PLANT RESEARCH INTERNATIONAL
WAGENINGEN UR

Onderzoeksvisie Plantenveredeling voor Biobased Productieketens

Plant breeding explores the biodiversity to uncover the building blocks for shaping a biobased society'

Dr. A.J. (Andries) Koops
Dr. L. (Luisa) Trindade






Rapport 352

PLANT RESEARCH INTERNATIONAL
WAGENINGEN UR

Onderzoeksvisie Plantenveredeling voor Biobased Productieketens

Plant breeding explores the biodiversity to uncover the building blocks for shaping a biobased society'

Dr. A.J. (Andries) Koops
Dr. L. (Luisa) Trindade

Plant Sciences Group
onderdeel van WageningenUR
November 2010

Rapport 352

© 2010 Wageningen, Plant Sciences Group onderdeel van WageningenUR
Alle intellectuele eigendomsrechten en auteursrechten op de inhoud van dit document behoren uitsluitend toe aan de Stichting Dienst Landbouwkundig Onderzoek (DLO) en Wageningen Universiteit. Elke openbaarmaking, reproductie, verspreiding en/of ongeoorloofd gebruik van de informatie beschreven in dit document is niet toegestaan zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van DLO.
Voor nadere informatie gelieve contact op te nemen met: DLO in het bijzonder onderzoeksinstituut Plant Research International, Business Unit Bioscience of Wageningen UR – Plant Breeding

DLO is niet aansprakelijk voor eventuele schadelijke gevolgen die kunnen ontstaan bij gebruik van gegevens uit deze uitgave.

Exemplaren van dit rapport kunnen bij de auteurs worden besteld. Bij toezending wordt een factuur toegevoegd; de kosten (incl. verzend- en administratiekosten) bedragen € 50 per exemplaar.

Plant Research International, onderdeel van Wageningen UR
Business Unit Bioscience

Adres : Postbus 619 6700 AP Wageningen
: Wageningen Campus, Droevendaalsesteeg 1, Wageningen
Tel. : 0317 – 48 08 22
Fax : 0317 – 41 80 94
E-mail : andries.koops@wur.nl
Internet : www.pri.wur.nl

Plant Research International, onderdeel van Wageningen UR
Wageningen UR - Plant Breeding

Adres : Postbus 16 6700 AA Wageningen
: Droevendaalsesteeg 1, Wageningen
Tel. : 0317 – 48 21 27
Fax : 0317 – 41 34 57
E-mail : luisa.trindade@wur.nl
Internet : http://www.plantbreeding.wur.nl/UK/group_biobased.html

Aan deze visie hebben bijgedragen:

Dr. Ruud van den Bulk (Wageningen UR)
Dr. Oene Dolstra (Wageningen UR – Plant Breeding)
Ronald Hiel (Schuttelaar & Partners)
Dr. Huub Löffler (Wageningen UR)
Dr. Robert van Loo (Wageningen UR – Plant Breeding)
Dr. Ton den Nijs (Wageningen UR – Plant Breeding)
Marjanne Slot (Schuttelaar & Partners)
Dr. Clemens Stolk (Schuttelaar & Partners)
Prof. Dr. Richard Visser (Wageningen UR – Plant Breeding)

Inhoudsopgave

			pagina
1	Uitgebreide samenvatting		1
2	Inleiding		9
3	Werkwijze en leeswijzer		11
4	Rol van plantenveredeling in biobased productieketens		12
5	Stakeholders visie op biobased productieketens.		14
	5.1	Samenvatting	14
	5.2	Inleiding	15
		5.2.1 Contacten tussen chemie en agro	15
		5.2.2 Ambitieniveau	15
		5.2.3 Energie versus chemie/materialen	16
	5.3	Kansrijke routes	17
		5.3.1 Route 1	17
		5.3.2 Route 2	17
		5.3.3 Route 3	17
		5.3.4 Route 4	18
	5.4	Inhoudsstoffen die horen bij kansrijke routes: vezels, platformchemicaliën en farmaca	18
	5.5	Rol voor de veredeling	18
		5.5.1 Veredelingsopgaven	18
		5.5.2 Gewaskeuze	19
		5.5.3 Behoefte aan fundamentele kennis	19
		5.5.4 Economische drijver	20
		5.5.5 GMO's	20
	5.6	Knelpunten	20
		5.6.1 Leveringszekerheid en logistiek	20
		5.6.2 Technologie en kostprijs	20
	5.7	Samenwerking	21
		5.7.1 Belang van reële marktvraag	21
		5.7.2 Synergie van samenwerking	21
	5.8	Aanbevelingen voor de overheid	21
		5.8.1 Investeringsklimaat en subsidies	22
		5.8.2 Samenwerking in de keten	22
		5.8.3 Totaalconcepten en duurzaamheid	22
		5.8.4 Kennis en technologie	22
6	Kansrijke biobased productieketens		23
	6.1	Inleiding	23
	6.2	Uitgangspunten bij het identificeren van kansrijke ketens	24
	6.3	Herformulering van het doel	25
	6.4	Concept 1: Aardappel bio-raffinage	26
		6.4.1 Concept	26
		6.4.2 Veredelingsuitdagingen	26

6.4.3 CO_2-besparing en energie winst 26
6.4.4 Kosten/baten analyse 27
6.4.5 Participatie van industriële partners 27
6.5 Concept 2: Suikerbiet voor productie van polymeren en platformchemicaliën 28
6.5.1 Concept 28
6.5.2 CO_2-besparing 28
6.5.2 Extra omzet door het concept 29
6.5.3 Veredelingsuitdagingen 29
6.5.4 Participatie bedrijfsleven 29
6.6 Concept 3: Miscanthus bio-refinery 30
6.6.1 Gewas 30
6.6.2 Concept 30
6.6.3 Producten uit Miscanthus (te ontwikkelen in stappen) 30
6.6.4 Veredeling 30
6.6.5 CO_2 besparing 31
6.6.6 Kosten en baten van concept 31
6.6.7 Participatie van bedrijfsleven 32
6.7 Concept 4: Oliegewassen als biobased grondstof voor chemie 33
6.7.1 Concept 33
6.7.2 CO_2-besparing 33
6.7.3 Extra omzet door concept 34
6.7.4 Veredelingsuitdagingen en kosten/baten analyse 34
6.7.5 Participatie bedrijfsleven 34
6.8 Concept 5: Nieuwe grassen voor grasbioraffinage (GB) 35
6.8.1 Concept 35
6.8.2 Veredelingsuitdaging 35
6.8.3 CO_2-besparing 36
6.8.4 Extra omzet door concept 36
6.8.5 Kosten/baten analyse 36
6.8.6 Participatie bedrijfsleven 36
6.9 Concept 6: Europese gewassen als nieuwe bron van natuurrubber 37
6.9.1 Concept 37
6.9.2 CO_2-besparing 38
6.9.3 Omzet uit concept 38
6.9.4 Veredelingsuitdagingen 38
6.9.5 Participatie bedrijfsleven 39
6.10 Concept 7: Bioraffinage van maïsstro voor voerders, biobrandstoffen en bio-chemicaliën 40
6.10.1 Concept 40
6.10.2 Producten uit maïsstro 40
6.10.3 Veredelingsuitdagingen 40
6.10.4 CO_2 besparing 40
6.10.5 Kosten en baten van concept 41
6.10.6 Participatie van bedrijfsleven 41
6.11 Concept 8: Microalgen voor chemie 42
6.11.1 Inleiding 42
6.11.2 Concept microalgen voor chemie 43
6.11.3 Veredelingsuitdagingen 45
6.11.4 Participatie bedrijfsleven 45
6.12 Concept 9: Microalgenproductie op zee 46
6.12.1 Concept 46
6.12.2 Een mogelijke oplossing en kansen voor kennisontwikkeling 46
6.12.3 Stappenplan 47
6.12.4 Participatie bedrijfsleven 47

6.13 De afzetmarkten voor de producten uit genoemde business concepten 48
6.13.1 Suiker en koolhydraatpolymeren 48
6.13.2 Eiwit 49
6.13.3 Olie voor energie en chemicaliën 49
6.13.4 Wateroplosbare chemicaliën 50
6.13.5 Natuurrubber 50
6.14 Kans op succes 50

7 Veelbelovende biobased chemicaliën uit planten en microalgen 51

7.1 Inleiding 51
7.2 Voor welke stoffen is belangstelling uit de chemie? 52
7.3 Welke stoffen kunnen door de planten en de agrosector geleverd worden? 52
7.4 Welke gewassen en veredelings- en onderzoeksuitdagingen horen daarbij? 53
7.5 Welke partijen/markten kunnen een rol spelen bij het opzetten van productieketens voor platformchemicaliën? 53
7.6 Samenvatting en conclusies 55

Bijlage 1. Lijst van geïnterviewde personen 57

Bijlage 2. Werkwijze interviews 59

Bijlage 3. Verslag workshop 61

Tabellen 63

1 Uitgebreide samenvatting

Het doel
Het is de doelstelling van de Nederlandse overheid om in 2020 20% van de NL behoefte aan energie- en chemiegrondstoffen uit hernieuwbare bronnen te halen. De ambitie wordt vormgegeven in zeven transitiethema's, die zijn benoemd in de Innovatieagenda Energie (IAE). Groene Grondstoffen (GG) is één van de innovatiethema's binnen de IAE. Eén van de benoemde activiteiten binnen het innovatiethema GG is het opstellen van de Onderzoeksvisie Plantenveredeling. Doel van deze activiteit is het formuleren van een visie op de rol van plantenveredeling bij het opzetten van duurzame en kansrijke biobased[1] productieketens.

Het proces
In de periode juli - september 2009 heeft de Plant Sciences Group van Wageningen UR samen met Schuttelaar & Partners 29 interviews uitgevoerd onder bedrijven en stakeholders die betrokken zijn bij of mogelijk geïnteresseerd zijn in biobased productieketens. Deze interviews hielpen om de deelstukken van de toekomstige biobased grondstoffenvoorziening te identificeren (H5) en deze een plaats in het mogelijke geheel te geven. Door verder een keus te maken uit het palet beschikbare puzzelstukken, bestaande uit bekende stakeholder-ambities (H2, H6.2), mogelijke biobased gewassen (H6), mogelijke biobased moleculen (H5) en mogelijk oplosbare ontwikkeluitdagingen (H6, H7), is de biobased puzzel zo goed mogelijk ingevuld.

De ambities van de stakeholders en de rol van planten hierin
De chemie heeft de ambitie om in 2030 haar grondstoffen voor 50% uit hernieuwbare bronnen te verkrijgen. De overheid heeft de ambitie om in 2020 de CO_2 emissie met 30% terug te brengen. Het Platform Groene Grondstoffen draagt de ambitie uit om in 2050 1000 PJ (30% van de NL energieconsumptie) uit niet-fossiele bronnen te halen.
De enige manier om CO_2 duurzaam en in een zinvol bruikbare vorm vast te leggen is fotosynthese. Een belangrijke manier om fotosynthese grootschalig te exploiteren is via plantaardige productie[2]. De huidige plantaardige productie is hoofdzakelijk gericht op productie van voedsel, diervoeders, vezels en materialen. Het is uniek in de geschiedenis dat er een nieuwe grondstofbehoefte ontstaat, energie- en chemiegrondstoffen, die van dezelfde grootteorde is als de behoefte aan bijvoorbeeld voedsel. Deze nieuwe behoefte levert nieuwe kansen op voor duurzame economische bedrijvigheid, maar roept ook nieuwe veredelingsuitdagingen op.

Succesvolle biobased productie begint met regie over plantaardige productieketens, binnen en buiten Nederland
Plantaardige productie is het omzetten van CO_2 en zonlicht in een plethora aan bruikbare moleculen (zie verder). Een areaal aan geschikt land (of water) is één van de essentiële voorwaarden voor plantaardige productie. In deze visie is de CO_2-ambitie daarom vertaald in areaal en moleculen. De totale Nederlandse CO_2-emissie is 200 miljoen ton/jaar; er is ongeveer 7 miljoen ha aan hoogproductieve gewassen nodig om deze CO_2 weer vast te leggen. Dat is een veel groter oppervlak dan in Nederland beschikbaar is. Voor een volledige CO_2-compensatie zal Nederland dus moeten uitwijken naar het buitenland. Daarbij is regie gewenst, niet alleen om voortgang in de CO_2-doelstellingen optimaal te kunnen waarborgen, maar ook ten behoeve van de betrokken Nederlandse sectoren. Op basis van deze observaties formuleert de Onderzoeksvisie Plantenveredeling drie ambities:

---

[1] In deze onderzoeksvisie leiden biobased ketens tot materialen, energiedragers en chemiegrondstoffen, en zijn daarin dus onderscheiden van productieketens die leiden tot voedsel en diervoeders.

[2] In deze visie wordt onder plantaardige productie ook algen geschaard die, hoewel ze strikt genomen geen planten zijn, CO_2 fixeren door fotosynthese, veredelbaar zijn en kansrijk lijken.

- het ontwerpen van plantaardige biomassaproductieconcepten voor minimaal 2 miljoen ha binnen en buiten Nederland;
- het verkrijgen van maximale regie over dit areaal door het Nederlandse bedrijfsleven;
- het genereren van voldoende meerwaarde op dit areaal.

Regie over productieketens voor biobased grondstoffen heeft vooral meerwaarde voor de Nederlandse economie als zij plaatsvindt op die onderdelen van de productieketen waar de meeste economische meerwaarde wordt gegenereerd. Voor biobased is dat aan het begin van de productieketen (intellectueel eigendom op plantenrassen, zaadproductie), en aan het eind van de keten (bioraffinage en verwerking van grondstoffen tot, uiteindelijk, consumentenproducten). Regie over de productieketen kan dus verkregen worden door ontwikkelen en implementeren van unieke raffinagetechnologie (onderdeel van het Dutch Biorefinery Initiative[3]), het positioneren van raffinagefaciliteiten op de kruispunten van logistieke biomassastromen, maar vooral ook door het produceren van uniek plantaardig uitgangsmateriaal (zaden, stekken, pootgoed), dat op welke locatie in de wereld dan ook daadwerkelijk leidt tot productie van biomassa. Deze biomassa wordt dan bij voorkeur weer in Nederland tot energie- en chemiegrondstoffen verwerkt.

De contouren van de visie: de gewassen

Het doel van plantenveredeling is het verbeteren van de economische meerwaarde of productiezekerheid van plantaardige productieketens. Veredeling begint met het kiezen van een gewas of organisme en een ontwikkeldoel.

Een randvoorwaarde voor het identificeren van kansrijke gewas-ontwikkelrichting-product-combinaties is dat Nederlands bedrijfsleven betrokken moet zijn bij de ontwikkeling ervan, dat de plantaardige productieketen tussen nu en 15 jaar ook wezenlijk gaat bijdragen aan CO_2 mitigatie en tenslotte ook dat de ontwikkelrichting met een redelijke zekerheid leidt tot het genereren van extra economische bedrijvigheid.

Na weging van deze voorwaarden zijn 10 gewassen/organismen geïdentificeerd: zetmeelaardappel, suikerbiet, maïs, *Miscanthus*, gras, de non-food oliegewassen *Calendula* en *Crambe*, natuurrubber gewassen (Russische paardenbloem en Guayule) en microalgen. Deze gewassen zijn potentiële dragers van de biobased economy, omdat bij kennisinstellingen en bedrijfsleven veel kennis is over de gewassen, ze voor een deel al grootschalig worden toegepast, of de potentie van grootschaligheid in zich hebben. Uit de vele discussies die de afgelopen jaren met ketenpartijen zijn gevoerd, blijken deze gewassen ook de meeste instemming op te roepen.

Microalgen zijn strikt genomen geen planten, maar zijn wel meegenomen in deze visie omdat ze veredelbaar en potentieel kansrijk zijn.

De contouren van de visie: de inhoudsstoffen

Alle gewassen samen produceren een redelijk breed palet aan waardevolle inhoudsstoffen: specifieke zetmelen, C6-suikers, cellulose, hemicellulose (C5-suikers), lignine, eiwit, olie, pectines, aminozuren, organische zuren en tenslotte kleine hoeveelheden van talloze andere stoffen. Maximale meerwaarde wordt gegenereerd door deze stoffen in de juiste markten af te zetten (H6.13). De afzetmarkten voor biobased gewassen zijn echter nooit alleen energie en/of chemie. Eiwit bijvoorbeeld is een product van alle gewassen. De meeste meerwaarde voor bulkeiwit wordt op dit moment nog steeds in de diervoedermarkt gegenereerd, en de Europese markt is bovendien groot genoeg om het door de biobased gewassen geproduceerde eiwit te absorberen. De boodschap is dus dat biobased geen afgescheiden marktgebied is, maar dat alle deelmarkten, food, feed, energie en chemie in samenhang ontwikkeld moeten worden.

De hierboven genoemde lijst grondstoffen omvat voor 90% (in volume) wat gewassen aan biobased grondstoffen kunnen leveren. Deze grondstoffen vormen dus het fundament van een biobased

[3] Annevelink, E., J. Broeze, H. Reith & H. den Uijl (editors) (2009 in final preparation). Dutch Roadmap Biorefinery, Wageningen UR & ECN.

economy en deze constatering geeft richting aan veredeling. Gewassen zullen aangepast moeten worden, zodat ze optimaal presteren voor deze nieuwe markten.

Veredelingsdoelen zijn in te delen in specifieke en meer generieke uitdagingen. Een voorbeeld van een generieke uitdaging die voor vrijwel alle gewassen geldt en een multidisciplinaire benadering vraagt, is het realiseren van betere afbreekmogelijkheden van plantencelwanden tot de deelcomponenten cellulose, hemicellulose en lignine. Een dergelijk traject vereist een intensieve samenwerking tussen veredeling (groene biotechnologie), witte biotechnologie en chemie. Zo is lignine in potentie een biogrondstof voor aromaten (chemicaliën), maar er is echter nog geen proces bekend dat de omzetting op economische wijze mogelijk maakt. Een andere generieke uitdaging is het verhogen van de biomassaopbrengst per eenheid van productiefactor: land, water of nutrienten.
Meer specifieke veredelingsuitdagingen worden in de volgende paragraaf benoemd.

De contouren van een visie: de business concepten
Het hart van deze visie wordt gevormd door 9 potentieel kansrijke gewas-ontwikkelrichting-product-combinaties voor 10 gewassen/organismen. In deze visie worden ze business concepten genoemd om aan te geven dat het vormgeven van economisch en ecologisch duurzame ketens de motiverende factor is achter de benoemde ontwikkelrichtingen. Voor elk business concept zijn enkele specifieke veredelingsuitdagingen benoemd.

