, en de geringere voordelen bij verdere opschaling van de huidige bioreactoren, leiden ertoe dat logistieke schaalvoordelen in de regio kunnen worden gerealiseerd.
  - opschaling van de productie van bioethanol zou leiden tot een decentrale productie-infrastructuur met een verschuiving van het economische zwaartepunt van het (multi)nationale naar het regionale niveau;
  - door toevoeging van producenten vindt een spreiding van het aantal aanbieders plaats, waardoor een verschuiving in economische machtsverhoudingen optreedt met onzekere gevolgen voor internationale handelsrelaties;

- *sociaal*
    - de op landbouwproducten of –afval gebaseerde productie leidt tot een decentrale productie-infrastructuur met sociale kansen voor de regio en schaalvergroting en kansen voor hervorming in de landbouw (zowel nationaal als internationaal);
    - het arbeidsintensievere grondstoffentraject en de toename aan productie-eenheden leiden tot extra werkgelegenheid in de regio's;
    - voor wat betreft de arbeidsomstandigheden vindt een verschuiving plaats van het type werkzaamheden in de oliesector naar arbeid in de landbouwsector;
    - bij opschaling zou de afhankelijkheid van producenten van fossiele brandstoffen verschuiven naar afhankelijkheid van (gecentraliseerde) landbouwbedrijven en water;
    - de concurrentie om de beschikbare ruimte en water kan tot sociale spanningen leiden tussen belangengroepen (boeren, bewoners, natuurbeheerders);

- *algemeen*
    - relatief beperkte toepassing kan duurzaamheidswinst opleveren, in het bijzonder wanneer de grondstof bestaat uit lokaal geproduceerde reststromen (afval);
    - werkelijk grootschalige productie uit landbouwgewassen loopt op tegen belemmeringen op het gebied van met name land- en watergebruik, zowel op nationaal als internationaal niveau.

5.2.2 Bioplastic: PHA

Een vergelijking op duurzaamheid van *PHA-granulaat uit organisch afval* versus PE-granulaat uit minerale olie ziet er, uitgaande van de huidige stand der techniek, in hoofdpunten als volgt uit.

- *ecologisch*
    - substantiële reductie van de uitstoot van broeikasgassen vindt niet plaats vanwege het energieverbruik van het fermentatie-proces waarmee PHA wordt geproduceerd;
    - uitputting van niet vernieuwbare fossiele brandstoffen wordt beperkt verminderd;
    - met uitzondering van uitputting scoort PE op alle ecologische indicatoren beter dan PHA, met daarbij de aantekening dat het PE-productieproces veel meer is geoptimaliseerd (op dit moment is PE minder 'onduurzaam');
    - andere bioplastics scoren mogelijk beter dan PHA, zoals bijvoorbeeld PLA;
    - bij opschaling van de productie van bioplastics is het de vraag in hoeverre organisch afval als grondstof voldoende soelaas biedt. Wanneer hiervoor landbouwgewassen worden geteeld, leidt dit tot keteneffecten zoals die zijn genoemd bij de case bioethanol;
    - indirecte milieuwinst van bioplastics, vanwege eigenschappen van het product als bijvoorbeeld verpakkingsmateriaal dat leidt tot een langere houdbaarheid van voedsel, kunnen aanwezig zijn (in de casestudy niet meegenomen);
    - de composteerbaarheid van het afval wordt wel gezien als voordeel maar het is discutabel of composteren een beter milieuresultaat oplevert dan verbranding met energieterugwinning.

- *economisch*
    - de vanwege toenemende schaarste verwachte stijging van de olieprijzen zijn in hoge mate bepalend voor de economische kansen; de wens onafhankelijk te zijn van olieproducerende landen heeft eveneens een belangrijke invloed op de marktpositie van biobrandstoffen;
    - het relatief lage optimale schaalniveau van bioreactoren leidt tot een decentrale productie-infrastructuur met economische kansen voor de regio en de landbouw;
    - bij opschaling zou een verschuiving plaatsvinden van schaarse fossiele brandstoffen naar landbouwproductie met de hiermee verbonden (schaarse) productiefactoren grond en water (dit doet zich voor als het huidige marktpotentieel van bioplastics, nu rond 1%, in termen van een duurzaamheidstransitie zou stijgen naar 30% van de markt van plastic);
    - de nog niet uitontwikkelde biochemie biedt een stimulerende omgeving voor productinnovaties;
    - gebruik van afval als grondstof voor PHA leidt tot een (gering) efficiëntievoordeel
    - het gebruik van biologische grondstoffen leidt in het algemeen tot duurdere polymeren voor vergelijkbare producten, maar door mogelijke uitbreiding van functievervulling worden nieuwe marktkansen geschapen;
    - de noodzaak om relatief korte aanvoerlijnen van de landbouwgrondstoffen aan te houden, en de geringere voordelen bij verdere opschaling van de huidige bioreactoren, leiden ertoe dat logistieke schaalvoordelen in de regio kunnen worden gerealiseerd.

- *sociaal*
    - de zo beperkt mogelijke transportafstanden voor de grondstoffen leiden tot een decentrale productie-infrastructuur met sociale kansen voor de regio en schaalvergroting en kansen voor hervorming in de landbouw (zowel nationaal als internationaal); ook het relatief lage optimale schaalniveau van bioreactoren kan hier een rol spelen;
    - het arbeidsintensievere grondstoffentraject en de toename aan productie-eenheden leiden tot extra werkgelegenheid;
    - voor wat betreft de arbeidsomstandigheden vindt een verschuiving plaats van het type werkzaamheden in de oliesector naar arbeid in de landbouwsector;
    - bij opschaling zou de afhankelijkheid van producenten van fossiele brandstoffen verschuiven naar afhankelijkheid van (gecentraliseerde) landbouwbedrijven en water;

- *algemeen*
    - relatief beperkte toepassingen kunnen duurzaamheidswinst opleveren, in het bijzonder wanneer de grondstof bestaat uit reststromen (afval), en dan in het bijzonder bij de productie van specialty-products;
    - gebruik van overig organisch materiaal dan suikers kan de algemene duurzaamheid van de industriële biotechnologie sterk verbeteren met name omdat de effecten van de landbouwproductie dan aan een groter productvolume kunnen worden toegerekend.

5.2.3 Chymosine

Een vergelijking op duurzaamheid van *chymosine* (zuiver kaasstremsel gemaakt met GMO gist) versus relatief zuiver (90/10 chymosine/pepsine) stremsel uit kalvermagen ziet er, uitgaande van de huidige stand der techniek, in hoofdpunten als volgt uit.

- *ecologisch*
  - inzet van biotechnologisch geproduceerde chymosine leidt tot verminderde uitputting van niet-vernieuwbare fossiele brandstoffen, tot beperkte vermindering in de uitstoot van broeikasgassen en tot minder impact op 'human toxicity';
  - een reductie van de uitstoot van broeikasgassen wordt gerealiseerd als gevolg van vermeden emissies gerelateerd aan energie (met name CO2), wegens vermeden transport, opslag en koeling. Wanneer zou worden vergeleken met minder zuivere kalverstremsels die worden verkregen uit oudere kalveren, die veelal van slachthuizen in de regio worden betrokken, is de energie benodigd voor opslag en transport minder groot dan voor kalvermagen van nuchtere/jonge kalveren;
  - de risico's verbonden aan de met behulp van genetische modificatie van een rundergen voorziene micro-organismen waarmee chymosine wordt geproduceerd, lijken zeer beperkt te zijn. Het gebruikte DNA kan in het milieu komen, maar substantiële effecten zijn niet waarschijnlijk;

- *economisch*
  - de kostprijs van het eindproduct is lager;
  - nieuwe markten worden bediend, zoals consumenten van kosjer en hallal kaas; ook is het ontbreken van een oorzakelijk verband tussen het eindproduct en het doden van dieren aantrekkelijk voor een deel van de consumenten (vegetariërs);
  - ondanks dat de kaas zelf niet met GGO's wordt geproduceerd - het is immers de hulpstof chymosine die door GGO's wordt geproduceerd - belemmeren GGO's de toepassing op de kaasmarkt van Duitsland en dientengevolge ook Nederland;

- *sociaal*
  - de omvang van de werkgelegenheid daalt als gevolg van de vervanging van ambachtelijke werkzaamheden door industriële arbeid en de vermindering van transport van grondstoffen;
  - er is geen direct effect op het voorkomen van dierenleed omdat de grondstof voor het alternatief (animal rennet) een bijproduct is (de kalveren worden voor het vlees geslacht);
  - voor wat betreft de arbeidsomstandigheden kan winst worden behaald doordat het zwaardere werk in slachterijen wordt verminderd ten voordele van het schonere operatorwerk. Daar staat echter de arbeid in de landbouwsector die de grondstof levert tegenover, alsmede het verdwijnen van enig ambachtelijk slagerswerk;
  - ethische vragen betreffende het gebruik van GGO's spelen een beperkte rol;

- algemeen

- op milieu, economisch en sociaal gebied scoort het IBt.-alternatief beter; de ethische aspecten van de GGO-discussie worden hierbij buiten beschouwing gelaten. Deze discussie is wel interessant omdat mensen behalve bezwaren tegen het sleutelen aan genen ook juist op ethische gronden de voorkeur kunnen geven aan met GGO's geproduceerde chymosine (omdat het niet door dieren wordt geproduceerd).

5.3 Algemene conclusies

Als belangrijkste conclusie van dit op een beperkt aantal casestudies, een verkennende literatuurstudie en deskundigenraadpleging gebaseerde onderzoek, geldt dat een alomvattend oordeel over de duurzaamheid van industriële biotechnologie niet mogelijk is. Per type technologie, per product en per context verschillen de effecten op de dimensies van duurzaamheid. Met andere woorden: de duurzaamheid van IBt. is volledig case-afhankelijk. Het ingeperkt gebruik en de uitgebreide risicovoorzorgsmaatregelen die inherent zijn aan industriële biotechnologie onderscheiden industriële biotechnologie van de agrarische en medische biotechnologie. Dit, in combinatie met het uitblijven van bewezen negatieve effecten van gemodificeerde micro-organismen nuanceren de meeste bezwaren aanzienlijk.

In beginsel kunnen voorbeelden van industriële biotechnologie onder condities een bijdrage leveren aan duurzame ontwikkeling. In het volgende worden de algemene conclusies nog eens puntsgewijs samengevat.

1. de verwachtingen op duurzaamheidswinst van IBt. zijn het hoogst bij toepassingen in de fijnchemie. Voor fijnchemicaliën geldt dat inkorting van het aantal stappen in productieprocessen vaak leidt tot ecologisch en economisch efficiëntere productieprocessen;
2. deze winst zou op alle drie de duurzaamheidsdimensies kunnen bestaan. Het ontbreken van voldoende gegevens met betrekking tot de in opdracht van het bedrijfsleven (bijvoorbeeld Europabio) uitgevoerde studies maken het echter niet goed mogelijk deze verwachtingen te onderschrijven, dan wel te ontkrachten;
3. met name IBt.-producten die worden geproduceerd uit reststromen (afval), kunnen een bijdrage aan duurzame oplossingen leveren, hoewel de milieuwinst soms beperkt is. Onder de huidige omstandigheden is langs deze weg duurzaamheidswinst te behalen doordat een groter deel van de landbouwproductie nuttig wordt ingezet;
4. voor in het bijzonder de fijnchemicaliën en de 'specialty products' vormt de IBt.-sector een kweekvijver voor innovatieve technologie met nieuwe marktkansen doordat nieuwe producteigenschappen worden gecreëerd;
5. energievoorziening uit biomassa kan een bijdrage aan duurzame ontwikkeling leveren, met name wanneer gebruik wordt gemaakt van afvalstromen als grondstof;
6. wanneer door opschaling van de industrieel biotechnologische productie speciaal gewassen zouden worden geteeld, zou onder de huidige omstandigheden op zeker moment het benodigde landoppervlak en de hoeveelheid water niet reëel zijn in Nederland en de EU;

7. grootschalige invoering van biotechnologische productieprocessen leidt tot een transitie van de samenleving met ingrijpende sociale en economische gevolgen, in het bijzonder voor wat betreft een te verwachten regionalisatie;
8. op product- en sectorniveau zijn onvoldoende bruikbare sociale indicatoren voor duurzaamheid beschikbaar om een afgewogen oordeel op te baseren;
9. tot op heden zijn voor mens en milieu geen negatieve effecten van genetisch gemodificeerde micro-organismen bij toepassing in de gesloten omgeving van IBt. aangetroffen;
10. ethische en levensbeschouwelijke vragen zijn bij toepassing van GGO's wel aan de orde, maar deze spelen bij degenen met bezwaren veel minder een rol bij micro-organismen dan bij dieren of landbouwgewassen;
11. de huidige op het voorzorgsbeginsel gerichte vergunningprocedure voor aanvragen tot het toelaten van GGO's bij het Ministerie van VROM houdt voor zover bekend rekening met alle relevante aspecten.

5.4 Aanbevelingen

Uit de conclusies kan een aantal aanbevelingen voor de ontwikkeling van overheidsbeleid op het terrein van Industriële Biotechnologie worden afgeleid.

Bewaar als overheid bij voorkeur een kritische houding ten opzichte van nieuwe IBt.-processen. Niet iedere toepassing heeft onder alle omstandigheden positieve gevolgen voor duurzame ontwikkeling. Bekijk in elk geval steeds wat de gevolgen zijn op de lange termijn en op een hoger schaalniveau. Door op individuele processen of fabrieken te focussen bestaat het gevaar dat het grote beeld van omvangrijke transities dat hier onherroepelijk aan vastzit, uit het oog verdwijnt. Dit komt ook terug in het debat; doordat de claims vaak grootschalig zijn en de onderbouwing gaat over kleinschalige cases ontstaat een onevenwichtig beeld. In dit kader is een scenariostudie van de gevolgen van opschaling van een IBt.-proces sterk aan te bevelen. Deze zou de volgende vraagstelling kunnen hebben: stel dat een betreffende toepassing van een proces op bedrijfsniveau, op regioniveau, nationaal niveau of zelfs mondiaal niveau wordt ingevoerd; wat zouden dan de gevolgen zijn?

Ook op case niveau is meer kennis nodig. Zo is voor een aantal cases onderzoek noodzakelijk dat verder gaat dan de verkenning die hier heeft plaatsgevonden. Dat betekent onder meer dat een uitgebreide LCA van de case wordt uitgevoerd en dat een opschalingsexercitie plaatsvindt. Pas dan zijn voor de betreffende cases voldoende onderbouwde conclusies te trekken over de duurzaamheidsclaims. Zeer aanbevelingswaardig is in dit verband de uitvoering van een volledige LCA van een fermentatieproces. Dit zou een belangrijke basis kunnen leggen voor veel cases op het terrein van IBt.. Verder komt bij voorkeur een casestudy uit de productie van fijnchemicaliën in aanmerking, gezien de te verwachten voordelen in deze sector. De case 'caprolactam' werd binnen dit project niet uitgevoerd vanwege het feit dat het betreffende bedrijf het prematuur achtte gegevens beschikbaar te stellen. Deze case lijkt echter zeer interessant vanuit technologisch, ecologisch en economisch standpunt vanwege de vergelijking tussen een geavanceerd biotechnologie-proces en een klassiek chemische route voor de bereiding van hetzelfde product. Verwacht kan

worden dat door vermindering van het aantal processtappen de milieu-impact van het proces aanzienlijk zal dalen en ook is er een economische voordeel te verwachten vanwege de technologische voorsprong die het betreffende bedrijf heeft behaald.

Dan is het vervolgens in verband met de uitvoering van LCA's op dit terrein, nuttig onderzoek te initiëren met betrekking tot de risicoanalyse ten behoeve van de beoordeling van GGO's. Verdere ontwikkeling is gewenst, met name voor wat betreft een kwantitatief risicoanalyse-model betreffende verspreiding en effecten in het milieu, gebaseerd op evolutionaire principes. Een dergelijk risicoanalysemodel zou weer de basis kunnen zijn voor incorporatie van een nieuw thema 'effecten van GGO's' in LCA.

Om een juiste inschatting van de sociale duurzaamheid van cases te verkrijgen is verder onderzoek naar de ontwikkeling van geschikte sociale duurzaamheidsindicatoren voor een sector (als biotechnologie) van groot belang. Ook op productniveau zouden sociale indicatoren nuttige inzichten kunnen bieden.

Verder is ter identificatie van de zwaartepunten in het debat rond biotechnologie en GGO's een uitgebreide stakeholdersanalyse (naar belang en invloed van belangengroepen) wenselijk, zodat een meer evenwichtige beoordeling van de informatiestromen mogelijk wordt. Om te komen tot vergelijkbare informatieniveaus over actuele thema's als biotechnologie, GGO's, biobrandstoffen etc. is het van belang dat ook interactie met en tussen maatschappelijke actoren wordt gestimuleerd. Hiervoor zou een tijdelijk 'Platform van stakeholders' voor reflectie en dialoog over product vergelijking en GGO-ontwikkeling waardevol kunnen zijn.

6 Referenties

Account Ability institute of social and ethical accountability (2001), *AccountAbility 1000* (AA 1000) framework, standard, guidelines and professional qualification, AccountAbility institute of social and ethical accountability, London

Akiyama M., Tsuge T. & Doi Y, *Environmental life cycle comparison of polyhydroxyalkanoates produces from renewable carbon resources by bacterial fermentation*, Polymer Degradation and Stability **80**, 183-194, 2003.

Albrecht, Johan (2000), Biotechnologie en genetische manipulatie, tussen hype en hysterie, Standaard Uitgeverij, Antwerpen, 2000.

Aldor S.I and Keasling J.D., *Process design for microbial plastic factories: metabolic engineering of polyhydroxyalkanoates*, Current Opinion in Biotechnology, Volume 14, Issue 5, Pages 475-483, 2003.

Andersen J.T., T. Schäfer, P.L. JØrgenensen and S. MØller, *Using inactivated microbial biomass as fertilizer: the fate of antibiotic resistance genes in the environment, Reseach in Microbiology* **152,** 9, 823-833, 2001

Anonymus (2003), *Future Fish. Issues in the science and regulation of transgenic fish*. Report for the Pew Initiative on Food and Biotechnology, Washington D.C. Aangetroffen op http://pewagbiotech.org/research/fish/fish.pdf .

Baas, Leo (2003), *INES Mainport Rotterdam: over bedrijfs- en systeemgrenzen?* ESM, Rotterdam

BACAS (2004), *Royal Belgian Academy Council of Applied Science*, Industriële Biotechnologie en duurzame Chemie, Brussel, België.

Bonekamp F. J. and J. Oosterom, *On the safety of Kluyveromyces lactis – a review*, Appl. Microbiol. Biotechnol., 41, 1-3, 1994

Bonekamp, Fons J. and Johannus Oosterom (1994), *On the safety of Kluyvermyces lactis* – a review. Appl. Microbiol. Biotechnol. 41, 1-3

Committee for the Prevention of Disasters (1999). *Guidelines for quantitative risk assessment*, "Purple Book", CPR 18-E. SDU Uitgevers, Den Haag.

Cunningham, Bryony, Nigel Battersby, Walter Wehrmeyer and Catriona Fothergill (2004), *A Sustainability Assessment of a Biolubricant*, Journal of Industrial Ecology, Volume 7, Number 3-4, 179 -192

Davison, J. (1999), *Genetic Exchange between Bacteria in the Environment.* Plasmid 42 pp 73 – 91.

Dijck, P.W.M van (1999), *Chymosine and Phytase. Made by genetic engineering (No. 10 in a series to promote a better understanding of genetic engineering)*, Journal of Biotechnology, 67, 11-80,

Dijck, P.W.M van (2004), Strain Director, DSM Food Specialties *Personal Communication*, DSM

Doblhoff-Dier, O., H. Bachmayer, A. Bennett, G. Brunius, M. Cantley, C. Collins, J-M Collard, P. Crooy, A. Elmqvist, C. Frontali-Botti, H.G. Gassen, R. Havenaar, H. Haymerle, D. Lamy, M.Lex, J.L. Mahler, L. Martinez, C. Mosgaard, L. Olsen, J. Pazlarova, F. Rudan, M. Sarvas, H. Stepankova, G. Tzotzos, K. Wagner & R. Werner (2000). *Safe Biotechnology 10: DNA content of biotechnological process waste*. Tibtech Vol 18, april 2000, pp 141-146.

Dow Jones Sustainability Index 2004 (2004) website toegang 24/04/04, Zurich, Switzerland.

Erickson, Brent, Christopher J.Hessler (2004), *New Biotech Tools for a cleaner environment*: Industrial Biotechnology for Pollution Prevention, Resource Conservation and Cost Reduction, BIO, Washington DC, USA

EC (1996), *the European Union System for the Evaluation of Substances. National Institute of Public Health and the Environment* EUSES, RIVM, the Netherlands, available from the European Chemicals Bureau (EC/JRC), Ispra, Italy.