1. Zetmeelaardappel als productieplatform voor een unieke zetmelen en eiwit. Omvang: 500.000 ha.

De zetmeelaardappel heeft een goed ontwikkelde productieketen die voornamelijk is gebaseerd op zetmeel. Er zijn meer dan driehonderd producten op basis van zetmeel met afzetmarkten in voedsel, diervoeders en industriële toepassingen. Het gebruik in afbreekbare plastics en biomaterialen van gemodificeerde zetmelen is één van de succesvoorbeelden. Het business concept voor aardappel is gericht op het creëren van extra meerwaarde door gebruik van alle inhoudsstoffen en het vergroten van de winbaarheid van die inhoudsstoffen. Veredeling en groene biotechnologie bieden gereedschappen voor het maken van nieuwe zetmelen in de zetmeelaardappel, waardoor het palet toepassingen, en daarmee het afzetmarktvolume aanzienlijk vergroot kan worden. De belangrijkste veredelingsdoelen zijn:
- Optimalisatie van zetmeeleigenschappen en productie van nieuwe hoogwaardige zetmelen voor bestaande en nieuwe toepassingen;
- Verbetering van de celwandstructuur om de extraheerbaarheid van zetmeel en eiwit te verhogen;
- Toename van het eiwitgehalte zonder afname van het zetmeelgehalte;
- Verbetering van de eigenschappen van pectines om toepassingen in medische en industriële producten mogelijk te maken;
- Verhogen van het gehalte aan hoogwaardige componenten voor farmaceutische toepassingen en nutraceuticals, en verbeteren van de winbaarheid door cellulaire compartimentatie.

2. Biet als productieplatform voor platformchemicaliën, suiker en eiwit. Omvang: 500.000 ha.

Naast aardappel is biet het enige andere "natte" Noordwest Europese raffinagegewas. De opbrengst is zeer hoog en biet is in die zin competitief met suikerriet, een van de hoogst productieve gewassen ter wereld. Biet en riet zijn volgens een aantal chemiebedrijven voor de hand liggende gewassen als bron van energie -en chemiegrondstoffen. Biet is echter niet kostencompetitief ten opzichte van suikerriet, vanwege hogere kosten voor grond, arbeid en processing. Het businessconcept bestaat uit een aantal componenten. 1) Het verlagen van de teeltkosten door het verhogen van de N-use efficiency. 2) Het drastisch verlagen van de kapitaalskosten, door jaarrond te telen, waardoor de verwerkingscapaciteit van bestaande installaties verdubbeld kan worden. 3) Verhoging van de waardeopbrengst door het extra winnen van eiwitten uit blad en wortel. 4) Verhoging van de waardeopbrengst door extra productie van hoogwaardige platformchemicaliën als biobouwstenen voor polymeren. 5) Andere methoden van processing waardoor de complete resterende biomassa (na winning van eiwit en

platformchemicaliën) volledig wordt omgezet in ethanol en ethyleen. De drie belangrijkste veredelingsuitdagingen zijn:

- Introductie van het vermogen om platformchemicaliën te produceren tot een niveau van ongeveer 10% van het drooggewicht;
- Verhoging van eiwitgehalte;
- Verbeteren van winterhardheid.

De platformchemicaliën behoren tot de groep van organische zuren en aminozuren. De extra bruto opbrengst van de nieuwe biet ten opzichte van de bestaande bieten is naar schatting €1800/ha. Deze extra omzet en de grootte van de afzetmarkten voor eiwit en polymeren rechtvaardigt de uitbreiding van het areaal van 80.000 naar 500.000 ha onder regie van het Nederlandse bedrijfsleven. Een eerste uitbreidingsstap is de verdubbeling van de teelt naar 160.000 ha, waarbij de extra 80.000 ha biomassa in een bestaande biorefinery verwerkt kan worden.

3. Miscanthus als bioraffinagegewas. Omvang: 1 miljoen ha.

Miscanthus is een meerjarig gewas met een zeer hoge biomassaopbrengst. *Miscanthus* wordt beschouwd als één van de beste lignocellulosegewassen voor bio-energietoepassingen, onder andere door lage productiekosten, laag nutriëntengebruik, het vermogen om atmosferische N te fixeren en een hoge netto energieopbrengst. Het business concept voor *Miscanthus* omvat de ontwikkeling van een raffinagegewas dat twee maal per jaar geoogst kan worden, de eerste oogst voor het winnen van eiwit en suiker, de tweede oogst voor het winnen van lignocellulosebiomassa.
De belangrijkste veredelingsuitdagingen zijn:

- De ontwikkeling van een gewas met een zeer hoog gehalte aan fermenteerbare suikers door *Miscanthus* te kruisen met het genetisch nauw verwante suikerriet;
- Ontwikkeling van een diploïde genotype dat kan worden vermeerderd via zaad;
- Verhogen van het eiwitgehalte en verbeteren van eiwitkwaliteit;
- Verbetering van de celwandsamenstelling om daarmee de energiekosten voor ontsluiting te verlagen en fermentatie van lignocellulosebiomassa te verbeteren.

4. Oliegewassen als bron van oliegebaseerde chemicaliën en eiwit. Omvang: twee gewassen op elk 50.000 ha.

De meeste zaadoliegewassen voor gebruik in voedsel bezitten de "standaard" C16 en C18 vetzuren. Om deze reden wordt momenteel slechts 10% van alle plantenolie wordt gebruikt voor chemische toepassingen.
De oliegewassen *Calendula* en *Crambe* bevatten speciale vetzuren die voor 100% benut kunnen worden in industriële producten met hoge toegevoegde waarde. *Calendula*-olie is zeer geschikt voor gebruik als reactieve verdunners in oplosmiddelarme alkydverven en als houtverduurzamingsmiddel. *Crambe* (erucazuur) is een prima grondstof voor erucamide, een additief voor plastics. Daarnaast is *Crambe* uitstekend geschikt als productieplatform voor allerlei nieuwe oliegebaseerde chemicaliën. Een voorbeeld hiervan zijn wasesters voor gebruik als hoogwaardig smeermiddelen. De uitdaging van de business concepten voor deze gewassen is de ontwikkeling van rassen met hoge productiviteit en kwaliteit.
Veredelingsuitdagingen voor *Calendula* zijn het verhogen van de zaadproductie per hectare van 1500 naar 3000 kg/ha (wordt daarmee vergelijkbaar met de opbrengst van koolzaad) en het verhogen van het zaadoliegehalte van 15 naar 25%;
Veredelingsuitdagingen voor *Crambe* zijn de productie van wasesters door introductie van vetalcohol en wasestergenen; en verder het verhogen van de erucazuur productie per hectare, door hogere zaadproductie, hoger oliegehalte en hoger gehalte van erucazuur in de olie.

5. Gras als bron voor eiwit, vezels, en fermenteerbare suikers. Omvang 100.000 ha, met mogelijkheid om door te groeien naar een geschatte 750.000 ha.

Met een areaal van meer dan 1 miljoen hectare beslaat grasland ongeveer de helft van het bestaande landbouwareaal in Nederland. Voor een groot deel wordt grasland begraasd door koeien. De gemiddelde grasproductie in Nederland is ongeveer 8 ton droge stof per hectare per jaar. De grasproductie kan verdubbeld worden als gras niet begraasd wordt, maar via maaien wordt geoogst. In het voorgestelde business concept zal het mogelijk worden om het gemaaide gras via bioraffinage te scheiden in eiwit, vezels en fermenteerbare suikers. Hierdoor is het mogelijk om niet alleen voldoende voer voor de bestaande veestapel te produceren, maar ook beter geformuleerd veevoer voor koeien (en zelfs varkens en pluimvee) te maken, waardoor ook een verduurzamingsstap in de diersector genomen kan worden. De extra grasbiomassa die in het nieuwe systeem wordt geoogst, kan worden gebruikt als bron van waardevolle industriële grondstoffen. De uitdaging is om voor dit systeem de meest geschikte grasrassen te ontwikkelen, en parallel daaraan de ontwikkeling van de post-harvest bioraffinage technieken in te zetten. Veredelingsuitdagingen zijn:

- Maximale productiviteit per hectare onder het teeltregime met maaien;
- Verhoging van het eiwitgehalte;
- Verbetering van de ontsluiting van celwanden in ouder en vezeliger grasmateriaal door ontwikkeling van genotypen met makkelijker ontsluitbare celwanden.

6. Europese gewassen als nieuwe bron van natuurrubber

Natuurrubber voor de productie van autobanden, bouwmaterialen, medicinale handschoenen en andere artikelen wordt voor vrijwel 100% gewonnen uit de latex van de rubberboom (*Hevea brasiliensis*). Natuurrubber is van strategisch belang voor Europa, in het bijzonder voor de transportsector. In zware transporttoepassingen kan de natuurrubber niet volledig vervangen worden door synthetische rubber, omdat de kwaliteit onvoldoende hoog is. Er is dus behoefte aan een andere bron van natuurrubber die kan groeien in Europa. Er zijn twee planten die hiervoor in aanmerking komen: Guayule (*Parthenium argentatum*), een houtige struik die rubber in de bovengrondse delen produceert, en de Russische paardenbloem (*T. koksaghyz*), die rubber vooral in de penwortel produceert. Guayule is vooral geschikt voor teelt in mediterrane en woestijnachtige klimaten, terwijl *T. koksaghyz* uitstekend geschikt is voor teelt in Noordwest Europa.
De ontwikkeling van het business concept moet leiden tot Europese natuurrubberproductie. De toegevoegde waarde van het gewas moet vooral komen uit de rubber (gemiddeld €1500/ton). Een voordeel van de Russische paardenbloem is dat een groot deel van de resterende wortelbiomassa uit inuline bestaat, dat met hoge conversie-efficiency kan worden omgezet in furaangebaseerde chemicaliën.
De grootste veredelingsuitdagingen voor Russische paardenbloem zijn:

- Verhogen van de wortelopbrengst naar 45 ton/ha (vers);
- Verhogen van het rubbergehalte naar 1500 kg DS/ha.

De grootste veredelingsuitdagingen voor Guayule zijn:

- Verhogen van stengel en wortelopbrengst;
- Verhogen van latex/rubbergehalte naar 12% van de drogestofopbrengst;
- Verbetering van veredelingsmethoden.

7. Bioraffinage van maïsstro voor biobrandstoffen en bio-chemicaliën

Maïs is wereldwijd één van de grote landbouwgewassen. Het vormt een belangrijke bron van voedsel en veevoer en van grondstoffen voor een groot aantal industriële toepassingen. De mogelijkheden van het gewas als leverancier van grondstoffen voor een biobased economy worden in Nederland nog nauwelijks gebruikt. Er is naar verwachting in Nederland ruimte voor een grote uitbreiding van de teelt van CornCobmaïs en/of natte korrelmaïs ten behoeve van de varkenshouderij. Dit heeft als direct milieuvoordeel dat minder krachtvoer hoeft te worden ingevoerd. Om deze ontwikkeling mogelijk te

maken is het voorstel om voor het overblijvende maïsstro een bioraffinageketen op te zetten. Die ontwikkeling levert een positieve bijdrage aan het milieu (CO_2-besparing, meer bio-energie) en daarmee aan de duurzaamheid van de Nederlandse varkenshouderij.
De grootste veredelingsuitdagingen voor maïsstro zijn:
- Verbeteren van de lignocellulosesamenstelling om de ontsluiting van fermenteerbare suikers te verbeteren om goedkope suikers te kunnen produceren voor de productie van 2de generatie ethanol en andere witte biotech-producten;
- Verbeteren van de hoeveelheid, kwaliteit en extraheerbaarheid van eiwitten;.
- Optimalisatie van zetmeel hoevelheid en eigenschappen.

8. Microalgen voor de productie van koolwaterstoffen (fundamenteel onderzoek)

Het is een stevige uitdaging om voor microalgen een valide businessconcept te ontwikkelen. Er is in ieder geval geen enkele bekende en winstgevende business case voor de productie van biobased grondstoffen met algen. De potentie van algen lijkt groot, maar het ontbreekt aan voldoende kennis op deelgebieden. Kennis over algen is vooral ontwikkeld op het gebied van teelt en procestechnologie. Kennis over veredeling en biotechnologie van algen is vrijwel afwezig, zowel in Nederland als in Europa.
Algen hebben een aantal voordelen, waaronder een efficiënte fotosynthese (en daardoor een hoger productiepotentieel dan landplanten), het vermogen om veel eiwit en veel olie te produceren en de mogelijkheid om biomassa te produceren op zee of in gebieden die ongeschikt zijn voor plantaardige productie. Deze visie pleit voor twee ontwikkelrichtingen.
De eerste richting is het opzetten van genomics- en veredelingsonderzoek voor een beperkte groep algen, met name *Botryococcus* soorten, waarvan bekend is dat ze moleculen kunnen leveren voor de productie van nieuwe bioplastics en hoogwaardige brandstoffen. De belangrijkste veredelingsuitdagingen zijn:
- Het ontrafelen van het mechanisme voor productie van koolwaterstoffen en daarvan afgeleide biopolymeren;
- Het verhogen van de groeisnelheid.

Deze kennis moet een initiatiepunt zijn voor het opzetten van industriële biotechnologie met algen gericht op de productie van een nieuwe generatie bioplastics.

Haalbaarheid van de concepten
Op dit moment is niet aan te geven welke businessconcepten de hoogste haalbaarheidskansen hebben, zodat een winnende keus nog niet gemaakt kan worden. Onze beste inschatting is dat de Nederlandse en Europese CO_2-mitigatie- en andere duurzaamheiddoelstellingen zo ambitieus zijn dat bij voorkeur op meerdere business concepten tegelijk ingezet moet worden om de duurzaamheiddoelstellingen van overheid en chemie te halen. Het bedrijfsleven zal de business concepten dan wel moeten oppakken. Dit gaat alleen gebeuren als de business concepten voldoende meerwaarde opleveren in de nieuwe biobased afzetmarkten.
Om een beeld te krijgen van de mogelijke participatie van bedrijfsleven is de investeringsbereidheid van het bedrijfsleven getoetst. Daaruit blijkt, waarbij belangrijk is te benadrukken dat dit een schets van de situatie van medio 2009, dat geen enkel business concept krachtig genoeg is om zonder gedeeltelijke overheidssteun voldoende ontwikkelsnelheid te krijgen. De ambitie om biobased productieketens vorm te geven is er bij alle belanghebbende partijen, maar ieder afzonderlijk is huiverig om als eerste te investeren in ketenbrede biobased projecten. Chemiebedrijven zijn nog niet echt overtuigd van de noodzaak om nu al te beginnen met het verleggen van hun grondstofbasis van petro naar agro. Veredelingsbedrijven willen liever niet investeren in de ontwikkeling van gewassen die chemiegrondstoffen kunnen leveren, zolang de chemie geen duidelijke uitspraak doet over de aard van de stof of duidelijke betrokkenheid bij het ontwikkel- en investeringstraject toont.
Een initiatief van de overheid, in samenhang met de juiste voorwaarden, is vermoedelijk voldoende om partijen over de streep te trekken en consortia rond business concepten te doen vormen (zie verder). Daarbij geven bedrijven aan dat ze behoefte hebben aan een betere scenarioanalyse van mogelijke

biobased productieconcepten voordat ze de stap maken om te investeren in onderzoek en ontwikkeling. Opgemerkt moet worden dat er in toenemende mate toenadering onstaat tussen agro en chemiepartijen. Het "Dutch Biorefinery cluster" waarin partijen uit Food, Agroprocessing, Chemie en Papier & karton vertegenwoordigd zijn, is daar een mooi voorbeeld van.

In de onderzoeksvisie is door de auteurs een aanzet gemaakt om de kansrijkheid van de verschillende business concepten in te schatten (6.13.5), maar de echte kansrijkheid wordt bepaald door het proces na vandaag. Dit proces bestaat uit een toetsing van de betrokkenheid en investeringsbereidheid van bedrijfsleven voor de 9 business concepten in een scenario waarbij ook publieke middelen beschikbaar zijn voor het starten van ketenbrede biobased ontwikkeltrajecten.

Hoe verder na vandaag
Wij stellen voor om met de opgedane kennis en de benoemde concepten in de hand ontwikkeltrajecten te formuleren en de werkelijke betrokkenheid van bedrijven te toetsen. Tegelijk moet het blikveld zo open zijn, dat er ruimte blijft voor varianten op de gepresenteerde business concepten. Om dit proces te faciliteren worden de volgende stappen voorgesteld, welke ook het draagvlak van de meeste stakeholders hebben:

- Voortzetting van het agro-chemie overleg in een andere vorm. Samenwerking over de hele keten, van plantenveredeling tot chemie, is essentieel voor het vormgeven van duurzame biobased ketens voor de toekomst. Het agro-chemie overleg dat tot dusver op management niveau is gevoerd moet op het niveau van meer inhoudelijk geïnformeerde mensen voortgezet worden en de opdracht moet zijn om binnen een half jaar tot ketenbrede concepten te komen. Geïnterviewden zien hier een faciliterende rol voor de overheid;
- Tegelijk moet er vooruitzicht zijn dat een aantal "winnende" concepten in publiek private partnerschappen gestalte kan worden gegeven. Dat kan weer in drie stappen met steeds verschillende financieringsmodellen:
    - De biobased concepten worden doorgerekend op technische en economische haalbaarheid en op potentiële duurzaamheidwinst (voor dit onderdeel bijvoorbeeld 10% financiering uit bedrijfsleven);
    - De belangrijkste technologische uitdagingen moeten worden onderzocht in (pilot)projecten om gevoel te krijgen voor een oplossingsrichting (bijvoorbeeld 20% financiering uit bedrijfsleven);
    - Vervolgens uitwerken in publiek private projecten, waarbij concepten tot commerciële halffabricaten worden doorontwikkeld (30% financiering uit bedrijfsleven);
- Fundamenteel onderzoek. De technologieën die ons uit de klimaat- en energiecrisis gaan tillen, zijn nog onvoldoende ontwikkeld of onrendabel. Door meerdere partijen is gepleit voor het in stand houden en stimuleren van kennis op het gebied van metabolisme en ophoping van inhoudsstoffen in planten en raffinage- en scheidingstechnologie;
- Ondersteunende maatregelen. De overheid kan haar CO_2 mitigatiebeleid verbijzonderen door het gebruik van producten met een onaantrekkelijke CO_2 footprint - en waarvan bekend is dat een biobased alternatief op termijn bereikbaar is - te ontmoedigen, om zodoende ook op het niveau van de markt trekkracht te ontwikkelen voor biobased ontwikkeltrajecten.

Hoe verder: Business concept overstijgende ontwikkeltrajecten
De meest innovatieve ontwikkeltrajecten zijn die trajecten welke meerdere maatschappelijke opgaven tegelijk adresseren. Er zijn een aantal maatschappelijke behoeften, die ogenschijnlijk geen relatie met elkaar hebben, maar die kunnen meeprofiteren van de biobased productie concepten die in deze visie zijn gepresenteerd. Het gaat hierbij om vier maatschappelijke opgaven die zijn gerelateerd aan plantaardige of dierlijke productie.

De eerste maatschappelijke opgave, het verlagen van CO_2-emmissie door het leveren van duurzaam geproduceerde grondstoffen voor de biobased markt is geadresseerd in deze visie.
De tweede maatschappelijke opgave heeft te maken met de ambitie om de eiwitproductie te verduurzamen, mede met het oog op een mondiale toename in de behoefte aan vlees, vis en andere

dierlijke eiwitproducten. Er wordt een groei verwacht in de vraag naar hoogwaardige eiwitten uit duurzaam geproduceerde eiwitbronnen, niet alleen voor gebruik in vee- en visvoeders, maar ook voor nieuwe eiwitrijke voedselproducten en -ingrediënten.
De groeiende behoefte aan vis kan, gezien het gegeven dat visvangst haar limiet bereikt heeft, alleen met visteelt worden gerealiseerd. Duurzame groei van visteelt is alleen mogelijk als deze kan worden gevoed met de juiste grondstoffen, waaronder makkelijk verteerbaar eiwit en essentiële vetzuren (PUFA's). Het zekerstellen van de aanvoer van deze grondstoffen is een derde maatschappelijke uitdaging.
De vierde uitdaging is het veiligstellen van de fosfaatvoorziening op de lange termijn, omdat fosfaat absoluut essentieel is voor plantaardige productie, zowel voor food, feed en biobased.

Alle business concepten in deze visie zijn primair gericht op de productie van biobased grondstoffen (maatschappelijke opgave 1), maar alle concepten leveren ook eiwit (opgave 2). Bij drie concepten, grasbioraffinage, aardappelraffinage en microalgen op zee, is eiwitwinning zelfs een essentiële component voor economische validiteit. Het leveren van grondstoffen voor zowel voedsel, voeders en biobased zijn bij deze concepten onlosmakelijk verbonden. Eén van de concepten, grootschalige teelt van algen op zee, kan naar verwachting ook een aanpak bieden voor de derde en vierde maatschappelijke opgave, omdat dit concept op voldoende grote schaal goed verteerbaar eiwit en PUFA's kan leveren voor grootschalige visteelt, en tevens de mogelijkheid biedt voor fosfaatterugwinning.
Resumerend concluderen wij dat biobased productieketens een hoofdrol kunnen krijgen in het aanpakken van de vier genoemde maatschappelijke uitdagingen. De business concepten die zijn gepresenteerd in deze visie bieden ruimschoots inspiratie voor het inrichten van die ketens en het aanpakken van die vier maatschappelijke opgaven.

2 Inleiding

Zoals verwoord in de Innovatieagenda Energie (IAE)[4] heeft Nederland als doelstelling om in 2020 20% van haar energiebehoefte (energie en chemiegrondstoffen) uit hernieuwbare bronnen te halen. De innovatieagenda heeft betrekking op een energietransitie in de volle breedte van de samenleving. Het beleidsveld is daartoe verdeeld in 7 transitiethema's, waar Groene Grondstoffen er één van is. De opgave van het transitiethema Groene Grondstoffen is om te komen tot een duurzame productie en innovatief gebruik van groene grondstoffen voor energie, chemie en materialen. Eén van de zeven activiteiten binnen het innovatiethema Groene Grondstoffen is het opstellen van een onderzoeksvisie over de rol van plantenveredeling in het vormgeven van biobased productieketens. Criteria voor succes van deze productieketens zijn dat zij significant bijdragen aan de CO_2 en energiedoelstellingen van de NL overheid, en tegelijkertijd substantiële meerwaarde genereren voor de NL economie. Het gaat dan niet alleen om biomassa voor de winning van elektriciteit, warmte en brandstoffen, maar ook om de winning van chemicaliën ter vervanging van petrochemicaliën die nu via energie-intensieve syntheses verkregen worden.

De opdracht om te komen tot een Onderzoeksvisie Plantenveredeling is door LNV bij Wageningen UR (WUR) uitgezet. WUR heeft hierbij de hulp van Schuttelaar & Partners ingeroepen. De opdracht was ook om bij het formuleren van de Onderzoeksvisie Plantenveredeling aan te sluiten bij andere activiteiten binnen de Innovatieagenda Energie, waaronder het Dutch Biorefinery Initiatief (DBI) en de Onderzoeksagenda Aquatische Biomassa (OAB). Het DBI rapport is zeer recent openbaar gekomen[5]. De OAB, één van de andere activiteiten van de IAE, is onder regie van Economische Zaken vormgegeven en heeft eveneens geleid tot een rapport[6]. Hoewel wieren en algen strikt genomen niet tot de planten behoren, zijn teeltvraagstukken en veredelingsbenaderingen vergelijkbaar met die van planten. Volgens afspraak met de opdrachtgever worden veredelingsvraagstukken die voortkomen uit de OAB meegenomen in de Onderzoeksvisie Plantenveredeling.

Om aansluiting te krijgen bij de DBI werd voor de Onderzoeksvisie Plantenveredeling doorgedacht op de biorefinery concepten uit de DBI roadmap die in het kader hieronder zijn opgesomd.

From: Roadmap Dutch Biorefinery Initiative[5]:
This roadmap describes a route toward the development of a biobased economy in the Netherlands in 2030. Most promising innovation directions pursue on opportunities that are a good fit to strengths but also to weaknesses. Based on a SWOT analysis, the following promising directions for biorefinery in the Netherlands have been identified:

1. *biorefinery based on domestic Dutch crops, using synergy of existing agro and chemical sectors, including the Dutch plant breeding sector;*
2. *biorefinery of aquatic biomass, using Dutch microbiology, plant breeding and processing knowledge;*
3. *biorefinery of bulk imported biomass and biomass-derived intermediates, using existing logistic and petrochemical infrastructure;*
4. *biorefinery of residues, based on co-operation in production chains and networks, relatively small transport distances and business competences of Dutch entrepreneurs.*

De eerste richting uit de DBI roadmap levert duidelijke vragen en kansen op voor aanpassingen in bestaande NL ketens en leveren ook duidelijke uitdagingen voor plantenveredeling.
De tweede keten, aquatische biomassa, is nog nauwelijks ontwikkeld, maar het potentieel lijkt aantrekkelijk. Veredeling aan microalgen en macrowieren is op zijn hoogst rudimentair.

---

4 Innovatieagenda Energie: http://www.ez.nl/dsresource?objectid=158825&type=PDF
5 Annevelink, E., J. Broeze, H. Reith & H. den Uijl (2009). Dutch Roadmap Biorefinery, Wageningen UR & ECN: http://www.senternovem.nl/mmfiles/Dutch%20Roadmap%20Biorefinery_tcm24-319385.pdf.
6 Muylaert K. (2009) Inventarisatie aquatische biomassa. Rapport in opdracht van MinEZ, NL. http://www.senternovem.nl/mmfiles/Inventarisatie%20aquatische%20biomassa%20juli%202009_tcm24-312018.pdf

Parallel aan de Onderzoeksvisie Plantenveredeling werd onder regie van Economische Zaken de IAE-activiteit Aquatische Biomassa vormgegeven. Voor zover in de Onderzoeksvisie Aquatische Biomassa geen veredelingsvraagstukken worden geformuleerd, worden deze in de Onderzoeksvisie Plantenveredeling meegenomen.
De derde keten wordt vooral gedreven door biomassa import. In de voorliggende visie wordt ervan uitgegaan dat NL stakeholders ook regie kunnen verkrijgen over importketens. Regie over importketens kan juist ook aan het begin van de importketen liggen, bijvoorbeeld door IP (Intellectual Property, zoals patenten of kwekersrechten) op en vermeerdering van uniek plantaardig uitgangsmateriaal (zaden, stekken, pootgoed), die op welke locatie in de wereld dan ook daadwerkelijk leidt tot productie van biomassa, die dan in NL weer tot energie en chemiegrondstoffen verwerkt kan worden. Juist ook bij importketens liggen belangrijke veredelingsuitdagingen.
De vierde keten genoemd in de DBI vraagt vooral technologie- en keteninnovaties. Op korte termijn is geen rol voor veredeling te verwachten bij het optimaliseren van deze keten.

De uitdaging van deze studie is het identificeren van kansrijke biobased ketens en mogelijke optimalisatiebehoeften vanuit die keten terug te vertalen naar noodzakelijk ontwikkelroutes die door plantenveredeling moeten worden ingezet. Criteria voor kansrijke biobased ketens zijn de mate waarin 1) deze bijdraagt aan de CO_2 mitigatie doelstelling van de NL en EU overheid; 2) deze kansen biedt voor nieuwe bedrijvigheid van NL bedrijven; 3) NL bedrijven regie kunnen krijgen over deze keten. In deze visie wordt ervan uitgegaan dat, ook als biomassa buiten de grens wordt geteeld, NL bedrijfsleven op allerlei punten in die keten economische meerwaarde kan genereren. Kennis over organisatie van biomassaproductieketens, beschikking over uniek plantmateriaal (beschermd met kwekersrecht of patenten) en unieke raffinagetechnologie, waarbij plantmateriaal en raffinagetechnologie optimaal op elkaar zijn afgestemd, zijn daarbij noodzakelijke voorwaarden.

3 Werkwijze en leeswijzer

De ontwikkeling van veel biobased producten is aan de achterkant van bestaande productieketens begonnen: uitgaande van bestaande biomassastromen, bijvoorbeeld suiker, olie, glycerol en zetmeel, zijn nieuwe applicaties en markten ontwikkeld.
Een ander model zien we in de industriële/witte biotechnologie. In de witte biotechnologie zijn micro-organismen een onmisbare component van een succesvol business concept. De ontwikkeling van nieuwe biobased productieketens begint bij deze bedrijfstak daarom noodzakelijk bij de ontwikkeling van verbeterde organismen[7].
Voor het ontwikkelen van duurzame biobased productieketens voor groene grondstoffen is het logisch een vergelijkbaar model te volgen: een succesvol business concept begint bij de ontwikkeling van een plant. Het is de verdienste van LNV dat zij dit onderkennen, en dat zij een essentiële rol zien voor veredeling en groene biotechnologie in het vormgeven van duurzame en succesvolle biobased productieketens. De meerwaarde van plantenveredeling wordt verder toegelicht in H4.
Om te onderzoeken of de markt rijp is voor het aangaan van verbanden rond kansrijke biobased productieketens zijn interviews gehouden met allerlei stakeholders. Het doel van de interviews was om te komen tot ideeën voor kansrijke ketens, gebaseerd op nieuwe grondstoffen, nieuwe producten, nieuwe procestechnologie of nieuwe verbindingen tussen partijen in productieketen. De bevindingen van de interviews zijn weergegeven in H5.
De interviews boden echter onvoldoende aanknopingspunten voor het vormgeven van concrete biobased ketens met participatie van NL bedrijfsleven. Zij boden wel voldoende inspiratie voor het ontwerpen van een aantal mogelijke business concepten. Deze biobased business concepten zijn beschreven in H6.
Uit alle signalen uit de markt bleek dat nieuwe verbindingen tussen agro en chemie alleen ontstaan als er overeenstemming is over de aard, leveringszekerheid, toepassingsmogelijkheden en marktperspectief van agromoleculen. Zolang de chemie, als potentiële afnemer, geen uitspraken doet over de aard van gewenste moleculen, wordt er door de agro niet geïnvesteerd. Aan dit knelpunt, het identificeren van mogelijke stoffen die door de agrosector geleverd kunnen worden, en door de chemie als hernieuwbare grondstof geadopteerd kunnen worden, is daarom een apart hoofdstuk besteed (H7)

[7] Voorbeeld 1: Dupont met *Escherichia.coli* voor productie van 1.3 propanediol. Voorbeeld 2: DSM met unnamed organism voor productie van succinaat.

4 Rol van plantenveredeling in biobased productieketens

Plantenveredeling is van essentieel belang voor het inrichten van biobased productieketens, omdat de intrinsieke eigenschappen van biomassa allesbepalend zijn voor de economische waarde en de duurzaamheid van de gehele productieketen. De hoeveelheid, winbaarheid en zuiverheid van plantaardige inhoudstoffen, de duurzaamheid in biomassa teelt, de duurzaamheid in processing van biomassa en in assemblage van biobased producten, de netto energie of CO_2-winst van biobased productieketens zijn alle sterk afhankelijk van de eigenschappen van het plantaardige uitgangsmateriaal.

Er is nog een tweede reden om te investeren in biobased plantenveredeling. Om de energiedoelstellingen van de overheid te realiseren, moet biomassa geïmporteerd worden. Tot dusver is dat meestal laagwaardige biomassa, bijvoorbeeld houtsnippers, zaadschroten of 1ste generatie biobrandstoffen, zoals palmolie. Het zwaartepunt voor de economische waardetoevoeging in ketens die leiden tot deze producten ligt dan meestal buiten de NL grens. In deze onderzoeksvisie wordt ervan uit gegaan dat vooral die biomassaketens interessant zijn waar NL bedrijfsleven maximaal regie over heeft. Het verkrijgen van regie, ook over importketens, is daarom ook doelstelling van dit rapport.
Regie over productieketens voor biobased grondstoffen heeft vooral meerwaarde voor de NL economie als zij plaatsvindt op die onderdelen van de productieketen waar de meeste economische meerwaarde wordt gegenereerd. Voor biobased is dat aan het begin van de productieketen (eigendom van elite plantmateriaal en zaadproductie), en aan het eind van de keten (bioraffinage en verwerking van grondstoffen tot consumentenproducten). Regie over de productieketen kan dus verkregen worden door ontwikkelen en implementeren van unieke raffinagetechnologie (onderdeel van het Dutch Biorefinery Initiative[3]), het positioneren van raffinagefaciliteiten op de kruispunten van logistieke biomassastromen, maar vooral ook door het produceren van uniek plantaardig uitgangsmateriaal (zaden, stekken, pootgoed), die op welke locatie in de wereld dan ook daadwerkelijk leidt tot productie van biomassa, die dan in NL weer tot energie en chemiegrondstoffen verwerkt wordt.

Veredeling begint bij de keuze van het gewas en heeft altijd als doel het verbeteren van de economische meerwaarde. In een biobased context zijn er drie groepen gewaseigenschappen leidend:

1. maximale productie per eenheid van input: land, water, nutriënten (P, N, K) en energie, dus kg biomassa per m^2 land, per GJ, per kg N, P en K, en per m^3 water;
2. maximale economische waarde per kg biomassa. Bijpassende eigenschappen zijn maximale opbrengst aan hoogwaardige inhoudsstoffen (bestaande stoffen zoals olie; suiker, zetmeel, maar ook nieuwe inhoudsstoffen), makkelijke (lage energiekosten voor) ontsluiting van inhoudstoffen en fermenteerbare suikers;
3. Maximale tolerantie voor abiotische (water, nutriënten, omgeving) en biotische stressfactoren (ziekten en vraat), omdat zij meer indirect leiden tot hogere opbrengst en kwaliteit.

In deze visie krijgen niet alle punten in gelijke mate aandacht, maar richten we ons vooral op díe aspecten of eigenschappen die de meeste hefboomwerking hebben bij de ontwikkeling van kansrijke biobased ketens. Verbetering van biotische (ziekte) resistentie (punt 3) krijgt in deze visie helemaal geen aandacht, omdat dit al in beleidsondersteunend onderzoek of direct door bedrijfsleven wordt geadresseerd.

Ook verhoging van totaalopbrengst (1) krijgt weinig aandacht, hoewel wordt onderkend dat onderwerp 1 van wezenlijk belang is bij het halen van de energiedoelstellingen van de overheid. Verbeteren van de totaalopbrengst/ha helpt namelijk bij het verlagen van druk op beperkende resources als land en water. Ook als opbrengstverbetering alleen plaatsvindt aan voedselgewassen, schept zij letterlijk ruimte voor productie van biomassa voor energie- of chemiegrondstoffen. Hoewel totaalopbrengst een belangrijke bottleneck is bij het vormgeven van biobased ketens, moet ook worden geconstateerd dat het

mechanisme achter gewasopbrengst nog onvoldoende begrepen wordt om in biobased gewassen een snelle opbrengstverbetering te kunnen bewerkstelligen. Veredelingsbedrijven geven wel al veel aandacht aan verhoging van opbrengst van ondermeer de drie grote voedselgewassen (maïs, soja, rijst). De verwachting is dat dit op termijn kennis oplevert die ook opbrengst in typische biobased gewassen versneld kan helpen te verhogen. De primaire focus van deze visie is daarom ook niet het ontwikkelen van generieke concepten voor verhogen van opbrengst.

De nadruk ligt dus op onderwerp 2. In H6 wordt uitgelegd dat, om de CO_2 doelstelling van de overheid te halen, het noodzakelijk is om regie te krijgen over biomassaproductie van 2-4 miljoen hectare biobased gewassen. De motor achter een dergelijke uitbreiding van het areaal kan alleen maar het perspectief zijn dat die (nieuwe) biobased ketens op zijn minst evenveel meerwaarde gaan genereren als bestaande food ketens. Alleen dan zijn de investeringen gerechtvaardigd en alleen dan zal NL bedrijfsleven participeren. Echter, de huidige biobased productieketens zijn vooralsnog vooral gericht op energie, en de belangrijkste hindernis van deze ketens is juist de beperkte economische meerwaarde. Derhalve ligt de focus vooral op het ontwikkelen van verbeterde biobased gewassen die voor meerdere doeleinden gebruikt kunnen worden. Het gaat dan bijvoorbeeld om hoogwaardige inhoudsstoffen voor fijnchemie, farmaca en food, eiwitten voor food en feed, specifieke inhoudstoffen die dienst kunnen doen als building blocks voor bulkchemicaliën en die fossiele oliederivaten kunnen vervangen, en energie. Ook eigenschappen die leiden tot een betere ontsluiting van deze inhoudsstoffen en tot een efficiëntere conversie van die gewassen of gewasonderdelen in bio-energie (biobrandstof, elektriciteit en warmte) krijgen aandacht in deze visie.