Forsythe, S.J. (2002). *The microbiological risk assessment of food*. Blackwell Science, 212 pp.
Gerngross T.U. & Slater S.C., *How Green are Green Plastics*, Scientific American August 2000 , 25-29, 2004.
Gerngross T.U., *Can biotechnology move us towards a sustainable society?*, Nature Biotechnology **17**, 541-543, 2004.
Godfroij, P., Ministry of Environment the Netherlands: Ministerie van VROM, Den Haag, 17-6-2004
Grassi, G., *Bioethanol - Industrial world perspectives*, Renewable Energy World **3**, 2000
Guinée JB, M. Gorrée, R. Heijungs , G. Huppes, R. Kleijn, A. de Koning, L. van Oers, A. Wegener Sleeswijk, S. Suh, H.A. Udo de Haes, H. de Bruijn, R. van Duin, M.A.J. Huijbregts. *Handbook on Life Cycle Assessment. Operational Guide to the ISO Standards.* Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 2002, xii + 692 pp.
Haak L.J., Supply Chain Manager Dairy Ingredients, DSM Food Specialties, *Personal Communication*, Delft, 2004
Hall L, K. Topinka, J. Huffman, L. Davis and A. Good (2000). *Pollen flow between herbicide-resistant Brassica napus is the cause of multiple-resistant B. napus volunteers*. Weed Science 48: 688-694.
Hart, Maureen (1999) *Guide to sustainable community indicators*, North Andover, MA,
Heap, I., (2000) *International survey of herbicide-resistant weeds*. Internet publication, June 26, 2000. http://www.weedscience.com.
Hedrick, P.W. (2001). Invasion of transgenes from salmon or other genetically modified organisms into natural populations. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences 58: 841–844.
Heemskerk, P. (2003). *Aanzet tot het ontwikkelen van een methode voor het systematisch in kaart brengen van de risico's van Genetisch Gemodificeerde Organismen (GGO) in de industrie*. CML Bachelorsstageverslag.
Hoekstra, A. Y. Perspectives on water: a model-based exploration of the future, Utrecht, the Netherlands: International Books, 1998
IUCN, *Website Invasive Species Specialist Group* (2004) *ISSG* van de IUCN: http://www.issg.org/
Jank, B., A. Berthold, S. Alber & O. Doblhoff-Dier (1999). *Assessing the impacts of genetically modified microorganisms*. Int J LCA 4(5) 251 – 252.
Jones, S. (1999), *Almost like a whale, the Origin of Species updated.* Doubleday, Transworld Publishers Ltd., London UK, Milsons Point Autralia, Auckland New Zealand, Parktown South Africa.
Kim, S. and B.E.D ale, *Allocation Procedure in Ethanol Production System from Corn Grain*, International Journal Life Cylce Assessment **7**, 237-243, 2002
Koivisto, R.A., K.M. Törmäkangas & V.S. Kauppinen (2002), *Hazard identification and Risk Assessment procedure for genetically modified plants in the field* – GMHAZID. Environ Sci & Pollut Res 9 (2) 110 – 116.
Kriström, Bengt and Tommy Lundgren (2003) *Abatement investments and green goodwill Applied Economics*, Vol. 35, Nr. 18 / December 15, Routledge, pp. 1915 - 1921
Kruszewska, Iza and Beverley Thorpe (1995), *Extended Producer Responsibility, Greenpeace Briefing on Strategies to promote Clean Production*, nr. 4, Greenpeace International, Amsterdam, October 1995
Kuijken, E., D. Boeye, L. de Bruijn, K. de Roo, M. Dumortier, J. Peymen, A. Schneiders, D. van Straaten & G. Weyembergh (2001). *Natuurrapport 2001*. Toestand van de natuur in Vlaanderen: cijfers voor het beleid. Mededelingen van het Instituut voor Natuurbehoud no. 19, Brussel
Kurdikar D., Fournet L., Slater S., Paster M., Gruys K.J., Gerngross T.U. and Coulon R., *Greenhouse gas profile of a plastic material derived from a genetically modified plant*, Journal of Industrial Ecology **4**, pp. 107–122, 2000
Lee S.Y.,. *Plastic Bacteria? Progress and prospects for polyhydroxyalkanoate production in bacteria, TIBTECH* **14**, 431-438, 1996.

Maryanski, J. H., *Food and Drug Administration policy for foods developed by biotechnology*. In: "Genetically Modified Foods: Safety Issues.", K.-H, Engel, G. R. Takeoka and R. Teranishi, Eds., ACS Symposium Series No. 605, pp.12-22. American Chemical Society, Washington, DC, 1995

Meesters K.P.H., *Production of poly-3-hydroxyalkanoates from waste streams*, Delft University of Technology, 1998

Ministerie van Economische Zaken (2004) Transitie naar een duurzame energiehuishouding, website: http://www.ez.nl/content.jsp?objectid=17777, Den Haag

Muir, W.M. and R.D. Howard (2002) *Environmental Risk Assessment of Transgenic Fish With Implications for Other Diploid Organisms*. Transgenic Research 11:101-114.

Nielsen, K.M., A.M. Bones, K. Smalla & J.D. van Elsas (1998). *Horizontal gene transfer from transgenic plants to terrestrial bacteria – a rare event?* FEMS Microbiology Reviews vol. 22 pp 79 – 103.

Nielsen, K.M., K. Smalla and J.D. van Elsas (2000), *Natural Transformation of Acinetobacter sp. Strain BD413 with Cell Lysates of Acinetobacter sp., Pseudomonas fluorescens, and Burkholderia cepacia in Soil Microcosms*. Applied and Environmental Microbiology Vol. 66, No. 1, 206-212

Noordover, J.A.C., Hofmeester, J.J.M., van den Burg, J.P., de Leeuw, A., van Dijck, P.W.M., Luiten, R.G.M. and Groot G.S.P. (2002) *Containment in Industrial Biotechnology within Wastewater Treatment Plants*. J.Ind. Microbiol. Biotechnol. 28, 65-69.

Novo Nordisk (1996), *Environmental Report 1995*, Copenhagen, 1996

Novo Nordisk, *Sustainability Report 2003*, Copenhagen

Odell, Peter R. (2004), *Why Carbon Fuels Will Dominate* The 21st Centurys Global Energy Economy, Multi Science Publishing Co. Ltd., Brentwood Essex.

Olsthoorn, Xander, Daniel Tyteca, Walter Wehrmeyer and Marcus Wagner (2001), *Environmental indicators for business*: a review of literature and standardisation methods, Journal of Cleaner Production, Volume 9, Number 5, 2001, 452 - 463

Patel M., Bastioli C., Marini L., Wuerdinger E (2003), *Life cycle assessment of bio-based polymers and natural fibres*. In: Encyclopedia 'Biopolymers', Vol 10, Wiley-VCH, 409–452,

Patzek T.W. & C24 Freshman Seminar Students, *Ethanol from corn: Clean Renewable Fuel for the Future, or Drain on Our Resources and Pockets?*, 4 june 2003, unpublished, www.ce.berkeley.edu/Courses/E11/PatzekEthanolPaper.pdf

Preller, L., A. Hollander, D. Heederik & B. Brunekreef (1999). *Potentially allergenic airborne particles in the vicinity of a yeast and penecellin production plant.* JAPCA vol. 39 pp 1094 – 1097.

Rondinelli, Dennis A. & Michael A. Berry (2000), *Environmental Citizenship in Multinational Corporations*: Social Responsibility and Sustainable Development, European Management Journal, Vol. 18, No. 1, 2000, 70 – 84

Royal Belgian Academy Council of Applied Sciences (2004), *Industrial Biotechnology and Sustainable Chemistry*, Brussels, January 2004

Snoo, G.R. de, CML Leiden University – Wageningen University, Personal Communication, Leiden, 7-6-2004

Shapouri H., Duffield J.A. and Wang M. (2003), The energy balance of corn ethanol revisited, Transactions of the ASAE 46, 4, 959-968,

Shell Oil, Business Principles 2002 (2002), Shell, London, England

Snow, A.A., K.L. Uthu & T.M. Culley (2001), Fitness of Hybrids Between Weedy and Cultivated Radish: Implications. Ecological Applications, Vol. 11, No. 3, pp. 934-943.

Statline, Centraal Bureau voor de Statistiek (2004), www.statline.nl, milk production data 2004.

Steinhauser (2001), Environmental risks of chemical and genetically modified organisms: a comparison. Part I: Classification and characterization of risks posed by chemicals and GMOs. Envir Sci &Pollut Res 8(2) 120 – 126.

Steinhauser (2001), Environmental risks of chemical and genetically modified organisms: a comparison. Part II:Sustainability and Precaution in Risk assessment and Risk management. Envir Sci &Pollut Res 8(3) 222 – 226.
Syvanen, M. (1999), In search of horizontal gene transfer. Nature Biotechnology, 17(9): 833
Veleva, V., M. Hart, T. Greiner & C. Crumbley (2001), Indicators of sustainable production, Journal of Cleaner Production, Volume 9, Number 5, 2001, 447 – 452
Voet,E. v.d., L. v. Oers and I. Nikolic (2003), Dematerialisation: not just a matter of weight, Leiden University, Institute of Environmental Sciences (CML), CML report 160,
Wang, M., C. Saricks and D. Santini (1999), Effect of Fuel Ethnol Use on Fuel-Cylce Energy and Greenhouse Gas Emissions, Center for Transportation Research. ANL/ESD-38,
Wang, M., C. Saricks and M. Wu (2004), Fuel Ethanol Produced from Midwest U.S. Corn: Help or Hindrance to the Vision of Kyoto, Journal of the Air & Waste Management Association 49, 756-771,
Wilt, C., (1997), Product stewardship at Xerox corporation in G. Davis & C. Wilt (eds.), EPR: a new principle for product-oriented pollution prevention, University of Tennessee, 1997
Wolfenbarger, L.L. & P.R. Phifer (2000), The ecological risks and benefits of genetically engineered plants. Science Vol. 290: p.2088-2093
World Resources Institute (2003), Website WRI http://www.wri.org/ Washington DC, USA
Zemetra, R.S. (1998). Potential for gene transfer between wheat (Triticum aestivum) and jointed goatgrass (Aegilops cylindrica). Weed Science Vol. 46, No. 3, pp. 313 31

7 Literatuur

7.1 Biotechnologie algemeen

- Albrecht, Johan, *Biotechnologie en genetische manipulatie, tussen hype en hysterie*, Standaard Uitgeverij, Antwerpen, 2000.
- BACAS - Royal Belgian Academy Council of Applied Sciences, *How to create a Technology Platform for Industrial (White) Biotechnology*, 2004
- Bergius, Susanne, *Weisse Biotechnologie schont Ressources*, verband will de neuen Technologie über höhere EU-Förderung zum Durchbruch verhelfen, Handelsblatt, 10 Oktober 2003
- Ministerie van Economische Zaken, 2004, *Transitie naar een duurzame energiehuishouding*, website: http://www.ez.nl/content.jsp?objectid=17777, Den Haag, 2004
- Ministerie van VROM / LNV / O&W / VWS / EZ, Ministerie van Volksgezondheid Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer, Ministerie van Landbouw, Natuurbeheer en Visserij en Ministerie van Onderwijs, Cultuur & Wetenschappen, Ministerie van Volksgezondheid, Welzijn & Sport en Ministerie van Economische Zaken, *Integrale Nota Biotechnologie*, Den Haag., 2000.
- Ministerie van VROM, Ministerie van Volksgezondheid Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer, *Nationale Strategie voor Duurzame Ontwikkeling, Verkenning van het Rijksoverheidbeleid*, Den Haag, 2002.
- Minnesma, Marjan en Matthijs Hisschemöller, *Biomassa - een wenkend perspectief*, IVM, Amsterdam, 2003.
- Rhatenau, Greenpeace & WWF, *visies op biotechnologie*, Special biotechnologie Journal of Industrial Ecology, LCA-databank CML, TUD (Grevink), 2004.
- VIB België, *Biotechnologie en het debat anno 2002*, Brussel, 2002.
- Wetenschappelijke Raad voor het Regeringsbeleid (WRR), *Beslissen over biotechnologie*, rapporten aan de regering nr. 64, SDU Den Haag, 2003
- Zeng Z.J., M.C.M. van Loosdrecht, Z.G. Yuan & J. Keller, *Metabolic model for glycogen-accumulating organisms in anaerobic/aerobic activated sludge systems* Biotechnology and Bioengineering 81(1):92-105, 2003.