5 Stakeholders visie op biobased productieketens.

5.1 Samenvatting

In de periode juli - september 2009 heeft de Plant Sciences Group van Wageningen UR samen met Schuttelaar & Partners 29 interviews uitgevoerd onder bedrijven en overige stakeholders die betrokken zijn bij het nadenken over of vormgeven van biobased productieketens. Doel van deze interviews was om na te gaan hoe bedrijven chemie- en energiegrondstoffen uit planten denken te gaan gebruiken, en welke ontwikkelopgave dit betekent voor de plantenveredeling. Ook vormden de interviews de opmaat naar een workshop op 22 september over dezelfde vraag. Dit hoofdstuk biedt een overzicht van de bevindingen uit de interviews.

Uit de interviews is het beeld ontstaan dat bedrijven in de plantenveredeling, agroprocessing, industriële biotechnologie en chemie in meerdere of mindere mate bezig zijn met het thema 'biobased economy'. Er is echter nog weinig interactie tussen de verschillende partijen; zeker de plantenveredeling (zaadbedrijven) en chemie zijn niet met elkaar in gesprek.

Mondiaal gezien lijken voor de productie van energiedragers, chemiegrondstoffen en materialen uit biomassa een palet aan businessmodellen en productieroutes te ontstaan. In het Dutch Biorefinery Initiative (DBI)[5] zijn vier hoofdroutes benoemd die ook zijn besproken met de geïnterviewden. Op korte termijn wordt nog weinig verwacht van route 2 (bioraffinage van aquatische biomassa). Voor de overige routes van het DBI (bioraffinage van in Nederland geteelde gewassen, bioraffinage van geïmporteerde biomassa, en bioraffinage van reststromen) is ongeveer evenveel steun. Er is bij alle partijen steun voor de winning van platformchemicaliën uit planten en het gebruik van lignocellulose als bron voor fermenteerbare suikers uit planten.

De geïnterviewden noemen generieke veredelingsopgaven zoals opbrengstverhoging en teelt onder marginale omstandigheden als een belangrijke taak voor de plantenveredeling, direct gevolgd door specifieke opgaven als het beter beschikbaar maken van fermenteerbare suikers uit lignocellulose, en het verhogen van de concentratie en zuiverheid van bepaalde inhoudsstoffen, zodat deze beter tot waarde kunnen worden gebracht. Als belangrijkste knelpunten voor de biobased economy zijn genoemd: leveringszekerheid (in tijd en in benodigde hoeveelheden), logistiek, ontwikkeling van benodigde raffinagetechnologie, en de nu nog hoge kosten van plantaardige grondstoffen vergeleken bij aardolie.

Wat betreft de veredeling van gewassen zijn er twee hoofdlijnen te zien: raffinagegewassen en lignocellulosegewassen. De producten van huidige raffinagegewassen (biet, aardappel, korrelmaïs) worden vooral in *food* en *feed* gebruikt. Afzet van biomassa in biobased ketens (lees: non-food) vraagt aanpassing in de gehele keten, maar vooral het ontwikkelen van concepten waarmee extra meerwaarde uit de biomassa kan worden gehaald, om daarmee de meestal lagere opbrengsten uit non-food (biobased) markten te compenseren.
De meeste partijen zien een goed perspectief voor lignocellulosegewassen (bijvoorbeeld *Miscanthus*, energiemaïs, grassen) vanwege de relatief hoge duurzaamheid over de hele productieketen, lage teeltkosten en de verwachting dat ze een bron van goedkope fermenteerbare suikers zullen worden. Bovendien levert de recalcitrante lignocellulosebiomassa kansen voor de ontwikkeling van nieuwe enzymen door Industriële Biotechnologie.

Alle geïnterviewden achten het belangrijk om samen te werken met partijen in de keten, maar constateren tegelijkertijd dat deze samenwerking moeizaam tot stand komt. Dit hangt samen met de

'kip-ei' situatie waarin de ontwikkeling van duurzame biobased productieketens lijkt te verkeren: Zaadbedrijven en agroprocessing willen horen wat voor grondstoffen de chemische industrie nodig heeft, de chemie wil graag zien hoe de agrosector de knelpunten in bijvoorbeeld leveringszekerheid, kwaliteit en functionaliteit gaat oplossen. Alle partijen vinden deze situatie wel ongewenst. Om deze impasse te doorbreken worden een aantal voorstellen gedaan: (1) Het agro-chemie overleg voortzetten, maar dan op het niveau van meer inhoudelijk geïnformeerde mensen, en met de opdracht om tot gezamenlijke concepten te komen. Volgens verscheidene geïnterviewden is hier een faciliterende rol weggelegd voor de overheid. (2) Deze biobased concepten moeten op technische en economische haalbaarheid worden doorgerekend en vervolgens worden onderzocht in pilot-projecten. (3) Voor zover de overheid middelen ter beschikking wil stellen, moeten deze worden gealloceerd naar projecten waarbij zowel agro- als chemiepartijen betrokken zijn. Als voorbeeld wordt het IBOS tendermodel voorgesteld. (4) Ook is door meerdere partijen gepleit voor het in stand houden en stimuleren van fundamentele kennis en basistechnologie, Voorbeelden zijn kennis van metabolisme van inhoudsstoffen in planten, en raffinage- en scheidingstechnologie.

5.2 Inleiding

Het Ministerie van LNV heeft de Plant Sciences Group (PSG) van Wageningen UR gevraagd om een visie te ontwikkelen op de rol die plantenveredeling kan spelen bij de ontwikkeling van kansrijke biobased productieketens. In dit kader heeft de Plant Sciences Group samen met Schuttelaar & Partners een consultatieronde gehouden onder betrokkenen in zowel het bedrijfsleven (plantenveredeling, agroprocessing, industriële biotechnologie en chemie) als overige stakeholders. De consultatieronde bestond uit zeven diepte-interviews, 22 telefonische interviews en een workshop. Van de workshop is separaat verslag gedaan (zie Bijlage 3). De telefonische interviews betroffen 11 bedrijven en 11 overige stakeholders. De lijst van geïnterviewde personen is weergegeven in Bijlage 1, het gehanteerde interviewprotocol is beschreven in Bijlage 2.
Van de afzonderlijke interviews is door Schuttelaar & Partners apart verslag gedaan aan de Plant Sciences Group. In dit rapport worden de belangrijkste bevindingen uit de interviews benoemd. Na de algemene constateringen in dit hoofdstuk wordt stilgestaan bij vier vragen:

- wat zijn kansrijke productieroutes (paragraaf 5.3). Hierbij is uitgegaan van de ontwikkelroutes zoals die zijn benoemd in de roadmap DBI;
- wat zijn opgaven voor de plantenveredeling (5.5);
- wat zijn de gesignaleerde knelpunten (5.6);
- wat zijn de opvattingen over samenwerking met andere partijen (5.7);
- wat zijn de aanbevelingen van de geïnterviewden aan de overheid (5.8).

5.2.1 Contacten tussen chemie en agro

Vrijwel alle ondervraagde partijen zijn met het thema biobased bezig. Alle grote chemiebedrijven 'snuffelen' aan de agrohoek, en er zijn al voorbeelden van allianties op het gebied van ontwikkeling en vermarkting: DSM en Roquette, Genencor en Goodyear, Avantium en Cosun. Er zijn echter nog nauwelijks rechtstreekse contacten tussen chemie en plantenveredelaars. Veel partijen zijn nog bezig met verkenningen. Daardoor zijn de uitkomsten van de interviewronde veelal tamelijk algemeen.

5.2.2 Ambitieniveau

Veel bedrijven zijn bekend met de ambitie van de Nederlandse overheid, het Platform Groene Grondstoffen en de Regiegroep Chemie, en vinden dat deze doelen nagestreefd moeten worden. Eén chemiebedrijf spreekt expliciet de verwachting uit dat over 5 à 10 jaar een grote omschakeling naar

biobased plaatsvindt. Daartegenover staat dat een ander chemiebedrijf de doelstelling te ambitieus vindt; deze respondent wijst erop dat er nog steeds nieuwe olievelden gevonden worden.

5.2.3 Energie versus chemie/materialen

Veel partijen noemen energie de grootste markt en zeggen dat daar op de korte termijn ook de meeste kansen liggen. Dit past volgens sommigen ook in het historische patroon: ook aardolie werd eerst alleen voor energie gebruikt, en pas daarna deels voor chemie. Vergeleken bij energieproductie kan aardolie nog behoorlijk duurder worden vóór het onrendabel wordt om deze als chemiegrondstof te gebruiken. Ook is de chemie een zeer diverse markt vergeleken bij energie. Deze mening wordt echter niet door iedereen gedeeld (zie hieronder).

Ook wat betreft de veredelingsopgave gaan de meeste respondenten allereerst in op de veredelingsopgave die nodig is voor biomassa voor energieproductie. Zaadbedrijven KWS en Limagrain investeren vooral in bio-energiegewassen maïs en *Sorghum* (voor biogas en tweede generatie bioethanol), daarmee anticiperend op een mogelijke toename in lokale energie-opwekking. Gewassen met toepassingen in chemie of materialen hebben hun interesse, maar KWS vindt dat het ontwikkelen van de gewassen en afzetmarkt samen met de chemie moet worden gedaan. BASF ziet eveneens goede kansen voor bioethanol en bio-ethyleen uit rietsuiker, vanwege de lage kosten, relatief hoge duurzaamheid en passende grootschaligheid[8]. De belangrijkste veredelingsopgaven (opbrengst en droogteresistentie) worden aangegaan in samenwerking met het Braziliaanse Centro de Tecnologia Canavieira.

Enkele respondenten benadrukken juist dat biogrondstoffen voor chemie de hoogste prioriteit moeten krijgen. Redenen die daarvoor genoemd zijn, zijn:

- Voor chemiegrondstoffen bestaat naast aardolie geen ander alternatief dan biomassa;
- Biomassagrondstoffen staan, gezien hun hoger gehalte aan -O en -N,dichter bij hoogwaardige bulkchemicaliën dan bij typische motorbrandstoffen (zeer laag gehalte aan -O, geen -N);
- Vanwege de hoge investeringskosten waarmee de ontwikkeling van biobased ketens gepaard gaat, is het juist nodig om eerst de hoogwaardige producten te ontwikkelen. Biomassa kan nu moeilijk concurreren met goedkope energie uit aardolie. Voor hoogwaardige toepassingen zullen biogrondstoffen eerder rendabel zijn. Een dergelijke benadering, via waarde naar bulk, is daarom nodig om de transitie naar biobased ketens aan te jagen;
- Nederland is te klein voor de teelt van gewassen voor energieproductie;
- Nederland moet gebruik maken van het cluster aan chemiebedrijven in deze regio, daar ligt een kracht van Nederland;
- De energiedichtheid van (lignocellulose-)biomassa is vaak te laag om kostenefficiënt over grote afstanden te kunnen transporteren;
- Er is een integrale benadering nodig, waarbij de hele plant tot waarde wordt gebracht. Daarbij moet het primair gaan om de waardevolle stoffen die je uit planten kunt halen, daarna kan de rest desnoods worden gebruikt voor de winning van energie. Het potentieel van planten als uiterst efficiënte eiwitfabrieken moet eveneens beter benut worden;
- De chemiesector is verantwoordelijk voor 20-25% van het energieverbruik. Het energiebesparings- en CO_2-mitigatie potentieel is groter bij productie van chemicaliën dan bij productie van energiedragers.

[8] Ook ethyleen past in het streven naar grootschaligheid. Polyethyleen is met mondiale productie van 80 miljoen ton de kunststof met het grootste marktvolume.

5.3 Kansrijke routes

Het 'Dutch Biorefinery Initiative' heeft vier 'moonshots' of kansrijke routes benoemd, te weten: 1) bioraffinage gebaseerd op in Nederland geteelde gewassen; 2) bioraffinage van aquatische biomassa; 3) bioraffinage van geïmporteerde biomassa in Nederlandse havens; 4) bioraffinage gebaseerd op reststromen. Van deze routes wordt route 2 (aquatische biomassa) weinig genoemd, en bij doorvragen blijken de geïnterviewden geen eenduidig beeld hebben van deze route; de voorstellingen lopen wijd uiteen, meer dan bij de andere routes. Voor de overige drie routes is ongeveer evenveel steun. Hieronder worden specifieke kanttekeningen per route weergegeven.

5.3.1 Route 1

Bij in Nederland geteelde gewassen zien de Nederlandse agroprocessingsbedrijven vooral kansen voor waterrijke planten, zoals aardappel en biet, vanwege het intrinsieke vermogen om wateroplosbare moleculen tot een hoge concentratie op te slaan (aardappelknol, bietwortel). Vanwege de grote bladopbrengst biedt biet nog de mogelijkheid voor de productie van nieuwe polymeren. Aardappels zijn kansrijk als het gaat om nieuwe zetmelen of andere koolhydraatpolymeren. Daarnaast behoren de Nederlandse bieten- en aardappelprocessing tot de modernste in Europa, en kunnen lokale verworvenheden, zoals een fijnmazig logistiek netwerk en kennis van afzetmarkten worden benut in nieuwe verbindingen met de chemiesector.

5.3.2 Route 2

Veel geïnterviewden gaan ervan uit dat algen pas op termijn geschikt zijn voor grootschalige productie van energie of bulkgrondstoffen. Een geïnterviewde geeft aan dat biomassaproductie met algen alleen een haalbaar businessmodel oplevert als diverse elementen gecombineerd worden: beschikbaarheid van een grote hoeveelheid industrieel CO_2 en het vermogen van algen om CO_2 efficiënt vast te leggen, het vermogen om fosfaat en stikstof terug te winnen uit industrieel afvalwater, het vermogen van algen om olie en chemicaliën te produceren, en de potentie voor biomassateelt op zee. Anderen gaan er echter van uit dat algen ook op lange termijn een te lage opbrengst zullen hebben. Sommigen gaat ervan uit dat algen en wieren weinig impact zullen hebben op het milieu, terwijl anderen juist wijzen op het risico van eutrofiëring door teelt van wieren in open zee, en op mogelijke ontsnapping van veredelde algen naar het milieu.

5.3.3 Route 3

Bij geïmporteerde biomassa wordt opgemerkt dat goed moet worden gekeken naar de milieueffecten. Worden er geen bossen gekapt voor teelt van biogewassen? En kan het zowel kostentechnisch, als energetisch, als wat betreft de CO_2-balans uit om biomassa over grote afstanden te transporteren? In veel gevallen zal dan de energiedichtheid eerst moeten worden vergroot door een ruwe bewerking in het land van herkomst. Anderzijds wijzen ettelijke respondenten erop dat import van biomassa wel noodzakelijk is als Nederland aan zijn CO_2-ambitie wil voldoen. Bovendien kan de teelt van biogewassen volgens verschillende geïnterviewden juist een economische impuls opleveren voor ontwikkelingslanden, en ook kunnen ketens zo worden ontworpen dat de CO_2-balans goed uitpakt. Sommigen spreken de verwachting uit dat de welvaart in landen als India binnen enkele decennia dermate zal stijgen dat deze landen geen biogrondstoffen voor energie meer zullen exporteren, maar deze zullen gebruiken voor hun eigen energievoorziening. In dat geval zullen regio's, ook NW-Europese, zelfvoorzienend moeten worden in hun energieproductie. Anderen verwachten juist dat geïmporteerde biomassa zal bestaan uit laagwaardige restproducten waar al veel waarde uit is gehaald, en zien daarom weinig toekomst in deze route.

5.3.4 Route 4

Er is consensus dat beschikbare reststromen beter benut kunnen worden door betere raffinage. Er zijn ook aarzelingen. De beschikbaarheid van reststromen is beperkt en onregelmatig, de heterogeniteit van het materiaal is groot. Sommigen wijzen erop dat ook deze stromen van dichtbij moeten worden gehaald. Een enkeling koppelt deze route juist aan teelt in Nederland (route 1).

5.4 Inhoudsstoffen die horen bij kansrijke routes: vezels, platformchemicaliën en farmaca

Productie van specifieke chemiegrondstoffen in planten wordt door velen gezien als interessante mogelijkheid, maar alleen voor de lange termijn. Dit laatste heeft te maken met de lange ontwikkelroute, de nog niet uitgekristalliseerde discussie over genetisch gemodificeerde planten, en de onbekendheid van chemie met biobased grondstoffen. Bovendien is het in de meeste gevallen alleen rendabel indien de gehalten in de plant voldoende hoog zijn. Volgens sommigen zijn alle chemicaliën met een productie van >20.000 ton/jaar interessant. Volgens een andere mening moet het gaan om stoffen die nu een omzet hebben van meer dan 500 miljoen euro, een waarde van meer dan 1 euro per kg in de handel, en een opbrengst van 5 ton/ha. Het gaat dan al snel om gehalten van >5% van de droge stof. Bottlenecks voor deze routes zijn gelegen in de grote volumes landbouwproducten die nodig zijn om de stoffen te produceren (en het bijbehorende areaal), en in de dure scheidingstechnologie. Over welke platformchemicaliën kansrijk zijn lopen de meningen zeer uiteen. Zo investeert DSM in succinaat (barnsteenzuur), terwijl AkzoNobel twijfelt aan de kansrijkheid hiervan.

Voor farmaceutische toepassingen worden plantaardige inhoudsstoffen vooral gezien als inspiratiebron voor synthetische chemie vooral vanwege de technische problemen die kleven aan de extractie en zuivering van deze componenten. Desalniettemin zijn er verschillende bioactieve componenten die zeer belangrijk zijn en niet chemisch gesynthetiseerd kunnen worden en derhalve dus uit planten geëxtraheerd moeten blijven worden (voorbeelden zijn taxol, vinblastine, vincristine, bleomycin, mitomycins).

Ook voor de winning van vezels uit planten voor gebruik in composietmaterialen en textiel is relatief veel steun. Hierbij gaat het om goed gedefinieerde vezels die uit specifieke plantensoorten kunnen worden gewonnen.

5.5 Rol voor de veredeling

Alle geïnterviewden zijn gevraagd een visie te geven op de rol van veredeling bij het ontwikkelen van biobased ketens. Voor veredeling zijn de volgende elementen zijn genoemd.

5.5.1 Veredelingsopgaven

De volgende veredelingsopgaven zijn genoemd:

- Opbrengstverhoging per eenheid land. In de meeste gewassen (suikerbiet, maïs) kan een 30% hogere opbrengst geleverd worden door uitstel van de bloeitijd. Extra voordeel van een uitgestelde bloeitijd is een betere aansluiting bij de logistiek van bio-energieproductie (maïs) of een betere benutting van de bestaande raffinagecapaciteit (biet). Vrijwel alle maïs- en bietenveredelaars zijn hiermee bezig;
- Opbrengstverhoging per eenheid nutriënt. Het gaat dan vooral om betere stikstofbenutting (lagere energie- en teeltkosten) en betere benutting van het eindige fosfaat. Dit heeft de aandacht van diverse veredelaars;

- Andere generieke veredelingsopgaven die meer indirect leiden tot hoge opbrengst per hectare, of meer teeltzekerheid geven, of biomassaproductie mogelijk maken onder slechte teeltomstandigheden. Het gaat dan om tolerantie voor droogte, voor zoute, zure of fosfaatbindende bodems, en resistentie tegen ziekten en plagen;
- Het beter beschikbaar maken van o.a. fermenteerbare suikers uit lignocellulose (plantencelwanden), bijvoorbeeld door verandering van de ligninesamenstelling in celwanden, door de productie van celwandafbrekende enzymen in de plant zelf, of door aanpassingen in celwandsamenstelling waardoor extern toegevoegde enzymen efficiënter werken. Syngenta bijvoorbeeld heeft verschillende gewassen ontwikkeld waarin cellulases tot expressie komen die zorgen voor een betere afbraak van de celwand in o.a. maïs, suikerriet en suikerbiet, waardoor ethanolproductie vergemakkelijkt wordt;
- Voor oliehoudende gewassen: verhoging van oliegehalte van zaden, dunnere zaadhuid, verhoogde zuiverheid, meer verschillende vetzuren;
- Wanneer de biomassa voor syngasproductie wordt gebruikt, zijn de doelstellingen: verlagen van het gehalte aan corrosieve (zwavel, chloor) en asvormende mineralen (kalium, silicaat, calcium, magnesium);
- Verhogen van het gehalte aan bestaande inhoudsstoffen die nu in de reststromen blijven en verdwijnen, maar bij hogere gehaltes economische winbaar en vermarktbaar worden. Voorbeeld C5 suikers uit hemicellulose;
- Productie van nieuwe inhoudsstoffen in planten (zie hiervoor hoofdstuk 7).

5.5.2 Gewaskeuze

Enkele geïnterviewden zien een rol voor de veredeling in de ontwikkeling van 'nieuwe' of 'vergeten' gewassen. In dit kader worden genoemd bomen (o.a. wilg, populier, *Robinia*), grassen *(Miscanthus)*, bamboe en *Jatropha*. Sommigen denken dat vanuit het oogpunt van duurzaamheid het beste in meerjarige gewassen geïnvesteerd kan worden. In veel van deze gewassen is nog weinig veredeld, zodat met relatief weinig inspanning nog veel opbrengstwinst valt te behalen. Ook voor nieuwe, meerjarige gewassen is opbrengstverhoging de belangrijkste veredelingsopgave. Bedrijven daarentegen investeren veelal in eenjarige gewassen, vanuit oogpunt van rendement, flexibiliteit, en jaarronde leveringszekerheid. De meeste bedrijven geven aan het liefst te investeren in reeds 'bestaande' gewassen waarvoor al een raffinage infrastructuur aanwezig is, waaronder biet, maïs, aardappel, suikerriet. Door veredelaars wordt opgemerkt dat er altijd een palet aan gewassen in rotatie nodig is, om de ziektedruk laag en de bodemgezondheid op een voldoende niveau te houden.

5.5.3 Behoefte aan fundamentele kennis

Naast specifieke veredelingsopgaven worden ook basistechnologieën genoemd die voorwaarde kunnen zijn voor de veredeling. Zo wordt opgemerkt dat er geïnvesteerd moet worden in analysemethoden die bepaalde nauw verwante inhoudsstoffen van elkaar kunnen onderscheiden, zodat de functies van deze stoffen onderzocht kunnen worden en erop veredeld kan worden. Een andere mening luidt dat de overheid zou moeten investeren in generieke technologie die planten in staat stelt om hoge concentraties van 'plantvreemde' in hun cellen op te slaan. Van verschillende kanten wordt bovendien gewezen op de behoefte aan meer basiskennis van planteigenschappen, metabolisme en de genetische achtergrond daarvan.

5.5.4 Economische drijver

Tweemaal is genoemd dat één plantaardige hoofdcomponent de economische drijver moet zijn waaraan een productieketen zijn bestaansrecht ontleent. Wordt toch gekozen voor exploitatie van meerdere componenten dan moet de scheiding relatief eenvoudig zijn (oplosbaar versus onoplosbaar, water- versus vetoplosbaar, geladen versus ongeladen).

5.5.5 GMO's

Een aantal geïnterviewden verwachten dat GMO's (planten en micro-organismen) kan bijdragen aan het inrichten van economisch rendabele en internationaal competitieve biobased productieketens, die op hun beurt weer essentieel zijn voor het behalen van de CO_2 en energiedoelstellingen. Ze zien mogelijke toepassingen van GMO's voor bijvoorbeeld opbrengstverhoging, ziekteresistentie, productie van specifieke stoffen in planten en verbetering van planten waardoor een optimale match tussen groene en witte biotechnologie ontstaat. De meeste bedrijven zijn huiverig om hierin voorloper te zijn, en zien graag dat de overheid de brede acceptatie van GMO in Europa gaat faciliteren.

5.6 Knelpunten

In de interviews zijn enkele knelpunten naar voren gekomen die ontwikkeling van kansrijke biobased ketens kunnen hinderen. Deze worden hieronder behandeld.

5.6.1 Leveringszekerheid en logistiek

Het belangrijkste knelpunt dat genoemd wordt is leveringszekerheid. Vooral voor partijen die sterk afhankelijk zijn van één bepaalde grondstof vergt het een grote omschakeling om over te gaan op grondstoffen uit de agrosector. In het algemeen denkt de chemie in andere logistieke beelden dan de agrosector. De chemie wil zijn grondstoffen wereldwijd flexibel kunnen inkopen, e en niet afhankelijk zijn van lokale, seizoensgebonden teelten.

Hiermee samen hangt het knelpunt van de logistiek. Vanwege de lage energiedichtheid of lage gehalten aan inhoudsstoffen kunnen biogrondstoffen moeilijk rendabel over grote afstanden getransporteerd worden, terwijl de lokale levering van grondstoffen soms te onzeker is. Jaarronde aanvoer van grote volumes aan grondstoffen is nodig om investeringen in nieuwe fabrieken te laten renderen.

5.6.2 Technologie en kostprijs

Andere belangrijke knelpunten die zijn genoemd hebben betrekking op de ontwikkeling van conversie- en scheidingstechnologie. De technieken om gewassen om te zetten in energie en/of om de gewenste stoffen uit planten te isoleren moeten verder worden ontwikkeld en geoptimaliseerd.
De lage prijs van aardolie is op dit moment nog een belemmering voor de ontwikkeling van alternatieven. Daardoor zijn plantaardige grondstoffen nu nog relatief duur. Dit kostenaspect is volgens sommigen een belangrijker barrière dan de technische uitdagingen.

Voor een gewasproduct combinatie ziet de chemie vooralsnog wel kansen. Toonaangevende bedrijven zien prijs, volume en leveringszekerheid van rietsuiker als voldoende goedkoop en solide om te investeren in productie van ethanol (bio-energie en bio-etheen) op basis van dit gewas.

5.7 Samenwerking

In de interviews is ook gevraagd naar bestaande samenwerkingsverbanden tussen o.a. veredeling en chemie, en naar de belangstelling om dergelijke samenwerkingen op te zetten. De belangrijkste bevindingen worden hieronder weergegeven.

5.7.1 Belang van reële marktvraag

Meerdere partijen benadrukken het belang van de vraagkant. Het is belangrijk dat er vraag vanuit de markt is voor een bepaald product. Bedrijven gaan niet investeren in een nieuw product of proces vanwege een overheidssubsidie, vanwege de relatief korte looptijd van subsidies en wisselend beleid van opeenvolgende regeringen. De hoge kosten die gemoeid zijn met het ontwikkelen van een nieuw product staan deze onzekerheid niet toe. De overheid kan overigens wel een belangrijke rol spelen in het stimuleren van de vraag door het stellen van normen of bijvoorbeeld het instellen van een CO_2-belasting of het verbieden van producten (zoals verboden op lood in benzine en asbest tot innovaties en nieuwe producten hebben geleid).
Ook is gewezen op een ander aspect van de marktvraag, namelijk dat bedrijven niet meer moeten redeneren vanuit de (goedkope) grondstof, maar vanuit de vraag en hoe daar zo efficiënt mogelijk aan kan worden voldaan. Soms kan een biobased productieroute efficiënter en voordeliger uitpakken dan een productieroute op basis van aardolie. Een voorbeeld van dit laatste is 1,3-propanediol dat goedkoper met micro-organismen uit suiker dan uit petrogrondstoffen kan worden gemaakt.

5.7.2 Synergie van samenwerking

Alle geïnterviewden geven aan dat het van groot belang is om samen te werken met alle partijen in de keten. Tegelijk constateren ze dat deze samenwerking moeizaam tot stand komt. Dit hangt samen met de 'kip-ei' situatie waarin de ontwikkeling van duurzame biobased productieketens lijkt te verkeren: Zaadbedrijven en agroprocessing willen horen wat de chemische industrie aan agrogrondstoffen nodig heeft, de chemie wil graag zien hoe de agrosector de leveringszekerheid gaat waarborgen. Daarnaast heeft de chemie twijfels over de kwaliteit en functionaliteit van agrogrondstoffen, die in de meeste gevallen suboptimaal lijkt te zijn in vergelijking met petrochemieproducten.

Kennis nemen van elkaars processen kan veel onverwachte winst opleveren, bijvoorbeeld wanneer een afvalproduct van het ene bedrijf een grondstof voor het andere blijkt te zijn, of wanneer twee afvalstromen van twee bedrijven samen een nieuw product op blijken te leveren. Voorbeelden hiervan zijn een mogelijke farmaceutische toepassing van giftige forbol-esters uit *Jatropha*, en benutting van bietenloof voor de papierindustrie. Ook het 'kijken in elkaars keuken' levert veel synergie op, vooral als het interdisciplinaire teams of verticale samenwerking in de keten betreft (dus geen directe concurrenten). Belangrijk is ook dat niet teveel partijen bij elkaar worden gezet. Een kennismakelaar bevordert het smeden van de juiste allianties.
Eén respondent wijst erop dat nu wel hét moment is om allianties te smeden omdat veel bedrijven nog op zoek zijn naar wat ze precies willen met biobased grondstoffen.

5.8 Aanbevelingen voor de overheid

In de interviews is ook gevraagd naar eventuele aanbevelingen voor de overheid. Hieronder worden de meest genoemde aanbevelingen weergegeven.

5.8.1 Investeringsklimaat en subsidies

Het belang van een stabiel investeringsklimaat door betrouwbaar en consistent overheidsbeleid is vaak genoemd als belangrijke randvoorwaarde. Een bedrijf gaat niet investeren in een fabriek voor biodiesel als de bijmengnormen onzeker zijn.
Subsidies worden door meerdere respondenten niet erg belangrijk gevonden. Als er geen reële marktvraag is zullen bedrijven geen risicovolle investeringen plegen. Wel kan de overheid een stimulerende rol spelen aan het begin van de commercialisatiefase, nu biobased grondstoffen nog moeten concurreren met relatief goedkope aardolie. Ook kan de overheid marktvraag stimuleren door bijvoorbeeld regelgeving. Voor zover de overheid middelen ter beschikking wil stellen voor onderzoek, moeten deze worden gealloceerd naar projecten waar zowel agro- als chemiepartijen betrokken zijn. Als voorbeeld wordt het IBOS tendering model voorgesteld.

5.8.2 Samenwerking in de keten

Samenwerking over de hele keten, van plantenveredeling tot chemie, is essentieel voor het vormgeven van duurzame biobased ketens voor de toekomst. Dat dit nog maar zeer beperkt to stand komt vinden alle partijen ongewenst. Om deze impasse te doorbreken worden een aantal voorstellen gedaan: 1) Het agro-chemie overleg voortzetten, maar dan op het niveau van meer inhoudelijk geïnformeerde mensen, en met de opdracht om tot gezamenlijke concepten te komen. Geïnterviewden zien hier een faciliterende rol voor de overheid. 2) Deze biobased concepten moeten op technische en economische haalbaarheid worden doorgerekend en vervolgens worden onderzocht in (pilot)projecten.

5.8.3 Totaalconcepten en duurzaamheid

Enkele respondenten wezen op het belang van totaalconcepten en systeemdenken: kijk ook naar de consequenties voor de bodem, logistiek, opslag, bewaarbaarheid, reststromen, en kijk integraal naar duurzaamheid. Wat dit laatste betreft moeten overheden internationaal meer samenwerken, zowel in de regelgeving als in onderzoek. Energie- en milieuvraagstukken houden niet op bij de grens.

5.8.4 Kennis en technologie

Wat positief wordt gewaardeerd is het hoge kennisniveau en de wetenschappelijke clusters in Nederland. Het is wel van belang om dit niveau hoog te houden en te blijven investeren in fundamenteel onderzoek en in het ontwikkelen van sleuteltechnologie. De technologieën die ons uit de klimaat- en energiecrisis gaan helpen kennen we op dit moment nog niet, of zijn op dit moment nog volstrekt onrendabel. Investeringen in fundamenteel onderzoek waarvoor nu (ogenschijnlijk) nog geen toepassing is, zijn nodig om oplossingen voor toekomstige vragen te vinden. Door meerdere partijen is gepleit voor het in stand houden en stimuleren van kennis op het gebied van metabolisme van inhoudsstoffen in planten en raffinage- en scheidingstechnologie.

6 Kansrijke biobased productieketens

6.1 Inleiding

De opdracht die ten grondslag ligt aan dit rapport is het identificeren van kansrijke biobased productieketens en het benoemen van de rol van veredeling daarin. Kansrijk is op twee manieren geïnterpreteerd: 1. het totaal aan productieketenconcepten moet een wezenlijke bijdrage kunnen gaan leveren aan de CO_2 mitigatie doelstelling van de overheid; 2. de productieconcepten leiden tot een hogere en duurzame omzet voor het NL bedrijfsleven.

Uit de interviews blijkt dat duurzame productie door alle partijen wordt gezien als een kans. Er is echter ook veel onzekerheid over de juiste ontwikkelrichting. In de discussies met de industriële partijen die een rol moeten gaan spelen in biobased productieketens zijn geen scherp omlijnde kansrijke biobased productieconcepten naar voren gekomen. Biobased investeringen worden door het bedrijfsleven nog als tamelijk risicovol beschouwd. Daarvoor zijn een aantal redenen:

- Biobased ketens vragen nieuwe verbindingen tussen agropartijen (veredeling en agroprocessing) en chemie (industriële biotechnologie en petrochemie). Het ontstaan van verbindingen gaat nog niet heel snel. De noodzaak om van petrogrondstoffen naar biobased grondstoffen over te schakelen wordt door de petrochemie minder zwaar gevoeld dan andere uitdagingen, zoals verbeteren van de concurrentiepositie ten opzichte van Azië, verlaging van kosten en verhoging van eco-efficiency van productie, of gewoon overleven tijdens een financiële crisis. Ook verstaan de verschillende ketenpartijen onvoldoende elkaars taal, behoeften en productieprocessen;
- Het palet kansrijke biobased chemicaliën is nog niet erg breed, de performance van biobased producten ten opzichte van petrochemische equivalenten is suboptimaal, de productie ervan vraagt de inzet van nieuwe technologie, en er is onzekerheid of de markt de nieuwe producten in voldoende mate gaat adopteren;
- Een tweede punt ten aanzien van maatschappelijke acceptatie heeft te maken met *competing claims*. Een oplossing die wel eens wordt aangedragen voor dit probleem is het inrichten van gescheiden ketens die zijn gebaseerd op food en non-food gewassen. Dit is mogelijk een schijnoplossing omdat competitie zich niet alleen afspeelt op het niveau van producten maar ook op het niveau van beperkende hulpbronnen, zoals land water en nutrienten. De verwachting is verder dat niet volledige scheiding maar juist integratie van voedsel-, voeder-, energie- en chemicaliënproductie voorwaarde is voor economische kansrijkheid van biobased productieketens.

Als de hierboven opgesomde risico's echter leidend gaan worden, vinden er niet snel innovaties plaats. Juist innovaties zijn nodig om de CO_2 en de energiedoelstellingen van overheid en samenleving te halen. Deze doelstellingen zijn overigens niet vrijblijvend, maar resultaat van Internationale en Europese afspraken. Niet nakomen van afspraken kan leiden tot sancties of doet op termijn schade aan de NL economie.

In dit hoofdstuk worden daarom voor het identificeren van kansrijke ketens niet de risico's maar de overheidsdoelstellingen leidend gemaakt: CO_2 mitigatiepotentieel, energiebesparingpotentieel en het mogelijke economische potentieel. De opdracht achter deze visie is om de rol van veredeling in kansrijke biobased productieketens te benoemen. Daar veredeling vooral gaat om gewassen en gewaseigenschappen, zijn gewassen dus het tweede leidende principe bij het identificeren van kansrijke biobased ketens.

In dit hoofdstuk wordt daarom uitgegaan van mogelijke biobased gewassen, en worden voor deze gewassen biobased business concepten uitgewerkt. De hierbij gebruikte uitgangspunten worden in de volgende paragraaf verder uitgewerkt.