7.2 Internationale Vergelijking

- DOE/GO, *Plant/crop-based renewable resources 2020 - a vision to enhance U.S. economic security through renewable plant/crop-based resource use* -10097-385 January 1998
- EU, Commission Communication COM 38 "*Stimulating Technologies for Sustainable Development: An Environmental Technologies Action Plan for the European Union"*, EU, 2003
- EU, Lifesciences and biotechnology–A Strategy for Europe, 27 (pdf), EU, Brussels, 2002
- IPTS, *various sections of White biotech* in "Environment and Society": website http://www.jrc.es/ 2004
- OECD, *Biotechnology for clean industrial products and processe*, OECD (pdf), 1998.
- OECD, *Overzicht regels in VS, Canada, Japan, EU*. (www.epa.gov/opptintr/biotech/ria/) Genetically modified foods, 1999
- OECD, *The Application of Biotechnology to Industrial Sustainability*, OECD, Paris, 2001

- UN, *World Summit for Sustainable Development conclusions* http://www.johannesburgsummit.org USA, *Roadmap for Biomass Technologies in the United States*, December 2002.

7.3 Risico's GGOs

- Andersen J.T., T. Schäfer, P.L. JØrgenensen & S. MØller, *Using inactivated microbial biomass as fertilizer*: the fate of antibiotic resistance genes in the environment, Reseach in Microbiology 152, 9, 823-833, 2001
- Anonymus, *Future Fish*. Issues in the science and regulation of transgenic fish. Report for the Pew Initiative on Food and Biotechnology, Washington D.C. http://pewagbiotech.org/research/fish/fish.pdf ., 2003
- Bonekamp F. J. & J. Oosterom, *On the safety of Kluyveromyces lactis* – a review, Appl. Microbiol. Biotechnol., 41, 1-3, 1994
- CAMR (Centre for Applied Microbiology and Research & WS Atkins Environment), *Waste Stream Monitoring of Genetically Modified Micro-organisms*, Reserach report No. 16, Genetically Modified Organisms Research Report, DEFRA, 2001.
- COGEM, Website; *richtlijnen bij Regeling GGOs* http://www.cogem.net/risico/index.htm), 2004
- Committee for the Prevention of Disasters, *Guidelines for quantitative risk assessment*, "Purple Book", CPR 18-E. SDU Uitgevers, Den Haag, 999.
- Davison, J., *Genetic Exchange between Bacteria in the Environment*. Plasmid 42 pp 73 – 91, 1999
- DEFRA (Department for Environment, Food & Rural Affairs-UK), Risks and Baily, M.J., T.M. Timms-Wilson, A.K. Lilley & H.C.J. Godfray, *Consequences of Gene Transfer from Genetically Manipulated microorganisms in the Environment*, Reserach report No. 17 Genetically Modified Organisms Research Report, Oxford/Berkshire, 2001.
- Doblhoff-Dier, O., H. Bachmayer, A. Bennett, G. Brunius, M. Cantley, C. Collins, J-M Collard, P. Crooy, A. Elmqvist, C. Frontali-Botti, H.G. Gassen, R. Havenaar, H. Haymerle, D. Lamy, M.Lex, J.L. Mahler, L. Martinez, C. Mosgaard, L. Olsen, J. Pazlarova, F. Rudan, M. Sarvas, H. Stepankova, G. Tzotzos, K. Wagner & R. Werner Safe Biotechnology 10: *DNA content of biotechnological process waste*. Tibtech Vol 18, april 2000, pp 141-146, 2000.
- Forsythe, S.J., *The microbiological risk assessment of food*. Blackwell Science, 212 pp., 2002.
- Hall L, K. Topinka, J. Huffman, L. Davis & A. Good. *Pollen flow between herbicide-resistant Brassica napus is the cause of multiple-resistant B. napus volunteers*. Weed Science 48: 688-694, 2000.
- Heap, I., *International survey of herbicide-resistant weeds*. Internet publication, June 26, 2000. http://www.weedscience.com, 2000.
- Hedrick, P.W.,. *Invasion of transgenes from salmon or other genetically modified organisms into natural populations*. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences 58: 841–844, 2000.
- IUCN, *Website Invasive Species Specialist Group*, ISSG van de IUCN: http://www.issg.org/, 2004
- Jank, B., A. Berthold, S. Alber & O. Doblhoff-Dier, *Assessing the impacts of genetically modified microorganisms*. Int J LCA 4(5) 251 – 252, 1999
- Jones, S., *Almost like a whale, the Origin of Species updated*. Doubleday, Transworld Publishers Ltd., London UK, Milsons Point Autralia, Auckland New Zealand, Parktown South Africa, 1999

- Koivisto, R.A., K.M. Törmäkangas & V.S. Kauppinen, *Hazard identification and Risk Assessment procedure for genetically modified plants in the field* – GMHAZID. Environ Sci & Pollut Res 9 (2) 110 – 116., 2002
- Maryanski, J. H., Food and Drug *Administration policy for foods developed by biotechnology*. In: "Genetically Modified Foods: Safety Issues.", K.-H, Engel, G. R. Takeoka and R. Teranishi, Eds., ACS Symposium Series No. 605, pp.12-22. American Chemical Society, Washington, DC, 1995
- Muir, W.M. & R.D. Howard *Environmental Risk Assessment of Transgenic Fish With Implications for Other Diploid Organisms*. Transgenic Research 11:101-114, 2002.
- Mulongoy, K.J. (ed)., *Potential contributions of horizontal gene transfer to the transboundary movement of living modified organisms resulting from modern biotechnology. In Transboundary Movement of Living Modified Organisms Resulting from Modern Biotechnology*: Issues and Opportunities for Policy-Makers pp. 171-193,International Academy of the Environment, Switzerland, http://www.anth.org/ifgene/ho.htm , 2004.
- Nielsen, K.M., A.M. Bones, K. Smalla & J.D. van Elsa, *Horizontal gene transfer from transgenic plants to terrestrial bacteria – a rare event*? FEMS Microbiology Reviews vol. 22 pp 79 – 103, 1998.
- Nielsen, K.M., K. Smalla & J.D. van Elsas, *Natural Transformation of Acinetobacter sp. Strain BD413 with Cell Lysates of Acinetobacter sp., Pseudomonas fluorescens, and Burkholderia cepacia in Soil Microcosms.* Applied and Environmental Microbiology Vol. 66, No. 1, 206-212, 2000.
- Noordover, J.A.C., Hofmeester, J.J.M., van den Burg, J.P., de Leeuw, A., van Dijck, P.W.M., Luiten, R.G.M. & Groot G.S.P., *Containment in Industrial Biotechnology within Wastewater Treatment Plants*. J.Ind. Microbiol. Biotechnol. 28, 65-69., 2002.
- Steinhauser, *Environmental risks of chemical and genetically modified organisms: a comparison*. Part I: Classification and characterization of risks posed by chemicals and GMOs. Envir Sci &Pollut Res 8(2) 120 – 126, 2001.
- Steinhauser, *Environmental risks of chemical and genetically modified organisms: a comparison.* Part II:Sustainability and Precaution in Risk assessment and Risk management. Envir Sci &Pollut Res 8(3) 222 – 226, 2002.
- Syvanen, M., *In search of horizontal gene transfer*. Nature Biotechnology, 17(9): 833, 1999.
- Tappeser et al., *Transgenic Transgression of Species Integrity and Species Boundaries*, Ho, M.W. and Tappeser, B., 1997.
- Wolfenbarger, L.L. & P.R. Phifer, *The ecological risks and benefits of genetically engineered plants*. Science Vol. 290: p.2088-2093, 2000.
- WS Atkins Environment, *Review of the Methodologies for the Extraction, Detection and Identification of Microorganisms in the Environment*, Final Report, Epsom, Surrey, May 2000
- Zemetra, R.S., *Potential for gene transfer between wheat (Triticum aestivum) and jointed goatgrass (Aegilops cylindrica)*. Weed Science Vol. 46, No. 3, pp. 313 317, 1989.

7.4 Ecologische aspecten

7.4.1 Algemeen

- Chapagain, A.K. & A.Y. Hoekstra, *Virtual water trade: a quantification of virtual water flows between nations in relation to international trade of livestock and livestock products*, In: Hoekstra, A.Y. (Ed.), Virtual Water Trade: Proceedings of the International Expert Meeting on Virtual Water Trade, Research Report Series No. 12. IHE Delft, The Netherlands, 2003
- EC, *the European Union System for the Evaluation of Substances*. National Institute of Public Health and the Environment EUSES, RIVM, the Netherlands, available from the European Chemicals Bureau (EC/JRC), Ispra, Italy, 1996.
- Hoekstra, A. Y. *Perspectives on water: a model-based exploration of the future*, Utrecht, the Netherlands: International Books, 1998
- L.Preller, A.Hollander, D.Heederik & B.Brunekreef. Potentially allergenic airborne particles in the vivinity of a yeast and penicillin production plant. *JAPCA* 39, 1094-1097, 1989.
- Olsthoorn, Xander, Daniel Tyteca, Walter Wehrmeyer & Marcus Wagner (2001), *Environmental indicators for business: a review of literature and standardisation methods, Journal of Cleaner Production*, Volume 9, Number 5, 2001, 452 - 463
- Preller, L., A. Hollander, D. Heederik & B. Brunekreef, *Potentially allergenic airborne particles in the vicinity of a yeast and penecellin production* plant. JAPCA vol. 39 pp 1094 – 1097, 1999.