6.2 Uitgangspunten bij het identificeren van kansrijke ketens

Voor het identificeren van kansrijke biobased gewassen en productieketens worden de volgende uitganagspunten gehanteerd:

- In deze onderzoeksvisie wordt met twee milieudoelstellingen gerekend: Doelstelling 1 is het realiseren van 30% reductie van de CO_2 emissie in 2020 ten opzichte van peiljaar 1990 (doelstelling overheid, Innovatieagenda Energie). Dit komt overeen met een reductie van 96 miljoen ton CO_2 ten opzichte van ongewijzigd beleid; 20-40 miljoen ton moet uit innovaties komen. Doelstelling 2 is het produceren van biomassa met een netto fossiele energie besparing van 1000 PJ (trend naar 2050, Platform Groene Grondstoffen);
- T.a.v. de 30% CO_2-reductie doelstelling: Plantaardige productie is de enige industriële activiteit die netto en duurzaam CO_2 vastlegt. Voor de productie van 1 ton biomassa is minimaal 1.5 ton CO_2 nodig. Per hectare is een gemiddelde van 20 ton DS biomassa haalbaar (zeker bij biet en *Miscanthus*). Bij de genoemde gewassen wordt dan bij 20 ton opbrengst bruto 30-35 ton CO_2/ha/jaar vastgelegd. Teelt en verwerking leiden echter weer tot CO_2 emissie. Wanneer wordt uitgegaan van gemiddeld 30-40% CO_2-verlies, kan de CO_2 reductiedoelstelling van 40 miljoen ton/jaar kan worden gehaald met ongeveer 2 miljoen ha aan hoogproductieve gewassen;
- T.a.v. de 1000 PJ doelstelling: Bij een opbrengst van 20 ton/ha wordt bruto gemiddeld 20 x 18 GJ/ton = 360 GJ/ha vastgelegd. Door allerlei verliezen (teelt, oogsten, raffineren) wordt de gemiddelde netto energie opbrengst lager geschat, namelijk op 240 GJ/ha. De 1000 PJ doelstelling vraagt dus ruim 4 miljoen ha en is daarmee ambitieuzer dan de CO_2 doelstelling;
- Daarnaast moet het realiseren van deze doelstellingen bijdragen aan de versterking van het economisch potentieel van het NL bedrijfsleven. Hierbij moet worden opgemerkt dat het op dit moment niet goed mogelijk is om de economische validiteit van ketenconcepten precies door te rekenen, omdat er aannames moeten worden gedaan ten aanzien van technologische doorbraken binnen nu en 10 jaar en maatschappelijke ontwikkelingen ten aanzien van biobased gewassen;
- De biomassaketens moeten vooral aansluiten bij de energie- en chemiebehoeften van de toekomst. Hierbij gaan we ervan uit dat energie in toenemende mate lokaal kan worden opgewekt, bijvoorbeeld via kleinschalige methaan/ethanolvergisting, of verbranding van lokaal geproduceerde biomassa, en dat er een omschakeling plaatsvindt naar elektrisch autorijden;
- Twee of 4 miljoen ha is niet beschikbaar in NL, daarom moet ook biomassa worden geïmporteerd. Om ook met biomassa-import maximale revenuen te genereren voor de NL economie is het belangrijk om ook maximaal regie te krijgen over biomassa-importketens. Hiervoor zijn de volgende instrumenten:
  - Door biomassa (import)productieketens buiten NL met NL kennis in te richten, en daarmee ook zorg te dragen voor biomassaproductie en -import volgens duurzaamheidcriteria;
  - Door met NL bedrijfsleven uniek plantaardig uitgangsmateriaal te ontwikkelen voor deze biomassaproductieketens, en dat materiaal te beschermen d.m.v. kwekersrecht of ander IP, Maximale opbrengst van waardevolle inhoudsstoffen en maximale afstemming van planteigenschappen op de te ontwikkelen raffinagetechnologie zijn hierbij leidend;
  - Door zaadproductie van uniek uitgangsmateriaal in NL handen te houden;
  - Door unieke bioraffinage technologie te ontwikkelen, waarmee met deze biomassa maximaal meerwaarde kan worden gegenereerd, meer dan concurrerende buitenlandse partijen met dezelfde biomassa zouden kunnen.

  Door deze benadering krijgt NL bedrijfsleven niet alleen maximaal regie over biomassa-import, maar ligt het hart van de NL activiteiten vooral in die onderdelen van de productieketen waar het meeste toegevoegde waarde wordt gecreëerd[9].

[9] Succesvolle NW-Europese voorbeelden van deze benadering zijn de *Calendula*-olieketen (ketenkennis, regie en kwekersrecht bij WUR, teelt in Marokko en Canada, toepassing in NL verf) en de cichorei-inuline keten (kennis en regie bij het Belgische bedrijf Beneo-Orafti, teelt en deel van de processing in Chili, verkoop van inuline aangestuurd vanuit België)

- De ontwikkeling van kansrijke biobased ketens begint bij de identificatie van kansrijke gewas/concept combinaties. Voorwaarde bij het kiezen van gewassen is dat NL veredelingspartijen een rol kunnen hebben in de ontwikkeling van deze gewassen en dat er kansen zijn voor het ontwikkelen van IP (patenten en kwekersrecht); Belangrijk is verder dat die gewassen in NL of Noordwest Europa geteeld kunnen worden, omdat dit de basis vormt voor regionale biobased productieketens;
- Om regie te krijgen over biobased productieketens is niet alleen IP op plantmateriaal nodig, maar moeten oplossingen en uitvindingen ook op andere onderdelen van de keten (bijvoorbeeld in raffinage) gevestigd worden;
- Een aantal van de hierna te benoemen gewassen worden al geteeld in NL. Uitgangspunt is dat het nieuwe gewas/concept combinatie voldoende meerwaarde biedt ten opzichte van de bestaande productieketen voor deze gewassen, waardoor er ook een aanzienlijke groei in de omvang van het areaal kan plaatsvinden. Criterium hierbij is dat de bruto opbrengst per ha, voor boer of verwerker, in ieder geval vergelijkbaar of hoger moet zijn dan de bruto opbrengst van datzelfde of een vergelijkbaar gewas in de huidige setting.

6.3 Herformulering van het doel

Gebaseerd op de bovenstaande uitgangspunten is de energie- en CO_2-doelstelling als volgt geherformuleerd*: Vanuit NL bedrijfsleven regie krijgen over 2 tot 4 miljoen ha biomassaproductie*. De nadruk ligt hierbij op biomassa, die bijdraagt aan productie van energiedragers en chemiegrondstoffen, maar ook een aanzienlijke stroom aan hoogwaardig eiwit oplevert. De reden hiervoor is dat de verwachting is dat de eiwitbehoefte en eiwitkosten mogelijk sterk gaan toenemen, waardoor de positie van de Europese diersector mogelijk verzwakt wordt.

Om een aanzienlijk deel van die 4 miljoen ha te realiseren, worden 9 business concepten uitgewerkt voor de volgende gewassen

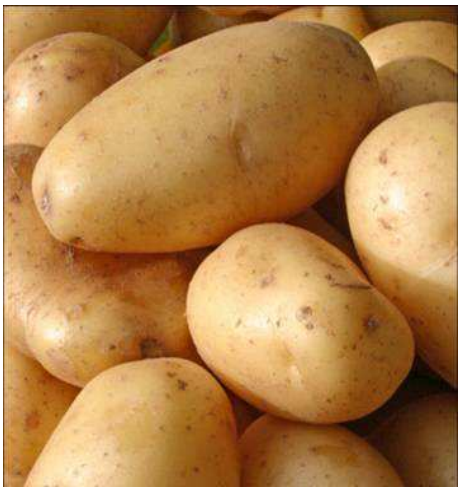
1. Aardappel: 500.000 ha;
2. Biet: 500.000 ha;
3. *Miscanthus*: 1 miljoen ha;
4. Oliegewassen (*Calendula* en *Crambe*) voor chemietoepassingen: 2 x 50.000 ha;
5. Gras: 100.000 ha (hoewel het bijbehorende concept in NL vertaalbaar is naar in schatting 750.000 ha);
6. Rubberproducerende planten (Russische paardenbloem en Guayule) op 100.000 ha;
7. Maïsstro voor bioraffinage op 500.000 ha;
8. Microalgen voor chemietoepassingen;
9. Microalgen op zee: 100.000 ha.

Deze concepten hebben een gezamenlijke omvang van 2.9-3.6 miljoen ha.
In de volgende paragraven worden de business concepten verder beschreven volgens een min of meer vast format. Alleen voor de microalgen wordt hiervan afgeweken, omdat de microalgconcepten een ander denk- en ontwikkeltraject hebben dan de landbouwgewassen.

6.4 Concept 1: Aardappel bio-raffinage

6.4.1 Concept

Momenteel bedraagt het areaal aardappelen in Nederland ca 160.000 ha waarvan 50.000 ha zetmeelaardappelen zijn. Naast de klassieke toepassingen van zetmeel in voeding en industriële toepassingen is er een verschuiving merkbaar naar nieuwe of hernieuwde toepassingen van zetmeel, zoals onder andere in bio-plastics. Vanwege een verbod op een aantal chemicaliën zullen veel chemische modificaties van zetmeel echter niet meer mogelijk zijn, en zullen veel zetmeelgebaseerde producten niet meer geproduceerd kunnen worden. Bestaande en nieuwe biobased toepassingen voor zetmeel zullen dus in de toekomst een range aan nieuwe en natuurlijke zetmelen vragen. Daarnaast zal ook de totale vraagomvang naar verschillende zetmelen toenemen.



Naast zetmeel bevatten aardappelknollen ook andere hoogwaardige componenten in relatief hoge concentraties, zoals eiwitten, aminozuren, andere suikers (pectines, cellulose, hemicelluloses) en secundaire metabolieten met mogelijke gezondheidsbevorderende werkingen, zoals flavonolen, terpenoiden en glycoalkaloiden. Veel van deze stoffen in aardappel worden op dit moment nog nauwelijks geïsoleerd en verwaard.

Het aardappel bio-raffinage concept behelst het verdubbelen van de Nederlandse omvang aan zetmeelaardappelen naar 100.000 ha en een toename van het totale Europa areaal naar 500.000 ha. Gebieden die geschikt zijn voor aardappelteelt onder regie van Nederlands bedrijfsleven bevinden zich in Duitsland, Polen, Oekraïne en Hongarije.

6.4.2 Veredelingsuitdagingen

De nadruk zal liggen op de volgende, in mate van belangrijkheid gepresenteerde onderzoeklijnen:

- Optimalisatie van zetmeel eigenschappen voor huidige en nieuwe toepassingen, zowel voor de 'food' als de 'non-food' toepassingen;
- Verhoging van de hoeveelheid en de extraheerbaarheid van eiwitten;
- Aanpassen van de celwand structuur teneinde de extraheerbaarheid van zetmeel te verhogen;
- Het genereren van (nieuwe) pectines met verbeterde eigenschappen en die eenvoudiger te extraheren zijn;
- Verhogen van het gehalte aan hoogwaardige componenten voor farmaceutische toepassingen en nutraceuticals (flavonolen, terpenoiden, glycoalkaloiden), en verbeteren van de zuiverheid en winbaarheid van deze stoffen door gerichte cellulaire compartimentatie.

6.4.3 CO_2-besparing en energie winst

De CO_2 besparing wordt begroot op netto 20 ton CO_2/ha. Dus van het totale areaal van 500.000 ha is de besparing 10 miljoen ton CO_2/jaar. De energiewinst bedraagt 160 GJ/ha/jaar, in totaal 80 PJ/jaar.

6.4.4 Kosten/baten analyse

Kosten: 3.5 miljoen euro in 5 jaar.
Resultaten: De verwezenlijking van nieuwe variëteiten die een extra omzet kunnen generen van 2000€/ha (geschat op basis van de toegevoegde waarde van amylopectine), en de controle over de productieketen door productie van elite pootaardappelen door Nederlandse partijen. De extra opbrengst van het aardappel bio-refinery concept is: 1 miljard euro per jaar voor 500.000 ha. De extra opbrengst is gebaseerd op de toegevoegde waarde van het gemodificeerd zetmeel; in die gevallen waar naast het zetmeel ook de pectines, de eiwitten en andere hoogwaardige metabolieten kunnen worden geëxtraheerd, zal de €-opbrengst hoger zijn.

6.4.5 Participatie van industriële partners

Industriële partners zijn alle soorten bedrijven die tezamen de volledige productie- en verwerkingsketen omvatten, zoals de veredelingsbedrijven (HZPC, Agrico, Averis enz.), verwerkingsbedrijven (Cosun, AVEBE, Herbstreith & Vos, GE plastics, BASF) en nutraceutical- en geneesmiddelenbedrijven (Frutarom, Organon en Roche). Mogelijke afzetmarkten zijn de chemie (voor zetmeel, pectines en hemicellulose afgeleide C5 suikers), food en feed (zetmeel en eiwitten) en de gezondheid/medische sector (flavonoiden, carotenoïden, vitaminen, vaccins, glycoalkaloiden,en vrije aminozuren).

6.5 Concept 2: Suikerbiet voor productie van polymeren en platformchemicaliën

6.5.1 Concept

Suikerbiet wordt verbouwd op 80.000 ha in NL. Het productiepotentieel van biet is vergelijkbaar met suikerriet, maar productiekosten voor suikerbietsuiker zijn dubbel zo hoog. Doelen van dit concept zijn:



- kostenverlaging in de hele productieketen met 50%;
- verhoging van economische opbrengst door productie van hoogwaardige inhoudsstoffen en door uit gaan van de in ontwikkeling zijnde winterbieten met een 30% hogere opbrengst dan suikerbiet;
- regie krijgen over een productie areaal van 500.000 ha, door een combinatie van IP op uniek plantmateriaal, ketenkennis, en unieke raffinagetechnologie.

Deelcomponenten van totaalconcept (kunnen naar keuze naast elkaar worden gebruikt) zijn:

1. Verlagen van kosten door verhogen van de N-use efficiency (meer biomassa per kg N);
2. Verlenging van de oogst- en verwerkingsperiode. In de huidige setting worden de suikerfabrieken slechts 6 maanden per jaar gebruikt. Winterbieten, bieten die vorst- en bloeiresistent zijn, kunnen de suikerbietencampagne 3 maanden verlengen, de capaciteit van de fabriek met 50% vergroten. De processingcapaciteit kan verder vergroot worden door import van ruwe halffabricaten, bijv. ingedikt sap of gedroogde pulp. Teelt kan plaatsvinden op het zuidelijk halfrond (Chili, Argentinië) en oogst en import kan vanaf april tot augustus plaatsvinden. Dat regie over teelt op het zuidelijk halfrond haalbaar is, blijkt uit teelt van cichorei in Chili onder regie van het Belgische bedrijf Sudzucker-Beneo;
3. Extra verwerking van blad tot hoogwaardig eiwit. De bladopbrengst is ongeveer 4.5 ton DS/ha. Bij een eiwitgehalte van 20% levert dit 900 kg eiwit met een waarde van €500-600/ton;
4. Verwerking van laagwaardige pulp tot hoogwaardige chemicaliën (furanen);
5. Nieuwe processingconcepten, waarbij geen kristalsuiker meer wordt geproduceerd, maar waarbij de totale suikerrijke biomassa, na winning van eiwit of platformchemicaliën, in zijn geheel wordt omgezet in ethanol of ethyleen (component 5 gaat mogelijk niet samen met 4, omdat de hemicellulosefractie van de pulp in dit deelconcept wordt vergist tot ethanol;
6. Extra productie van platformchemicaliën: hoogwaardige aminozuren (bijvoorbeeld lysine, glutaminezuur, asparaginezuur) of organische zuren (bijvoorbeeld melkzuur, succinaat, itaconzuur) met een waarde van €800-1500/ton.

6.5.2 CO_2-besparing

- Door benutten van de overcapaciteit van bestaande fabrieken in NL kan 80.000 ha bieten extra worden verwerkt. De netto energieopbrengst is naar verwachting 300 GJ/ha (berekening op aanvraag beschikbaar), zodat met dit extra areaal en met de bestaande bietenverwerkingsinstallaties 24 PJ energie extra kan worden vastgelegd. De CO_2 mitigatie wordt bij 80.000 ha geschat op 2.4 miljoen ton;
- Bij regie over 500.000 ha (teelt in NL en buitenland, verwerking deels in NL) is de totale energieopbrengst 150 PJ en de CO_2 vastlegging 15 miljoen ton/jaar. Uitbreiding van dit concept naar 500.000 ha vraagt uiteraard nieuwe fabrieken of heringebruikname van gedemonteerde fabrieken (NL, Polen).

6.5.2 Extra omzet door het concept

De productie van suikerbiet leverde de boer in 2006 bruto ongeveer €2700/ha (bij 60-65 ton/ha). In het nieuwe suikerregime daalt dit naar ongeveer €1700/ha. In dit concept gaan we uit van winterbieten (100 ton FW/ha) en een bruto opbrengst voor de boer van €2600/ha (vanaf 2010 is de minimumprijs voor bieten €26/ton vers). De bruto opbrengst voor de agroprocessor is dankzij extra eiwit, platformchemicaliën en bioethanol (of ethyleen), naar schatting €1800/ha hoger dan bij de verwerking van de huidige bieten naar kristalsuiker. Dit komt overeen met een *extra* omzet €120 miljoen voor 80.000 ha en €0.75 miljard voor 500.000 ha.

6.5.3 Veredelingsuitdagingen

1. N-use efficiency (kostenverlaging van teelt met 5% door 30% lagere N-gift);
2. Winterhardheid en bloeiresistentie (kostenverlaging van processing met 20% door verlenging van de campagne);
3. Productie van platformchemicaliën;
4. Verhoging van eiwitgehalte in tap root.

Aan uitdagingen 1 en 2 wordt al gewerkt door veredelingsbedrijfsleven.
Kosten onderzoek voor uitdagingen 3 en 4 worden geschat op €2.5 miljoen
Een niet-veredelingsuitdaging is voorverwerking van bieten en opslag van het diksap op de boerderij, waardoor de fabriek jaarrond kan gaan draaien. Hier wordt al aan gewerkt door WUR.

6.5.4 Participatie bedrijfsleven

Met een aantal partners worden al gesprekken gevoerd: SESvanderHave (NL FR, BE), KWS (DU), Cosun (NL), Sabic (NL), DSM (NL) en Itaconix(US), een klein bedrijf met technologie om itaconzuur te polymeriseren. Om NL chemiepartijen te betrekken bij het concept is nog onderwerp van overleg.

6.6 Concept 3: Miscanthus bio-refinery

6.6.1 Gewas

- Zeer hoog productiepotentieel (30 ton DS/ha/jaar) door C4 type CO_2 vastlegging, goede benutting groeiseizoen. Levert droge lignocellulose met een laag gehalte aan mineralen;
- Kan twee keer per worden geoogst;
- Duurzaam door lage mineralen input met betrekking tot bemesting, bewerking, ziektebestrijding en oogst. Efficiënt in water gebruik;
- Kan in symbiose met micro-organismen (endofyten) atmosferische N binden, wat additionele duurzaamheidvoordelen geeft;
- Lage teeltkosten door meerjarige teelt (10-20 jaar).



6.6.2 Concept

Miscanthus wordt nu vegetatief vermeerderd, en akkers worden ingeplant met wortelstokken. Ons concept is gericht op drastisch verlagen van teeltkosten, door zaadvermeerdering mogelijk te maken. Tweede doel is het ontwikkelen van uniek genetisch materiaal met een zeer hoog gehalte aan fermenteerbare suikers. Het derde doel is om kiemplanten uit zaad op te kweken en deze vervolgens via een gespecialiseerd bedrijf op de markt te brengen. De kosten van inplanten worden hiermee aanmerkelijk lager dan de kosten voor wortelstokken en zeker dan die van *in vitro* vermeerdering. Miscanthus wordt gebruikt als biorefinery-gewas met als belangrijkste producten, eiwit, suiker en lignocellulose biomassa voor energie-opwekking (ethanol of stroom) en chemicaliën. Het gewas wordt twee maal geoogst, de eerste oogst in juni, en de tweede in de winter, nadat het blad is afgevallen. Bij de eerste oogst zijn eiwit en suiker de meest waardevolle producten, de rest van de biomassa is door het lage ligninegehalte makkelijk om te zetten in 2de generatie ethanol. De tweede oogst, droge lignocellulose, kan worden geoogst van november tot april, en kan worden gebruikt voor biomaterialen, bulkchemicaliën (uit lignine) en fijnchemicaliën (uit hemicellulose) en opwekking van stroom (restbiomassa).