7.4.2 Life Cycle Assessment (LCA)

- Bouman, M., R. Heijungs, E. van der Voet, J.C.J.M. van den Bergh, G. Huppes (2000). *Material flows and economic models: an analytical comparison of SFA, LCA and partial eqiulibrium models*. Ecological Economics 32 (2000), p. 195-216, 2000.
- Bras-Klapwijk R.M, Heijungs R., van Mourik P, *Levenscyclusanalyse voor onderzoekers, ontwerpers en beleidmakers.* Vereniging voor Studie- en Studentenbelangen Delft, Delft University Press, 2003.
- Frankl, Paolo & Frieder Rubik, *Life cycle assessment in industry and business: Adoption patterns, applications and implications.* Springer –Verlag, Berlin Heidelberg, 2000.
- J.B. Guinée (ed.), *Handbook on Life Cycle Assessment. Operational Guide to the ISO Standards*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 2002
- Guinée, J.B., Huppes, G., Heijungs, R. *Developing an LCA guide for decision support* Environmental Management and Health 12 (3), 301-311, 2001
- Udo de Haes, H.A., R. Heijungs, G. Huppes, E. van der Voet, J.-P. Hettelingh. *Full Mode and Attribution Mode in Environmental Analysis*, Journal of Industrial Ecology, Volume 4, Number 1, p. 45-57, Winter 2000.
- Voet, E. van der, L. van Oers & I. Nikolic, *Dematerialisation: not just a matter of weight*. CML report 160, 49 pp + appendices, ISBN 90-5191-139-4, 2003.
- Wenzel, H., *Environmental Assessment of Products*, , M Hauschild, Anting L, Chapman & Hall, V. 1 & 2, London, 1997.

7.5 Economische aspecten

- Bachmann, Rolph, *Industrial Biotech – New value-creation oppportunities*, McKinsey, 2003
- Biopartner Network, *Growth against the Tide, The Netherlands Life Sciences Sector Report 2003* , Wageningen, 2003
- Boons, Frank, Leo Baas, JanJaap Bouma, Anja de Groene & Kees Le Blansch, *The Changing Nature Of Business; Institutionalisation of Green Organisational Routines in The Netherlands* 1986-1995, Utrecht, ISBN 90 5727 0366, 2000.
- Genomics and Science Based Business, *Holland Biotechnology*, Rotterdam, 2003
- GM *Well-to-Wheel Analysis of Energy Use and Greenhouse Gas Emissions of Advanced Fuel/Vehicle Systems*, A European Study, SEE www.lbst.de/gm-wtw/ , 2004.
- Grassi, G., *Bioethano, Industrial world perspectives*, Renewable Energy World 3, 2000
- Kruszewska, Iza & Beverley Thorpe, *Extended Producer Responsibility*, Greenpeace Briefing on Strategies to promote Clean Production, nr. 4, Greenpeace International, Amsterdam, October 1995
- McKinsey&Company, *Fine Chemicals Conference*, Capturing Value from the Biotech Revolution in fine chemicals, McKinsey, 2001
- NOVEM, *Biofuels in the Dutch market: a fact-finding study*, report 2, GAVE-03-12., (pdf: gave.novem.nl), november 2002.
- Odell, Peter R., *Why Carbon Fuels Will Dominate* The 21st Centurys Global Energy Economy, Multi Science Publishing Co. Ltd., Brentwood Essex, 2004.
- Olsthoorn, Xander, Daniel Tyteca, Walter Wehrmeyer & Marcus Wagner, *Environmental indicators for business: a review of literature and standardisation methods*, Journal of Cleaner Production, Volume 9, Number 5, 452 – 463, 2001.
- Pisano, Gary P., *R&D Performance, Collaborative Arrangements, and the Market-for-Know-How: A test of Lemmon' Hypothesis in Biotechnology* (Harvard Business School, mimeo, 1998.
- Riese, Jens, *Industrial Biotech – From potential to reality*, McKinsey, 2003
- Signals Magazine. *Biotechs Up-Close: A Financial Snapshot*, Feb.2000 Stock Report, February 29, 2000.
- US Senate Joint Economic Committee, *Putting a human face on Biotechnology*. A report on the Joint Economic Committee's Biotechnology Summit, Washington, 1999.
- Veleva, V., M. Hart, T. Greiner & C. Crambley, *Indicators of sustainable production, Journal of Cleaner Production*, Volume 9, Number 5, 447 – 452, 2001.
- Wilt, C., *Product stewardship at Xerox corporation*, in G. Davis & C. Wilt (eds.), EPR: a new principle for product-oriented pollution prevention, University of Tennessee, 1997

7.6 Sociale aspecten

- AccountAbility institute of social and ethical accountability, *AccountAbility 1000 (AA 1000) framework, standard, guidelines and professional qualification*, AccountAbility institute of social and ethical accountability, London, 2001
- Baas, Leo, *Cleaner Production and Industrial Ecosystems*, a Dutch Experience, Journal of Cleaner Production, Volume 6, Number 3 - 4, 189 – 197, 1998.
- Baas, Leo, *Developing an Industrial Ecosystem in Rotterdam, Learning by…What?* Journal of Industrial Ecology, Volume 4, Number 2, 4 – 6, 2000.

- Baas, Leo, *INES Mainport Rotterdam*: over bedrijfs- en systeemgrenzen? ESM, Rotterdam, 2003.
- Cunningham, Bryony, Nigel Battersby, Walter Wehrmeyer & Catriona Fothergill (2004), *A Sustainability Assessment of a Biolubricant*, Journal of Industrial Ecology, Volume 7, Number 3-4, 179 –192
- Dennis A. & M.A. Berry, *Environmental Citizenship in Multinational Corporations: Social Responsibility and Sustainable Development*, European Management Journal, Vol. 18, No. 1, 70 – 84, 2000.
- DJSI, *Dow Jones Sustainability Index 2004*, website, 24/04/04
- Global Reporting Initiative (GRI), *Sustainability Reporting Guidelines 2002*, UNEP, Amsterdam, 2002.
- Hart, M., *Guide to sustainable community indicators*, North Andover, MA, 1999.
- Kriström, B. & T. Lundgren Abatement investments and green goodwill Applied Economics, Vol. 35, Nr. 18 / December 15, Routledge, pp. 1915 – 1921, 2003.
- Novo Nordisk, *Environmental Report 1995*, Copenhagen, 1996
- Novo Nordisk, *Sustainability Report 2003*, Copenhagen, 2004.
- Schmidt, Anders & Pia Brunn Rasmussen, *LCA and the working environment* - Danish recommendations, in: Guinée (ed.) Danish – Dutch workshop of LCA methods, 16-17 september 1999.
- Shell Oil, *Business Principles 2002*, Shell, London, 2002
- Veleva, V., M. Hart, T. Greiner & C. Crumbley, *Indicators of sustainable production, Journal of Cleaner Production*, Volume 9, Number 5, 447 – 452, 2001.
- Wilt, C., *Product stewardship at Xerox corporation* in G. Davis & C. Wilt (eds.), EPR: a new principle for product-oriented pollution prevention, University of Tennessee, 1997
- World Resources Institute, *Website* WRI http://www.wri.org/ Washington DC, USA, 2003.

7.7 Case – biologische motorbrandstof

7.7.1 Algemeen

- ECO-FYS. *Implementation of biofuels in the Netherlands*: fact finding. Presentation GAVE-meeting 17-2-2004, 2004.
- Elsayed, M.A., R. Matthews & N.D. Mortimer, *Carbon and energy balances for a range of biofuels options*, Resources Research unit School of environment and development, Sheffield Hallam University, 2003.
- Faaij, A., I.Steetskamp, A.van Wijk, & W.Turkenburg *Exploration of the land potential for the production of biomass for energy in The Netherlands*, Biomass and Bioenergy 14, 439-456, 1998
- Frischknecht R. et al., *Overview and methodology*, Final report ecoinvent 2000 No. 1, Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Duebendorf, CH, 2004
- Frischknecht, R., P. Hofstetter & I. Knoepfel. *Okoinventare für Energiesysteme*, Office fédéral de l'énergie, Zürich, 1994
- GAVE, *Biofuels in the Dutch market: a fact-finding study*, Eco-fys, -NOVEM, report 2,GAVE-03-12, 2003
- GM, *Well-to-Wheel Analysis of Energy Use and Greenhouse Gas Emissions of Advanced Fuel/Vehicle Systems - A European Study*, 2002
  see www.lbst.de/gm-wtw/

- R.R.Tan & A.B. Calaba. *Life-Cyle Assesment of Conventional an Alternative Fuels for Road Vehicles*. lcacentre.org, 2004.
- Sheehan J, Camoreco V, Duffield J, Graboski M & Shapouri, *An Overview of Biodiesel and Petroleum Diesel Life Cycles*, H NREL/TP-580-24772, 1998.
- Sprincx D., & D. Ceuterick, Biodiesel and Fossil Diesel Fuel, Int. J. LCA **1** (3) 127-132, 1996.
- UK, Parlementair Rapport. *'Biofuels'*, House of Commons Environment, Food and Rural Affairs Committee – Biofuels Seventeenth Report of Session 2002–03, Volume I. (pdf), 2002.

7.7.2 bioethanol

- Abengoa, A. *Bioenergy, Market introduction of bioethanol*, Presentation at GAVE-meeting, in: C. Berg & F.O. Licht. 17-2-2004.
- Berg, C. & F.O. Licht, *World Ethanol Production 2003*. 2004
- Elam, N. *Alternative fuels; ethanol in Sweden –Investigation and evaluation for IEA Bioenergy*, Atrax Energi AB, 2000
- Fu, G.Z., A.W. Chan & D.E. Minns, *Life Cycle Assessment of Bio-Ethanol Derived from Cellulose*, International Journal Life Cylce Assessment 8, 137-141, 2003
- G. Zhi Fu, A. W. Chan &, D.E. Minns, *Life Cycle Assesment of Bio-ethanol derived from Cellulose*, Int J LCA 8 (3) 137-141, 2003.
- Kim, S. & B.E.Dale, *Allocation Procedure in Ethanol Production System from Corn Grain*, International Journal Life Cycle Assessment 7, 237-243, 2002
- M.Wang, C.Saricks & D.Santini. *Effect of Fuel Ethnol Use on Fuel-Cylce Energy and Greenhouse Gas Emissions*. ANL/ESD-38, Center for Transportion Research, 1999.
- M.Wang, C.Saricks & M.Wu. *Fuel Ethanol Produced from Midwest U.S.* Corn: Help or Hindrance to the Vision of Kyoto. Journal of the Air and Waste Management Association 49, 756-771, 2004.
- McAloon, A., F.Taylor, W.Yee, K.Ibsen & R.Wooley. *Determining the Cost of producing Ethanol from Corn Starch and Lignocellulosic Feedstocks*. NREL/TP-580-28893, Golden, Colorado, Nationol Renewable Energy Laboratory. 2000.
- Patzek T.W. & C24 *Freshman Seminar Students, Ethanol from corn: Clean Renewable Fuel for the Future, or Drain on Our Resources and Pockets?*, 4 june, unpublished. www.ce.berkeley.edu/Courses/E11/PatzekEthanolPaper.pdf, 2003
- Shapouri H., Duffield J.A. & Wang M. *The energy balance of corn ethanol revisited*, Transactions of the ASAE 46, 4, 959-968, 2003.
- TIME Project, (EU) *Technological Improvement for Ethanol Production from Lignocellulose*, http://www.vtt.fi/virtual/timeproject/
- Wang, M., C. Saricks & M. Wu, *Fuel Ethanol Produced from Midwest U.S. Corn*: Help or Hindrance to the Vision of Kyoto, Journal of the Air and Waste Management Association 49, 756-771, 2004.