6.6.3 Producten uit Miscanthus (te ontwikkelen in stappen)

- Elektriciteit + warmte. Deze producten zijn vooral van belang voor de ontwikkeling van de 1ste 100.000 ha. Biomassa van M. is uitermate geschikt voor dit doel vanwege het lage gehalte aan mineralen. Alleen deze toepassing is al rendabel bij lokale verwerking;
- Biomaterialen (vezels, bouwmaterialen, composieten);
- Fermenteerbare suikers voor bioethanol en BTL;
- Eiwit;
- Fijnchemicaliën uit hemicellulose en bulkchemicaliën (aromaten) uit lignine.

6.6.4 Veredeling

- De ontwikkeling van diploïde genotypen die via zaad kunnen worden vermeerderd (*M. sinensis*);
- Verhogen van gehalte aan vrije suikers, door kruisen met suikerriet;

- Verbeteren van de lignocellulose samenstelling om ontsluitbaarheid van fermenteerbare suikers te verbeteren (goedkope suiker voor 2de generatie ethanol en andere witte biotech producten);
- Verbeteren van de hoeveelheid, kwaliteit en extraheerbaarheid van eiwitten.

6.6.5 CO_2 besparing

- Areaal 1 miljoen ha (een klein deel van het areaal dat bedacht is voor energie gewassen in EU), waarvan 50,000 ha in Nederland; de rest in andere EU landen;
- Bij een opbrengst van 25 ton DS/ha/jaar (18MJ/kg) is de bruto energieopbrengst 450 GJ/ha/jaar (*bruto*), dus 450 PJ/jaar. De energie-input in *Miscanthus*teelt is heel laag, 10 GJ/ha/jaar. De netto energieopbrengst met 25 ton DS/ha/jaar is dus 440 GJ/ha/jaar. Lewandowski & Schmidt (2006)[10] laten zien dat bij de laagste stikstofgift in hun data de netto energieopbrengst van Miscanthus zelfs 590 GJ/ha per jaar is;
- De netto CO_2 besparing wordt geschat op 41 ton/ha (Sims et al, 2006)[11]. In totaal voor de 1 miljoen ha is de bruto CO_2 vastlegging 41 miljoen ton CO_2/jaar.

6.6.6 Kosten en baten van concept

Kosten: €3.5 miljoen euro voor veredelingsonderzoek ten behoeve van zaadvermeerdering en kwaliteitsverhoging.
Bij de analyse van het kosten/baten plaatje doen we alsof *Miscanthus* in zijn geheel voor energie wordt gebruikt. Energie is weliswaar de meest laagwaardige toepassing, maar voor de komende jaren vermoedelijk de belangrijkste drijvende factor achter het opzetten van *Miscanthus* teelt. In een daaropvolgend te ontwikkelen teeltconcept wordt Miscanthus ook ingezet voor meer hoogwaardige producten. In dit concept wordt *Miscanthus* twee maal per jaar geoogst. Door de (extra) oogst in juni, kan het gewas ook worden ingezet voor de winning van eiwit en suiker, waardoor de economische opbrengst van het gewas hoger zal zijn dan hieronder uitgewerkt voor energietoepassingen alleen.
Resultaat voor energietoepassingen: de geschatte bruto opbrengst voor de boer is, uitgaande van 25 ton/ha en een biomassaprijs van €4/GJ (dat is 50% van de elektriciteitsprijs: 8.3 €/GJ bij €0.03/kWh): 25 ton x 18 GJ/ton x 4€ /GJ=1800 €/ha. De teeltkosten worden geschat op eenmalig €2000/ha (jaar 1) en op €700-800/jaar voor de latere jaren. De jaarlijkse teeltkosten zijn hiermee iets lager dan voor maïs, dat elk jaar ingezaaid moet worden. De gemiddelde netto opbrengst over een teeltperiode van 10 jaar wordt hiermee €880/ha Bij een opbrengst van 30 ton biomassa is de netto opbrengst €1240/ha, hetgeen aanmerkelijk beter is dan voor tarweteelt. Bij 20 ton is de netto opbrengt €520/ha (zie ook Uellendahl et al. 2008)[12].
De omzet voor het vermeerderen van plantmateriaal is 1000 €/ha (2 ct/plant). Doel is om plantmateriaal te leveren voor productie van biomassa op 1 miljoen/ha in Europa met een groeicyclus van 10 jaar en de vermeerdering onder regie van NL bedrijfsleven te laten uitvoeren. De totale omzet uit alleen al plantvermeerdering wordt dan €100 miljoen per jaar.

---

[10] I. Lewandowski and U. Schmidt. 2006. Nitrogen, energy and land use efficiencies of miscanthus, reed canary grass and triticale as determined by the boundary line approach. Agriculture, Ecosystems & Environment. Volume 112, Issue 4, Pages 335-346

[11] Sims, R.E.H., Hastings, A., Schlamadinger, B., Taylor, G. & Smith, P. 2006. Energy crops: current status and future prospects. Global Change Biology 12, 2054-2076.

[12] H. Uellendahl, G. Wang, H. B. Møller, U. Jørgensen, I. V. Skiadas, H. N. Gavala and B. K. Ahring. 2008. Energy balance and cost-benefit analysis of biogas production from perennial energy crops pretreated by wet oxidation. Water Science & Technology—WST Vol 58 No 9 pp 1841–1847

6.6.7 Participatie van bedrijfsleven

Er is interesse onder andere van Veredeling (KWS, DLF-Trifolium, Limagrain), Agroprocessing (Cosun, Herbstreith & Fox), Chemie (Sabic, DSM) en Energie bedrijven (Eneco, Nuon, Shell, Exxon).

6.7 Concept 4: Oliegewassen als biobased grondstof voor chemie

6.7.1 Concept

- Productie van specialty vetzuren en plantenoliën voor toepassing in chemie;
- Gewassen: *Calendula* en *Crambe;*
- Target: 1000 kg olie/ha en 3000 kg eiwithoudend schroot/ha;
- Omvang markt: 100.000 ton olie (haalbaar in 5-10 jaar) volgens onderstaande tabel.





***Calendula* olie**:		Totaal > 20.000 ton waarvan:
	Calendulazuurhoudende olie:	10.000 ton
	Reactieve verdunner uit *Calendula*-olie:	10.000-20.000 ton
	Houtverduurzamer uit *Calendula*-olie:	10.000-20.000 ton
	* waarde *Calendula*-olie:	2,50-euro/kg
	* waarde derivaat van *Calendula*-olie:	4,00 euro/kg
***Crambe* olie:**	Erucazuurhoudende olie:	40.000 ton
	Nieuwe producten in *Crambe*-olie	
	* wasesters:	20.000 ton
	* goedkopere calendulazuurhoudende olie:	> 20.000 ton

- Bijproductwaarde (eiwithoudende zaadmeel): 0.15 euro/kg of 45 miljoen euro/jaar.
- Combinatie van bestaande producten op nieuwe markten en nieuwe producten op bestaande markten;
- Marktopbouw calendulazuurtoepassingen op basis van klassieke veredeling, met *Calendula*, marktuitbouw op langere termijn met gewas met hogere olieopbrengst per ha: *Crambe* met calendulazuur en wasesters;
- Totale waarde keten: olie + zaadmeel = 445 miljoen euro.

6.7.2 CO_2-besparing

- Directe besparing door vervanging fossiele grondstof door plantenolie: 70 GJ/ha;
- Extra besparing omdat plantenolie gebaseerde chemie minder energie kost per eenheid eindproduct (bij fossiel vaak 3x zoveel energie nodig als in eindproduct is vastgelegd): potentieel additioneel dus nog eens 70 GJ/ha/;
- Totaal voor gehele concept: 140 GJ/ha x 100.000 ha/jaar = 14 PJ of 720.000 ton CO_2 eq direct en 1.4 miljoen ton CO_2 eq./jaar inclusief besparing op energie voor processing.

6.7.3 Extra omzet door concept

1. Primaire productie in buitenland (boer daar ontvangt concurrerende prijs van tenminste 500 euro/ha);
2. Olie-extractie waarschijnlijk in buitenland (vanwege logistieke kosten zaadtransport);
3. Procesindustrie in Nederland, vermarkting vanuit Nederland;
4. Totale waarde keten 445 miljoen/jaar, waarvan ongeveer 50 % in NL.

6.7.4 Veredelingsuitdagingen en kosten/baten analyse

Bottleneck: verbeterde oliesamenstelling en nieuwe plantenoliën, met ondermeer moleculaire mutatieveredeling voor lagere kostprijs, betere processing kwaliteit en verandering van oliesamenstelling.
Kosten: 2.5 miljoen euro in 5 jaar.
Resultaat: nieuwe rassen van *Calendula* met hoger oliegehalte, betere zaadvorm en hoger calendulazuurgehalte (kostprijs dan zodanig dat marges zeer goed zijn); nieuwe rassen van *Crambe* met hogere olieopbrengst, betere oliesamenstelling, nieuwe oliekwaliteiten en betere kwaliteit van zaadmeel (bijv. betere voederwaarde, en dus hogere waarde).

6.7.5 Participatie bedrijfsleven

Calendula Oil BV, Uniqema/Croda, Akzo, DSM Resins; bijdrage 1.25 miljoen in 5 jaar (dus 250.000 euro/jaar).

6.8 Concept 5: Nieuwe grassen voor grasbioraffinage (GB)

6.8.1 Concept

Er is in NL 1 miljoen ha grasland dat nauwelijks voor andere gewassen gebruikt kan worden en vooral wordt begraasd. Gezien het grote oppervlak ligt hier een groot CO_2 besparingspotentieel. Het huidige graslandareaal in NL heeft opbrengst van 8 ton droge stof/ha/jaar. Met grasbioraffinage (GB) is een verdubbeling van de grasproductie naar 16 ton droge stof/ha/jaar mogelijk, met een totaal nieuw productiesysteem: geen begrazing door vee, en minder oogstmomenten (3-4 in plaats van 5-6 maal). De langere perioden tussen oogsten leiden tot een veel hogere productiviteit.

Het grasproduct wordt geraffineerd in: 1) vezels, 2) droog hoogwaardig eiwit, 3) grassap met peptiden, aminozuren en suikers. Zie de tabel hieronder voor opbrengsten in twee scenario's (huidige technologie GB en toekomstige met verbeterde rassen, agronomie en technologie).

Productiviteit, financiële opbrengst, CO_2-emissie reductie, per jaar en per 100.000 hectare

Scenario's	Grasop-brengst, t/ha	Bruto opbrengst van melk en bioraffinage -producten, €/ha	Extra Bruto per 100.000 ha (miljoen €)	CO_2-eq emissie reductie (Mton)	Winstgevende investering in GB
(0) Alleen zuivel/vlees	8	3900	0	0	Marge onder druk
(1) Huidige technologie grasbioraffinage	10	4200	30	0.3	Marge als processing en investeringskosten lager zijn dan 140 euro/ton
(2) GB toekomst (betere rassen, betere agronomie en betere processing)	16	6224	230	1.2	Marge bij processing en investeringskosten lager dan 288 euro/ton

In het concept wordt uiteindelijk de volledige 16 ton/ha gras door GB verwerkt. Gemiddeld de helft van de biomassa (8 ton/ha) wordt gebruikt om de bestaande NL rundveestapel te voeden en de andere helft blijft over als extra grondstoffen voor de biobased economy (vezels voor paper, karton of isolatiemateriaal, eiwit voor hoogwaardige food en feed ingrediënten of voor industriële toepassingen, grassap voor witte biotechnologie, lignocellulose voor biogas of ethanol e.d.).

6.8.2 Veredelingsuitdaging

Om grassen aan te passen voor dit nieuwe concept zijn nieuwe grasrassen nodig met de volgende eigenschappen:

- hogere productie per hectare en hogere persistentie bij maaien in plaats van beweiden;
- hoger eiwitgehalte dan nu haalbaar is bij minder oogstmomenten (zware snedes). Eén oplossingsrichting voorziet in 'stay green' grassen, die in tegenstelling tot gangbare rassen het eiwit in de onderste bladeren niet afbreken, waardoor meer eiwit geoogst wordt;
- betere vezels bij zware snedes.

6.8.3 CO_2-besparing

Doel is om te beginnen met 100.000 ha, met een extra CO_2 mitigatie potentieel van 1.2 miljoen ton CO_2. Uiteindelijk kan 750.000 ha grasland in NL volgens dit concept verwerkt worden met een totaal CO_2 mitigatie potentieel van 9 miljoen ton CO_2/jaar: 4.5% van de totale NL CO_2 emissie. Nog extra CO_2-emissiereductie is mogelijk als een deel van de stikstofbehoefte via stikstoffixatie door vlinderbloemigen (witte en rode klaver) gedekt wordt in nieuwe gras/klavercombinaties.

6.8.4 Extra omzet door concept

Extra omzet in biobased grondstoffen per 100.000 ha: 30 miljoen euro per jaar in scenario 1 (zie tabel) en 230 miljoen euro in scenario 2; in maximale scenario in NL (750.000 ha) dus 225 miljoen euro per jaar in scenario 1 en 1.8 miljard euro in scenario 2 (met verbeterde rassen en verbeterde technologie).

6.8.5 Kosten/baten analyse

Kosten: 2.5 miljoen euro in 5 jaar (voor veredelingsonderzoek, een aparte business case is beschikbaar voor investeringen in de bioraffinagefaciliteiten zelf).
Resultaat: nieuwe grasrassen die mogelijk maken dat 30 tot 230 miljoen extra waarde wordt gecreëerd per 100.000 ha.

6.8.6 Participatie bedrijfsleven

Courage, bioraffinage-consortium in Friesland, PROGRAS-consortium (met ondermeer AVEBE), DLF-Trifolium, Provincies Gelderland en Brabant (al bezig met GB).

6.9 Concept 6: Europese gewassen als nieuwe bron van natuurrubber

6.9.1 Concept

Natuurrubber voor de productie van autobanden, bouwmaterialen, medicinale handschoenen en andere artikelen (totaal 40.000 toepassingen) wordt voor vrijwel 100% gewonnen uit latex van de rubberboom (*Hevea brasiliensis*). Deze boom wordt hoofdzakelijk in Zuidoost Azië geteeld. De genetische diversiteit (voor bijvoorbeeld ziekteresistenties) is zeer smal, waardoor de teelt kwetsbaar is voor ziekten of zelfs ontvankelijk is voor totale vernietiging. Zo is *Hevea brasiliensis* in het oorspronkelijke productieland Brazilië getroffen door misoogsten ten gevolge van infectie met *Microcyclus ulei* (Zuid-Amerikaanse bladvalziekte). Deze ziekte heeft ervoor gezorgd dat Brazilie nooit heeft kunnen uitgroeien tot een belangrijke rubberproducent, ondanks pogingen hiertoe door Goodyear, Firestone Rubber Companies en Henry Ford aan het begin van 1900.



Natuurrubber is van strategisch belang in het bijzonder voor de transportsector. Natuurrubber kan namelijk niet volledig vervangen worden door synthetische rubbers, omdat de kwaliteit onvoldoende hoog is voor zware toepassingen. Verder wordt er een sterke toename in de natuurrubberbehoefte en -prijs verwacht als gevolg van een snel toenemend autogebruik en China en India. Er is dus behoefte aan andere bronnen van natuurrubber die kunnen groeien in Europa. Er zijn twee planten die hiervoor in aanmerking komen: Guayule (*Parthenium argentatum*) die op kleine schaal wordt geproduceerd in de US (Yulex), hoewel de productie vooral is gericht op laag allergene natuurrubberproducten. Aan Guayule is in enige mate rassenonderzoek en technologieontwikkeling gedaan. Het tweede gewas is de Russische paardenbloem (*Taraxacum koksaghyz*) die inheems is in het middelgebergte van Zuidoost Kazakhstan. In WO-II heeft Rusland deze rubber gebruikt voor de productie van banden voor legervoertuigen. Guayule is vooral geschikt voor teelt in mediterrane en woestijnachtige klimaten, terwijl *T. koksaghyz* uitstekend geschikt is voor teelt in Noordwest Europa. Naast rubber bevat *T. koksaghyz* in zijn penwortels een aanzienlijke hoeveelheid inuline. Inuline kan wordt gebruikt in voedsel, zoals wordt gedaan voor inuline dat wordt gewonnen uit de aan paardenbloem verwante cichorei. Inuline is ook een bron voor fructose, dat met hoge conversie-efficiency kan worden omgezet in furaangebaseerde chemicaliën.



Een tweede product van guayule is een resinachtig product met toepassingen in chemie en verf- en inktindustrie. Daarnaast geldt voor beide gewassen dat een aanzienlijke hoeveelheid waardevolle biomassa overblijft na de extractie van de meest waardevolle componenten, waardoor een bioraffinageconcept extra waarde kan geven.

6.9.2 CO_2-besparing

De geschatte opbrengst van geoptimaliseerde rubbergewassen zal ca 45 ton versgewicht/ha (11-12 ton DS/ha) bedragen. Bij deze biomassa-opbrengst is de geschatte CO_2-fixatie ca 18 ton/ha. Bij een totaal geschat areaal van 100.000 ha waarvan 10.000 ha in Nederland en 90.000 ha in andere landen betekent dat een CO_2 mitigatiepotentieel van 1.8 miljoen ton CO_2/jaar. De Europese consumptie is ongeveer 1.5 miljoen ton, wat overeenkomt met 1 miljoen ha van deze geoptimaliseerde paardenbloem. Wanneer de rest van de biomassa wordt gebruikt voor ethanolproductie kan ongeveer 3.5 miljoen ton bio-ethanol worden geproduceerd, equivalent met de energieinhoud van 1.5% van de totale Europese benzineconsumptie.