7.8 Case – Bioplastics

- Akiyama, M.,T.Tsuge & Y.Doi. *Environmental life cyle comparison ogf polyhydroxyalkanoates produces from renewable carbon resourcesbyt bacterial fermentation.* Polymer Degradation and Stability 80, 183-194, 2003.
- Aldor S.I & Keasling J.D., *Process design for microbial plastic factories: metabolic engineering of polyhydroxyalkanoates*, Current Opinion in Biotechnology, Volume 14, Issue 5, Pages 475-483, 2003.
- Devdatt Kurdikar, Laurence Fournet, Steven X Slater, Mark Paster, Kenneth J Gruys, Tillman U Gerngross and Remi Coulon, *Greenhouse Gas Profile of a Plastic Material Derived from a Genetically Modified Plant*, Journal of Industrial Ecology, Vol4, Issue 3, 107-122, 2001.
- Gerngross T.U.& S.C.Slater. *How Green are Green Plastics.* Scientific American August 2000, 25-29, 2004.
- Gerngross TU, *Can Biotechnology Move Us Toward a Sustainable Society?* Nature Biotechnology 17, 541–544, 1999.
- Kurdikar D., Fournet L., Slater S., Paster M., Gruys K.J., Gerngross T.U. & Coulon R., *Greenhouse gas profile of a plastic material derived from a genetically modified plant,* Journal of Industrial Ecology 4, pp. 107–122, 2000.
- Lee S.Y.,. *Plastic Bacteria? Progress and prospects for polyhydroxyalkanoate production in bacteria*, TIBTECH 14, 431-438, 1996.
- Loosdrecht M.C.M. van & J.J. Heijnen, *Modeling of activated sludge processes with structured biomass.* Water Science & Technology 45 (6):13-23, 2002.
- Loosdrecht, M.C.M van & L. Tijhuis, *Biofilm structure, growth and dynamics*, 1995. Pergamon press Inc. Tarrytown, NY, USA, 1995.
- Loosdrecht, M.C.M. van, M.A. Pot & J.J. Heijnen, *Importance of microbial storage polymers in bioprocesses.* Water Science and Technology 35:41-47, 1997.
- Meesters K.P.H., *Production of poly-3-hydroxyalkanoates from waste streams*, Delft University of Technology, 1998
- Mosquera Corral A., A. Montras, J.J. Heijnen & M.C.M. van Loosdrecht, *Degradation of polymers in a biofilm airlift suspension reactor*. Water Research 37(3):485-492, 2003.
- Ottaviani A, *Life Cycle Assessment of different biomass uses: environmental benefits and feasibility*. Life Cycle Systems, Swiss Federal Institute of Technology Lausanne, 2001.
- Patel M., Bastioli C., Marini L., Wuerdinger E, *Life cycle assessment of bio-based polymers and natural fibres.* In: Encyclopedia 'Biopolymers', Vol 10, Wiley-VCH, 409–452, 2003.

7.9 Case - Chymosine

- Dijck, P.W.M van, *Chymosine and Phytase. Made by genetic engineering* (No. 10) Journal of Biotechnology, 67, 11-80, 1999.

BIJLAGEN

Bijlage A Begeleidingscommissie IBiD

Boonstra, Dhr. Ir. H.J.	Ministerie van VROM, DG-Milieu (SAS/SNB)	Den Haag
Bravo-Angel, Mw. Dr. M. A. Ana	Genencor International B.V. , Corporate Communications & Public Affairs	Leiden
Groeneveld, Dhr. Ir. H.A. C.	Ministerie van VROM, DG-Milieu (SB/S)	Den Haag
Dijck, Dhr. Dr. P.W.M. van	DSM Food Specialties	Delft
Kuenen, Dhr. Prof. dr. ir. J.G.	Technische Universiteit Delft	Delft
Lelyveld, Dhr. Dr. Ph.H. van	DSM Life Science Products Public Affairs	Delft
Nossin, Dhr. Dr.ir. P.M.M.	DSM Corporate Technology	Geleen
Ver Loren Van Themaat, Dhr. Ir. P.	Ministerie van Economische Zaken, Directie Markt & Innovatie, Directoraat-Generaal voor Innovatie	Den Haag
Scheres, Dhr. Dr. H.	Genencor International B.V. , Corporate Communications & Public Affairs	Leiden
Vriend, Dhr. Ir. H.C. de	Stichting Consument & Biotechnologie (S&B)	Den Haag
Valkenhoef, Mw. Drs. M.J.M.F.	Ministerie van Economische Zaken, Directie Markt & Innovatie, Directoraat-Generaal voor Innovatie	Den Haag
Seventer, Dhr. Ir. E. van	Wageningen UR, Agrotechnology & Food Innovations Biobased Products	Wageningen

Bijlage B Verslag van Hoofdzaken

Expertmeeting en Workshop Witte Biotechnologie

Den Haag, 3 november 2003

in het kader van een onderzoek naar de duurzaamheidspotentie van industrieel biotechnologische toepassingen

Witte Biotechnologie Duurzaam Getoetst *(WiBiD)*

ESM (Erasmus Universiteit Rotterdam),
CML (Universiteit Leiden)
Vakgroep Biotechnologie (Technische Universiteit Delft)

De bijeenkomst bij VNO/NCW bestond uit twee onderdelen:

- een expertmeeting onder leiding van Prof Jacqueline Cramer waarbij een 15-tal specialisten op het terrein van het beleid, de wetenschap en de industrie met elkaar van gedachten wisselden naar aanleiding van een onderzoek van Europabio (ingeleid door dr. Wolfgang Jenseit van het Oeko-institut).
- een workshop onder leiding van Prof. Jan Terlouw waarbij een paneldiscussie werd gevoerd naar aanleiding van presentaties van drs. F. Sybesma (DSM, vz. Europabio) en ir. J. van de Vlist (VROM). Uitgenodigd was een groot aantal stakeholders en vertegenwoordigers van de pers.

In het algemeen was het een nuttig en functioneel startpunt voor het onderzoek naar de duurzaamheidspotentie van witte biotechnologie. In het volgende wordt een aantal punten naar voren gebracht die voor het onderzoek van belang zijn.

Biotechnologie is niet nieuw, het bestaat al lange tijd en wordt inmiddels op grote schaal toegepast. Gemist wordt nog een heldere definitie van “witte biotechnologie” (WiBi) ten opzichte van rode (medische) en groene (agrarische) biotechnologie (of misschien ‘blauwe’ biotechnologie, een verwijzing naar biologische zuivering op waterbasis, JvA). Belangrijk is vooral dat het hier gaat om industriële processen die noodzakelijk zijn voor de productie. Daardoor is het in beginsel eenvoudiger de processen en organismen te beheersen. Zo zou een criterium gelegen zijn in het afgesloten zijn (“contained”) van een productieproces, maar enige uitwisseling met de buitenwereld is in zijn algemeenheid bij WiBi niet uit te sluiten.

Witte biotechnologie kan niet los worden gezien van groene biotechnologie. Hiermee is ook het vraagstuk rond GGO's verbonden. De onzekerheid van GGO-effecten en het ontbreken van een geaccepteerde risico-assessment, een afwegingsmechanisme voor de risico's, zijn een kernthema, waarnaar onder meer Van der Vlist in zijn presentatie herhaaldelijk verwees.

Generaliseren is niet goed mogelijk; het is beter een case-gerichte benadering te kiezen, waarbij de cases worden geselecteerd op de aanwezigheid van criteria waarop de discussie rond biotechnologie zich momenteel richt.

Het is belangrijk het alternatief bij de afweging te betrekken; de meeste biotechnologische toepassingen zijn een alternatief voor chemische productieprocessen met hun eigen gevolgen voor duurzaamheid.

Tijd (KT, LT) en schaal (bedrijf, NL, EU, wereld) spelen een belangrijke rol bij het beoordelen van cases, met behulp van scenario's kan het onzekerheidsaspect worden meegenomen.

Naast de duurzaamheidsdimensies is de publieke perceptie ervan uiterst belangrijk; communicatie kan hier deels in voorzien.

Ook de marktpositie speelt mee; gaat het om een basisbehoefte, een niche in de markt of in een behoefte waarin zonder Biotechnologie niet kan worden voorzien?

Voor wat betreft de voorbeelden van Europabio dient bij McKinsey de achtergrond van de economische cijfers te worden achterhaald. Ook dienen de economische aspecten te worden voorgelegd aan de stakeholders. Daarbij is de hele keten van belang.

Net als dat bij de sociale en milieuaspecten het geval is kan een brede benadering, zoals gehanteerd in het Global Reporting Initiative (GRI) het geval is, uitkomst bieden.

Als stakeholders worden genoemd:

- overheid (lokaal, nationaal, internationaal)
- WIBI industrie
- toepassende industrie (in de waardeketen)
- milieu en natuurgroepen (WWF)
- consumentenorganisaties
- boerenorganisaties (LTO)
- wetenschappelijke instellingen
- financiële sector
- vakbonden

Bijlage C Impact categories and characterisation methods

Depletion of abiotic resources

Problem definition

The decrease of abiotic resources, the “dead” material resources such as iron ore, fossil fuels etc. that occur as inflows in LCA.

Indicator

The method based on the current reserves and the rate of deaccumulation of these reserves developed by Guinée (1995).

Climate change

Problem definition

The effect of emissions as a result of human activities on the radiative forcing (= heat radiation absorption) of the atmosphere. This, in turn, can result in adverse effects on ecosystem health, human health and material welfare. Most of these emissions enhance the radiative forcing, resulting in a rise in the earth's temperature. This is popularly referred to as the “Greenhouse effect”.

Indicator

The Global Warming Potentials (GWPs) of the IPCC. The GWP of a substance is the ratio between the contribution to the heat radiation absorption resulting from the instantaneous release of 1 kg of a greenhouse gas and an equal emission of carbon dioxide (CO_2) integrated over time (Houghton et al., 1994 & 1995).

Stratospheric ozone depletion

Problem definition

The problem of the breakdown of stratospheric ozone as a result of human emissions. Because of the thinning of the ozone layer, a larger fraction of the sun’s UV-B radiation reaches the earth's surface. This can have harmful effects on human health, animal heath, terrestrial and aquatic ecosystems, biochemical cycles, as well as on materials.

Indicator

The Ozone Depletion Potentials of the WMO. The ODP is defined as the ratio between ozone breakdown in a state of equilibrium due to annual emissions (flux in $kg.yr^{-1}$) of a quantity of a substance released into the atmosphere and the breakdown of ozone in a state of equilibrium due to an equal quantity of CFC-11 (WMO, 1991, 1995, 1998).

Human Toxicity

Problem definition

This impact category contains the effects of toxic substances in the environment on humans.

Indicator

The characterisation factors from Huijbregts (1999a) based on modelling the fate of toxic substances, along with exposure and risk for humans with the fate model USES-LCA.

Ecotoxicity

Problem definition

Eco-toxicological impacts are the effects of toxic substances on aquatic, terrestrial and sediment ecosystems

Indicator

The characterisation factors from Huijbregts (1999a) based on modelling the fate of toxic substances, along with risk for ecosystems with the fate model USES-LCA.

Photo-oxidant formation

Problem definition

Photo-oxidant formation is the formation of reactive substances (mainly ozone), which are injurious to human health and ecosystems, and which may damage crops.

Indicator

The Photochemical Ozone Creation Potentials (POCPs). A POCP of a VOC is the ratio between the change in ozone concentration due to a change in the emission of that VOC and the change in ozone concentration due to a change in the emission of ethylene (Derwent et al., 1998 and Jenkin & Hayman, 1999).

Acidification

Problem definition

Acidifying substances cause a large number of diverse impacts on soil, groundwater, surface water, organisms, ecosystems and materials (buildings). Examples are fish dying in Scandinavian lakes, forest decline and the crumbling of building materials.

Indicator

The average European factors from Huijbregts (1999b). This method accounts for fate and regional sensitivity from ecosystems.

.

Eutrophication

Problem definition

Eutrophication includes all impacts due to a too high level of macro-nutrients in the environment. Nitrogen (N) and phosphorus (P) are the most important eutrophicating elements. This enrichment may cause an undesirable shift in the composition of a species and an increased production of biomass within aquatic and terrestrial ecosystems. In addition, high nutrient concentrations can also make surface waters unacceptable for drinking water supply. An increased production of biomass in aquatic ecosystems may lead to low oxygen concentrations because the decomposition of this biomass needs oxygen (measured as BOD). This is also placed in the same category

Indicator

The factors from Heijungs et al. (1992) based on the contribution of N and P to the average composition of aquatic organisms: $C_{106}H_{263}O_{110}N_{16}P$, which is assumed to be representative of the average composition of biomass.

Bijlage D Vergunningverlening en advisering

Het ministerie van VROM is verantwoordelijk voor de regelgeving om mensen en milieu te beschermen bij activiteiten met genetisch gemodificeerde organismen (GGO's), aldus de website (VROM, 2004). Andere departementen die actief zijn op het gebied van biotechnologie: het ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit (LNV), het ministerie van Volksgezondheid, Welzijn en Sport (VWS), het ministerie van Economische Zaken (EZ) en het ministerie van Onderwijs, Cultuur en Wetenschappen.

Gekozen is voor het stimuleren van onderzoek en ontwikkeling van biotechnologie ‘op een verantwoorde manier’. Verantwoord betekent dat randvoorwaarden van toepassing zijn. Deze zijn:

- waarborgen van veiligheid (hierbij speelt de toepassing van het voorzorgsbeginsel een belangrijke rol);
- transparantie van besluitvorming over het wel of niet toestaan van biotechnologische mogelijkheden;
- keuzevrijheid voor de burger (de burger moet kunnen kiezen of hij genetisch gemodificeerde producten gebruikt of niet);
- voortdurende ethische afwegingen (afwegen of de mogelijkheden van de biotechnologie ethisch aanvaardbaar zijn).

De regelgeving wordt ontwikkeld door de directie Stoffen, Afvalstoffen, Straling (SAS) van het directoraat-generaal Milieubeheer. Het Bureau GGO (http://www.rivm.nl/csr/bggo_nl.html) ondersteunt SAS bij de de vergunningverlening.
Vergunningen moeten worden aangevraagd in het kader van het Besluit genetisch gemodificeerde organismen. Een vergunning moet worden aangevraagd voor de vervaardiging van en activiteiten met genetisch gemodificeerde organismen . Dit zijn organismen waarvan de genetische samenstelling is veranderd op een wijze die van nature door voortplanting en/of natuurlijke recombinatie niet plaatsvindt. Organismen die worden vervaardigd met behulp van recombinant DNA technieken zullen dus in principe een GGO zijn (er zijn uitzonderingen).

Afhankelijk van de activiteiten met de GGO’s worden vergunningaanvragen worden ingedeeld in drie verschillende categorieën. Voor elke categorie geldt een eigen vergunningsprocedure.

1. Ingeperkt gebruik

Hieronder wordt verstaan de genetische modificatie van organismen en handelingen met genetisch gemodificeerde organismen in een geklassificeerde afgesloten ruimte of installatie, zoals laboratoria, kassen, dierverblijven en fermentoren. Niet alle GGO's zijn vergunningplichtig. De beoordeling van deze vergunningaanvragen is gericht op het vaststellen van het inperkingsniveau en de eventuele aanvullende voorschriften waaronder activiteiten mogen plaatsvinden. Hierbij wordt met name gelet op de eigenschappen van de gastheer, vector en donorsequenties. <Richtlijn 98218 en 8188 over ingeperkt gebruik is hier van belang, ook Richtlijn 9881 speelt een rol>. Het is met name deze categorie waaronder de WiBi-toepassingen een plaats hebben.

2. Introductie in het milieu; veldproeven en gentherapie

De risicobeoordeling van deze vergunningaanvragen is, vanwege het ontbreken van fysische inperking bij deze toepassing, meer gedetailleerd dan bij ingeperkt gebruik aanvragen. Het gaat hier om toepassingen die niet onder WiBi vallen.

3. Introductie in het milieu; markttoelating

Voor de toelating van genetisch gemodificeerde producten binnen de Europese Unie moet een procedure worden doorlopen waarbij alle lidstaten van de Europese Unie worden geraadpleegd. Dit geldt ook voor genetisch gemodificeerde producten waarvan het gebruik buiten de Europese Unie al is toegestaan

Een overzicht van vergunningaanvragen, wordt bijgehouden in de GGO vergunningendatabase (op de website van het Ministerie van VROM). Het is mogelijk de teksten van gepubliceerde kennisgevingen en (ontwerp)beschikkingen te downloaden.

De VROM-Inspectie handhaaft de richtlijnen. De VROM Inspectie Noord-West oefent de handhaving uit. Daarnaast kan de minister van VROM een beroep doen op diverse andere (overheids)instituten zoals het Rijksinstituut voor de Volksgezondheid en Milieu (RIVM, http://www.rivm.nl). Bedrijven die op het gebied van biotechnologie actief zijn moeten een vergunning aanvragen bij het ministerie van VROM. De minister beslist in overeenstemming met andere betrokken departementen.

De minister van VROM kan technisch wetenschappelijk advies vragen aan de Commissie Genetische Modificatie (Cogem, http://www.Cogem.net). Deze commissie adviseert op diens verzoek of uit eigen beweging over de indeling in risicogroepen van het vervaardigen van en verrichten van handelingen met GGO's. De COGEM adviseert bovendien over de risico's voor mens en milieu van toepassingen van GGO's, en over de veiligheidsmaatregelen die daarbij genomen moeten worden ter bescherming van mens en milieu.

De taak van de Commissie Genetische Modificatie (COGEM), en de samenstelling van de commissie worden beschreven in de Wet Milieubeheer, §2.3, artikel 2.27, aldus de website (COGEM, 2004). De COGEM bestaat uit maximaal 21 deskundigen die door de minister op grond van hun expertise zijn aangesteld. Deze deskundigen kunnen aangevuld worden met buitenleden, welke door de voorzitter van de Commissie worden aangesteld. De taak van de COGEM worden ingedeeld in drie onderdelen waarbij zoals in de Integrale Nota Biotechnologie (INB) wordt aangegeven dat het voorzorgsbeginsel uitgangspunt van de beoordeling blijft. Dit betekent dat voor alle toepassingen van genetische modificatie een risicoanalyse wordt uitgevoerd, waarin de potentiële risico's worden geïdentificeerd, en waarin wordt bepaald welke risicobeheersingsmaatregelen genomen moeten worden.

1. Adviseren over de indeling in risicogroepen van de vervaardiging van en handelingen met GGO's, de veiligheidsmaatregelen ter bescherming van mens en milieu en de eisen die aan de deskundigheid van medewerkers ter zake gesteld moeten worden.
2. Adviseren over
    a. vergunningverlening voor inrichtingen voor de vervaardiging van en handelingen met GGO's;
    b. Adviseren over kennisgevingen en vergunningaanvragen voor activiteiten met GGO's;
    c. Adviseren over het toezicht op activiteiten met GGO's.
3. Signaleren als er aan activiteiten met GGO's maatschappelijke of ethische aspecten verbonden zijn; het gaat hierbij om alle handelingen met GGO's, en met nadruk ook om marktintroductie.

Het generieke proces van risicobeoordeling bestaat uit de volgende stappen:
1. Identificatie en karakterisering van mogelijke gevaren
Hierbij gaat het om het identificeren van de eigenschappen van het genetisch gemodificeerde organisme, die mogelijk een negatief effect kunnen hebben op het milieu en op de gezondheid van mens en dier. De inschatting wordt gemaakt op basis van eigenschappen van de gastheer en het gemodificeerde DNA. Er wordt getracht een kwalitatieve en kwantitatieve evaluatie op te stellen over de aard van het negatieve effect.
2. Evaluatie van de omvang van het effect
Hierbij worden schattingen gemaakt over de blootstelling van mens, dier en milieu. Enkele factoren die hierbij beschouwd worden betreffen: i) overleving in het milieu, ii) innemen van een niche iii) interacties met andere organismen en iv) frequentie van overdracht van genetisch materiaal. Deze factoren zijn aspecten die een rol kunnen spelen bij de beoordeling van de blootstelling of mate van verspreiding van een genetisch gemodificeerd organisme (GGO) in het milieu. Vervolgens kunnen dergelijke factoren de omvang van een mogelijk effect beïnvloeden.
3. Evaluatie van het risico
Hierbij wordt een kwalitatieve en zo mogelijk een kwantitatieve schatting gemaakt van de kans dat negatieve effecten optreden in een (deel)populatie/ecosysteem.
4. Risicomanagement
Risicomanagement is het proces waarin op basis van de uitkomsten van de risicobeoordeling, gekozen wordt voor de gewenste beheersmaatregelen. In haar advisering tracht de COGEM aspecten die betrekking hebben op risicomanagement waar nodig in haar advies te integreren.

De Minister van Volkshuisvesting Ruimtelijke Ordening en Milieu (VROM) beoordeelt de risico's verbonden aan werkzaamheden met genetisch gemodificeerde organismen, mede op basis van de adviezen van de COGEM. De inschalingsartikelen in de Regeling GGO bevatten richtlijnen voor beheersmaatregelen. Voor aanvragen ter introductie in het milieu zijn de beheersmaatregelen vastgelegd in adviezen die per geval worden afgegeven. Al deze beheersmaatregelen zijn in de loop der jaren aangepast op basis van nieuwe wetenschappelijke inzichten. De methode voor risicobeoordeling is dan ook nog steeds in ontwikkeling.
Bedrijven dienen bij de inrichting van hun processen rekening met de eventuele risico’s van GGO’s. In de eerste plaats worden veiligheidsmaatregelen genomen om ontsnappen te voorkomen. Na afloop worden de organismen afgedood via chemische of hittebehandeling. Ook monitoren bedrijven in de buurt van hun productielokaties. Rondom DSM in Delft zijn metingen gedaan met betrekking tot het voorkomen van gisten en schimmels. Het bleek dat voor schimmels geen verhoging van de achtergrondconcentratie kon worden aangetoond, maar voor gisten wel (Preller et al., 1989). De verklaring ligt in het feit dat de gebruikte broodgisten ook na het productieproces hun werk nog dienen voort te zetten. Om de levensvatbaarheid van organismen te minimaliseren worden veelal kreupele, dat wil zeggen niet ‘in het wild’ levensvatbare organismen gekweekt. Dood organisch materiaal wordt wel gebruikt als meststof, waarbij door de biomassa te composteren het risico op opname van DNA door andere micro-organismen kan worden teruggebracht. Het gebruik van pathogenen is aan strikte regelgeving onderhevig. Bij niet-pathogenen gaat het niet zozeer om de eigenschap zelf, maar vooral om onverwachte neveneffecten van de genetische modificatie: aan- of uitschakelen van andere genen, of synergie. Dit speelt vooral een rol bij schimmels i.v.m. vorming van mycotoxines. Daar wordt op gecheckt. Bij bekende organismen is het mogelijk de modificatie zodanig gericht uit te voeren zodat dergelijke effecten niet hoeven voor te komen.

Hieruit kan geconcludeerd worden dat, hoewel geen formeel kwantitatief risico-analysemodel wordt gehanteerd, bij het treffen van veiligheidsvoorzieningen in COGEM-verband de aandacht op de juiste variabelen is gericht.

Bijlage E Onderzoeksinstituten

De combinatie van onderzoekers is afkomstig uit drie instituten die door hun aanvullende competenties gezamenlijk zijn toegerust. Kennis en ervaring met beleidsprogramma's op het gebied van milieukunde, transitietheorie en duurzaamheid voor zowel overheden als industriële bedrijven worden gekoppeld aan concrete expertise ten aanzien van industriële toepassingen van biotechnologie, LCA-analyses en sociaal-economische veranderingsprocessen.

Het Erasmus Centre for Sustainability and Management (ESM) van de Erasmus Universiteit Rotterdam, het Centrum voor Milieuwetenschappen (CML) van de Universiteit Leiden en de Environmental Biotechnology Group (EBT), onderdeel van de Vakgroep Biotechnologie van de Technische Universiteit Delft vormen gezamenlijk een combinatie van natuurwetenschappelijke, sociaalwetenschappelijke en technologische kennis die alle facetten van de onderzoeksopdracht dekt. Ook in het onderwijs werken deze partners samen, te weten bij de ontwikkeling van de interuniversitaire Masteropleiding Industrial Ecology (www.leidenuniv.nl/cml/).

Het ESM zet haar expertise op het gebied van sociale processen rond duurzaam ondernemen in en verricht tevens de coördinatie van het onderzoek. Als onderzoekscentrum voor beleidsvragen wordt voortgeborduurd op een ruime ervaring aan overheidsadvisering inzake duurzaamheidsaspecten. In het bijzonder maatschappelijke transities, sociale veranderingsprocessen die als drager gelden voor ontwikkelingen richting Maatschappelijk Ondernemen en Industriële Ecologie, zijn belangrijke onderzoeksterreinen. Het ESM staat onder directe leiding van Prof.dr. J.M. Cramer en maakt deel uit van de Faculteit der Sociale Wetenschappen met als decaan Prof.dr. W.H. Hafkamp.

Het CML maakt deel uit van de Universiteit Leiden en heeft daar ruime ervaring met beleidsadvisering over de duurzaamheid van diverse maatschappelijke activiteiten, met name op het gebied van levenscyclusanalyses (LCA). Het CML heeft als een van de grondleggers van deze methodiek wereldwijd bekendheid verworven. LCA toepassing op biotechnologie is een relatief nieuw terrein, waarbinnen de laatste tijd ervaring is opgedaan. Dit is binnen het CML onderzoeksprogramma aan het uitgroeien tot een belangrijk aandachtspunt, o.a. door deelname aan het onderzoeksprogramma "Genomics".

De EBT van de Technische Universiteit Delft richtte zich binnen het project in het bijzonder op de technologische dimensie van het onderzoek. Door de jarenlange ervaring binnen de Vakgroep Biotechnologie is een expertise opgebouwd waarbij de laatste ontwikkelingen op het vakgebied biotechnologie zijn meegenomen. De EBT heeft ruime ervaring met onderzoek naar milieu- en duurzaamheidsaspecten van in het bijzonder de industriële vormen van biotechnologie. De leiding van de Environmental Biotechnology group is in handen van Prof.dr M.C.M. van Loosdrecht.

Het multidisciplinaire team dat het onderzoek heeft verricht betsaat uit de volgende personen.

- *mr.dr. J.A. van Ast (ESM; projectleider)*
Jacko van Ast (1961) rondde in 1986 zijn Rotterdamse rechtenstudie af (bedrijfs-, privaat en milieurecht. Sindsdien verricht hij onderzoek op diverse terreinen als gedoogbeleid bij milieuvergunningen, beleidsevaluatie van nationaal en internationaal milieubeleid en verschillende aspecten van nationaal en vooral ook internationaal watermanagement. Hij promoveerde op een proefschrift over de verandering naar duurzaamheid en interactie in het waterbeheer. Momenteel is hij onderwijscoördinator bij de Capaciteits-groep Milieukunde aan de Erasmus Universiteit Rotterdam en doceert keuzevakken als Inleiding Duurzaamheidsvraagstukken en Integraal Waterbeheer.

- *drs L.W. Baas (ESM)*
Leo Baas (1946) heeft een achtergrond in bedrijfssociologie en is sinds 1986 werkzaam bij het Erasmus centre for Sustainability and Management (ESM) aan de Erasmus Universiteit. Hij is sinds 1988 betrokken

in het onderzoeksdomein rond de ontwikkeling en implementatie van nieuwe concepten als ‘Schonere Productie, Industriële Ecologie en Duurzaamheid’, zowel in een nationale als een internationale context. Hij coördineert het ‘International Off-Campus Ph.D. Programme on Cleaner Production, Cleaner Products, Industrial Ecology and Sustainability’ van de Erasmus Universiteit.
Hij is lid van het ‘Strategisch Platform van het R3 Duurzaamheid en Industriële Ecologie in het Rotterdamse Haven en Industrie Complex’ programma van ROM-Rijnmond.

- prof.dr. J.J. Bouma (ESM)
Jan Jaap Bouma is als universitair hoofddocent verbonden aan het ESM en als gastprofessor aan de vakgroep algemene economie van de Universiteit van Gent. Hij is bedrijfseconoom en promoveerde in 1995 aan de Erasmus Universiteit op milieuzorg bij de koninklijke luchtmacht en de industrie. Bij het ESM coördineert hij het onderzoeksdomein sociaal-economische aspecten van watermanagement en is hij tevens projectleider van een transuniversitair onderzoek naar de economische meerwaarde van maatschappelijk verantwoord ondernemen. In de Gentse universiteit verzorgt hij onderwijs en onderzoek op het terrein van milieueconomie en –management.
In zijn onderzoek gaat zijn aandacht in het bijzonder uit naar milieugerichte management accounting en maatschappelijke kosten en baten analyses. Hij publiceert met name op het snijvlak van economische wetenschappen en milieumanagement

- Prof.dr.ir. M.C.M. van Loosdrecht (EBT)
Mark van Loosdrecht (1959) is als groepsleider verbonden aan de Environmental Biotechnology groep van de Vakgroep Biotechnologie aan de Technische Universiteit Delft. Hij heeft zich na het schrijven van zijn dissertatie over microbiologie aan de Universiteit van Wageningen specifiek toegelegd op de milieu-aspecten van biotechnologie. Hij begeleidt een groot aantal junior-onderzoekers in hun promotietraject op diverse onderwerpen zoals afvalwaterbehandeling, biopolymeerformatie, biofilprocessen en microbiologische populatiedynamica. Tevens verzorgt hij een aantal onderwijsmodules aan de TUD op zijn vakgebied en participeert hij in het duurzaamheidsonderwijs aan de TUD. Hij is in binnen- en buitenland een veelgevraagd deskundige met betrekking tot de technische kant van duurzaamheidsaspecten die biotechnologische innovaties met zich meebrengen.

- ir. G.J. Stienstra (CML)
Gerard Stienstra studeerde in 2003 af in de Chemische Technologie, aan de Technische Universiteit Delft. Sinds 2004 werkt hij aan het Centrum voor Milieuwetenschappen van de Universiteit Leiden. Zijn interesse in duurzaamheidsvraagstukken, biotechnologie en de toepassing van complex systems theory resulteerde in betrokkenheid in diverse projecten met een gecombineerde toepassing van LCA en SFA, bijvoorbeeld op het gebied van dematerialisatie en geïntegreerde beoordeling van schone technologieën.

- dr. E. van der Voet (CML)
Ester van der Voet verkreeg haar MSc biologie in 1982 op de Rijks Universiteit Leiden. Sinds 1984 werkt zij als onderzoeker bij het Centrum voor Milieuwetenschappen van de Universiteit Leiden (CML). Haar onderzoek richt zich vooral op Industriële Ecologie; onderwerpen waren onder meer intensieve veehouderij en ammoniak, risico-analyse, levenscycluseanalyse, biodiversiteitsbeleid, Natural Resource Accounting, indicator-ontwikkeling, Material Flow Accounting, en stofstroomanalyse. In dit laatste veld deed zij ook haar promotieonderzoek in 1996. Momenteel werkt zij als universitair docent aan de ontwikkeling van een Master Study in Industriële Ecologie. Als senior onderzoeker kan zij worden beschouwd als prominent expert op het gebied van Substance and Material Flow Analysis.