6.9.3 Omzet uit concept

De mondiale markt voor natuurrubber is 10 miljoen ton (2008). De waarde van natuurrubber varieerde de afgelopen 10 jaar van €1-2/kg (we gaan uit van gemiddeld €1500 per ton). Europa gebruikt ongeveer 1.5 miljoen ton natuurrubber (2008). Uitgaande van het perspectief dat de Russische paardenbloem kan worden ontwikkeld tot een gewas met een productiepotentieel dat vergelijkbaar is met dat van cichorei (nu gemiddeld 45 ton versgewicht wortels/ha), en dat de rubberopbrengst kan oplopen tot 1500 kg/ha, is de bruto opbrengst in potentie €2250/ha. Daarnaast zou het gewas bij deze wortelopbrengst 7 ton inuline opleveren en 3 ton DS andere biomassa (pulp), waarbij de inuline kan worden gebruikt voor productie van furaanchemicaliën of 1ste generatie bioethanol en de resterende biomassa voor biogas of 2de generatie bio-ethanol. Bij conversie in energie of chemiegrondstoffen is de waarde van de inuline €100/ton. De waarde van de pulp wordt geschat of €80/ton DS waarmee de totale bruto opbrengst voor de Russische paardenbloem komt op €3250 (ter vergelijking: voor biet is de bruto opbrenst nu ongeveer €5000/ha).
Er zijn geen redenen om aan te nemen dat paardenbloem op termijn niet een opbrengst kan halen die gelijk is aan bijvoorbeeld suikerbiet, waarmee de bruto-opbrengst op €4300 kan uitkomen. Russische paardenbloem is een goed voorbeeld van een potentieel biobased gewas. In vergelijking met suikerbiet maakt de Russische paardenbloem een natuurlijke chemiegrondstof (natuurrubber) met een hoge waarde (>1€/kg) en een groot strategisch belang. De rest van de paardebloembiomassa bestaat voor een aanzienlijk deel uit inuline, dat zeer makkelijk naar ethanol kan worden gefermenteerd, of uitstekend geschikt is voor de productie van furaangebaseerde chemicaliën. De potentie van dit gewas is dus groot, hoewel er nog een lange veredelingsweg te gaan is.

Guayule kan als meerjarig gewas geteeld worden met jaarlijkse oogsten tot 15 ton DS per hectare. Hiermee kan door veredeling richting een rubbergehalte van 12%, 1.8 ton rubber/ha/jaar verkregen worden (t.o.v. huidige schattingen van 1 ton/ha) en 1 ton/ha/jaar resin. De brutoproductiewaarde van de rubber wordt dan €2700/ha, de van resin €1000/ha (€1000/ton) en van de overige biomassa €500/ha (€40/ton), samen totaal €4200/ha. Nederland kan een belangrijke rol spelen in de ontwikkeling van uitgangsmateriaal van guayule en daarmee een sleutelrol in de ketenregie van deze alternatieve rubberbron verkrijgen. Daarnaast kan Nederland scheidings- en bioraffinagetechnologie inzetten voor het verwerken van guayule grondstof en een rol spelen in de verdere productie van rubberproducten.

6.9.4 Veredelingsuitdagingen

T. koksaghyz

- *T. koksaghyz* is op dit moment een wild gewas. De kwaliteit van de rubber is net zo goed als die van de rubberboom, maar de opbrengst, die nu wordt geschat op 3-600 kg/ha, moet aanmerkelijk beter. Hiervoor zijn twee routes:

  - Verhogen van de wortelopbrengst (van pink- naar vuistdik),
  - Verhogen van de rubberopbrengst (van 3-4% naar 12% van DS opbrengst),
- Daarnaast is het voor de teelt in Noord-West-Europa de noodzaak om herbicide resistentie in te kruisen om competitie met de inheemse paardebloem (*T. officinale*) en andere onkruiden aan te kunnen en teeltkosten laag te houden;
- *T. koksaghyz* is een diploide, zelfincompatibele plantensoort waarvan in het oorsprongsgebied een grote genetische variatie aanwezig is. Dit zijn vrijwel allemaal hybriden, afkomstig van genetisch sterk verschillende ouders. Vanwege de zelfincompatibiliteit zal het een uitdaging zijn om van deze plantensoort homogene populaties te verkrijgen. Verschillende veredelingsstrategieën staan daarom ter beschikking, zoals vegetatieve vermeerdering of inkruisen van de mogelijkheid om de zelf-incompatibiliteit te omzeilen en zodoende vermeerdering via zaad mogelijk te maken.

Guayule
In de Verenigde Staten is een uitgebreide collectie van guayule lijnen getest. Vele daarvan zijn via USDA beschikbaar voor verdere veredeling van voor Europa aangepaste rassen.
Op dit moment wordt een 30-tal lijnen in Europa getest (in Frankrijk in samenwerking met CIRAD en in Spanje onder verantwoordelijkheid van Plant Research International).
Veredelingsuitdagingen:
- Verhogen van stengel en wortelopbrengst;
- Verhogen van latex/rubbergehalte (van de huidige 5-7% naar 12 % van de drogestofopbrengst);
- Verbetering van veredelingsmethoden (meer controle over sexuele of asexuele vermeerdering; ontwikkeling van versnelde selectiemethoden met moleculaire merkers).

6.9.5 Participatie bedrijfsleven

Rubberproductie in Russische paardenbloem en guayule wordt ontwikkeld in het 4-jarige 7e kaderproject EU pearls (http://www.eu-pearls.eu/UK/). Het project loopt tot mei 2012. Een aantal Nederlands partners zijn betrokken bij dit project, waaronder Keygene, Vredestein en Stramproy Contracting. Er zijn verder gesprekken gaande met een aantal nieuwe bedrijven en investeerders die zijn geïnteresseerd in samenwerking.

6.10 Concept 7: Bioraffinage van maïsstro voor voerders, biobrandstoffen en bio-chemicaliën

6.10.1 Concept

In Nederland beslaat het areaal maïs ongeveer 250 000 ha, waarvan het overgrote deel voor de teelt van snijmaïs. Het gewas wordt bijna volledig gebruikt als voer voor rundvee. Een klein deel wordt gebruikt voor als voer voor varkens, waarbij alleen de kolffractie wordt gebruikt. Het restant, de strofractie is weinig geschikt als voedermiddel. Het idee is daarom op basis van deze fractie een bioraffinageketen op te zetten voor de productie van energie en bio-chemicaliën.



Voor de voeding van varkens wordt op dit moment nog erg veel krachtvoer gebruikt dat veelal wordt geïmporteerd. De duurzaamheid van de varkenshouderij in Nederland kan door het gebruik van lokaal geproduceerde voeders aanmerkelijk verbeted worden. Alternatieve producten van eigen bodem zijn natte korrelmaïs en corncobmix (CCM); producten welke respectievelijk bestaan uit korrel- en kolffractie van een maïsgewas.
In deze case stellen wij voor mais een dual purpose aanpak: de kolffractie wordt gebruikt als energierijk voedermiddel voor de varkenshouderij en de strofractie als grondstof voor eiwit en fermenteerbare suikers. Door bioraffinage wordt de strofractie gescheiden in een perssapfractie met daarin eiwitten en oplosbare suikers, en een perskoekfractie met voornamelijk celwanden.
Het voorgestelde bioraffinageconcept voor maïs behelst voor Nederland het vergroten van het maïsareaal met 100.000 ha en voor Europa een toename van het totale areaal met 500.000 ha.

6.10.2 Producten uit maïsstro

- Bioethanol en biogas;
- Eiwit;
- Biomaterialen (vezels, bouwmaterialen, composieten);
- Fijnchemicaliën uit hemicellulose en bulkchemicaliën (aromaten) uit lignine.

6.10.3 Veredelingsuitdagingen

- Verbeteren van de lignocellulosesamenstelling om de ontsluiting van fermenteerbare suikers te verbeteren om goedkope suikers te kunnen leveren voor de productie van 2de generatie ethanol en andere industriele biotechnologie-producten;
- Verbeteren van de hoeveelheid, kwaliteit en extraheerbaarheid van eiwitten;
- Optimalisatie van opbrengst en kwaliteit van zetmelen.

6.10.4 CO_2 besparing

- Bij een opbrengst van 16 ton DS/ha/jaar (18MJ/kg) is de bruto energieopbrengst 300 GJ/ha/jaar (*bruto*), dus een extra 30 PJ/jaar in Nederland en 150 PJ/jaar in Europa.

- De netto CO_2 besparing wordt geschat op 27 ton/ha. In totaal voor de extra 100.000 ha is de bruto CO_2 vastlegging 2,7 miljoen ton CO_2/jaar, en voor de totale 500.000 ha in Europa 13,5 miljoen ton CO_2/jaar.

6.10.5 Kosten en baten van concept

Kosten: €3 miljoen euro in 5 jaar voor veredelingsonderzoek ten behoeve van optimaliseren van dual purpose maïs voor productie van CCM maïs of natte korrelmaïs en stro voor bioraffinage.
Resultaat: Identificatie van rassen die geschikt zijn voor dual purpose toepassingen en als startmateriaal voor verdere veredeling.

6.10.6 Participatie van bedrijfsleven

Er is interesse onder andere van veredelingsbedrijven (Limagrain, KWS, DLF-Trifolium,) en bedrijven werken op terreinen als Agroprocessing (Genencor, Novozymes, Imenz, Cosun, Herbstreith & Fox), Chemie (Sabic, DSM) en energievoorziening (Eneco, Nuon, Shell, Exxon).

6.11 Concept 8: Microalgen voor chemie

6.11.1 Inleiding

Er zijn nog geen succesvolle biobased productieketens die beginnen bij algen. Vanwege een aantal unieke eigenschappen is er groot positief gevoel over algen, maar er zijn ook flinke uitdagingen te nemen. Veredeling van algen is bijvoorbeeld nog nauwelijks ontwikkeld. Veredeling begint altijd met de keus van een mogelijk succesvol productieconcept, een bijbehorend organisme en een ontwikkelrichting, maar voor algen zijn deze keuzes nog onvoldoende gemaakt. Voor de uitwerking van de business concepten voor microalgen[13] wordt hier daarom iets meer aandacht besteed aan het verstrekken van achtergrondinformatie dan is gebeurd bij de gewasgebaseerde business concepten.

De groep algen omvat tienduizenden soorten en er zijn diverse teeltconcepten mogelijk, waaronder open *vs.* gesloten, autotroof *vs.* heterotroof, kunstlicht *vs.* zonlicht. Het is lastig om op dit moment een gewogen keus te maken voor een alg-teeltsysteem-product combinatie: en zijn teveel productieopties, terwijl een aantal opties nog in de onderzoeksfase zijn. Tot dusver lijken alleen productieconcepten die zijn gericht op hoogwaardige inhoudsstoffen, zoals voedingsupplementen, gezondheidsingrediënten en biotechnologieproducten, commercieel valide. Geen enkele optie lijkt tot dusver een economisch duurzaam biobased productieconcept op te leveren. Dit laatste heeft te maken met het gegeven dat de microalgenteelten nog steeds gebruik maakt van wilde, onveredelde algen en dat de kosten voor teelt, oogsten en verwerking van algen hoger zijn dan voor landplanten. Afgemeten aan de vooruitgang die tot dusver is gerealiseerd in de veredeling van land- en tuinbouwgewassen, moet het nog onontsloten potentieel voor verbetering in opbrengst en kwaliteit van algen aanzienlijk zijn.

Recente publicaties[14, 15, 15, 16, 17, 18] hanteren de opvatting dat de potentie die algen hebben als leverancier van brandstof- of chemiegrondstoffen vooral is gebaseerd op vier kenmerken van algen: 1) hun potentieel hoge productiviteit onder andere door hogere efficiëntie van fotosynthese en een hogere oogst-index[19]; 2) het vermogen om bepaalde moleculen (olie, eiwit, koolwaterstoffen) als hoofdcomponent te produceren; 3) het vermogen om waardevolle nutriënten (P en N) te herwinnen; 4) de mogelijkheid om biomassa te produceren waar landplanten niet (goed) kunnen groeien. Dit laatste aspect biedt mogelijkheden voor biobased productiesystemen die niet in competitie treden met voedselproductie om limiterende resources als land en water.
De hoge verwachtingen ten aanzien algen zijn voor een deel gebaseerd op schattingen van productieniveaus, die zijn ontstaan door productiecijfers uit een laboratoriumomgeving te vertalen naar een praktijksituatie. In deze visie gaan we uit van de conservatieve schatting dat het maximale productiepotentieel van algen vergelijkbaar, of op zijn hoogst 1.5-2 maal zo hoog is dan van de best producerende landplanten (suikerbiet, suikerriet en maïs). Verder gaan we ervan uit dat algen moeten worden ingezet voor datgene waar ze goed in zijn: productie van olie, koolwaterstoffen en eiwit.

Twee componenten zijn essentieel voor succesvolle productieconcepten met microalgen: 1) de keuze van de juiste soort en 2) de keuze van het juiste teeltconcept. De meest belangrijke criteria voor het kiezen van een veelbelovende *algensoort*, is het vermogen van de alg om de juiste inhoudsstoffen te

13 In dit rapport worden macrowieren buiten beschouwing gelaten. De reden is dat macrowieren slechts kleine hoeveelheden olie produceren, waardoor aansluiting met de behoefte aan energie en chemiegrondstoffen lastig is. Uiteraard is het mogelijk om macrowieren grootschalig te vergisten tot methaan, maar de opties voor productie van wieren met het oog op deze toepassing zijn voldoende geadresseerd in Florentius et al17.
14 Muylaert K. (2009) Inventarisatie aquatische biomassa. Rapport in opdracht van MinEZ, NL
15 Van Iersel S, et al (2009). Algae-based biofuels, a review of challenges and opportunities for developing countries. Ecofys, GBEP and FAO report.
16 Wijffels R (2007). Potential of Sponges and microalgae for marine biotechnologie. Trends in Biotechnol. 26: 27-32
17 Florentinus A, Hamelinck C, de Lint S, Van Iersel S (2008). Worldwide potential of aquatic biomass. Ecofys rapport in opdracht van VROM
18 Uit: Catie Ryan (2009). Cultivating Clean Energy, The Promise of Algae Biofuels, Terrapin Bright Green, LLC http://www.nrdc.org/energy/files/cultivating.pdf
19 Het deel van de biomassa dat ook daadwerkelijk geoogst kan worden.

produceren (olie of bulkchemicaliën), en het vermogen van NL kennispartijen om het kennis- en IP-niveau snel te verhogen. De meest belangrijke criteria voor het kiezen van een goed *teeltconcept* is de mogelijkheid tot teelt in NL - gezien de energie en CO_2 doelstellingen bij voorkeur grootschalige teelt -, beheersbaarheid van de teelt, en de kans op een teeltconcept dat maximale waarde levert bij minimale teeltkosten. In deze algen business case worden twee concepten gekozen. Eén concept is gericht op de ontwikkeling van een microalg voor productie van hoogwaardige brandstoffen en bioplastics (6.11.2). Op termijn moet dit een productieconcept opleveren dat vergelijkbaar is met de huidige industriële biotechnologie: hoogtechnologische, gesloten en relatief grootschalige productie van grondstoffen voor energie (ethanol) en chemie (1,3-propaandiol, melkzuur, etc.). Het tweede concept (6.12) is gericht op de ontwikkeling van een concept voor open teelt dat is bedoeld voor zeer grootschalige CO_2 fixatie en productie van grondstoffen voor energie, chemie, food en feed.

6.11.2 Concept microalgen voor chemie

Het belangrijkste criterium voor de keus van een geschikte alg is de inhoudstof. De inhoudstof moet als hoofdproduct voorkomen, en de inhoudstof moet kunnen worden gebruikt als energie- of chemiegrondstof. Daarbij moet de kans groot zijn dat NL snel een unieke kennispositie kan opbouwen en moet er een gerede kans zijn op de ontwikkeling van IP.
Wat betreft inhoudsstoffen vallen algen uiteen in drie groepen: olie, koolhydraat (bijv. zetmeel) of koolwaterstof[20] producerende algen. Meest veelbelovend binnen deze groepen zijn de koolwaterstof producerende microalgen, omdat koolwaterstoffen de beste aansluiting geven met hoogwaardige brandstoffen (bijv. jetfuels) en bulkchemicaliën. De belangrijkste representant van deze groep is *Botryococcus braunii.* Deze alg is in een recent rapport van voor de FAO door Ecofys genoemd als veelbelovend[15].

[20] Koolwaterstoffen zijn moleculen die voornamelijk uit de elementen C en H bestaand. Als voorbeeld, ruwe olie of benzine bestaat voornamelijk uit koolwaterstoffen.

Box 1. Hydrocarbon producing *Botryococcus braunii*



Botryococcus braunii is one of the most intriguing algal species, because *Botryococcus* is one of the very few living organisms that can produce hydrocarbons (C_nH_{2n}). B. braunii can accumulate hydrocarbons up to 15 to 75% of its DW, which is conspicuously higher than that commonly observed in other unicellular algae. Next to B. braunii, the only other hydrocarbon rich algae known at the present time is the halophilic species *Dunaliella salina*, which accumulates catotenoids (used as colourants). *B. braunii* is widespread in freshwater and brackish lakes and quite resistant to stress conditions.

The hydrocarbons produced by *B. braunii* are largely (up to 95%) located in the outer wall of the cell, which cell wall matrix act as a sponge for the accumulation of hydrocarbons. These hydrocarbons can easily be extracted from the algal cell wall by hexane extraction, without impairing cell viability, either after several extractions. Since the *B. braunii* hydrocarbons are highly reduced compounds comprising only carbon and hydrogen as elements, these hexane soluble hydrocarbons are very well suited to be converted into useful fuels such as gasoline by catalytic cracking. Therefore *B. braunii* is identified as interesting but still untapped resource for production of hydrocarbons. Successful use of this organism as an alternative source of energy depends on its growth rate, hydrocarbon productivity and their fuel efficiency.

An intriguing trait of *B. braunii* is that in natural environments the alga can bloom, thus forming hydrocarbon rich slabs covering lakes and lakeshores. However, none of the strains tested so far, have shown this ability under cultivated conditions. Growth is generally very slow, at maximum 1 division in 3 days, while other rapid growing green alga can multiply 3-4 times a day. Therefore increasing B. braunii growth rate in terms of biomass yields is a potential research goal.

B. braunii is classified into A, B and L races depending on the type of hydrocarbons synthesized. Race-A produces C23–C33 odd numbered n-alkadienes, mono-, tri-, tetra-, and pentaenes, which are derived from fatty acids. These linear olefins can constitute up to 61% of the dry cell mass of the green active state colonies. The L race produces a single tetraterpene hydrocarbon known as lycopadiene ($C_{40}H_{78}$) and it constitutes up to 2–8% of the dry biomass. The B race produces polyunsaturated and branched C30–C37 terpenoid hydrocarbons referred to as polymethylated botryococcenes. These compounds are promising as a renewable energy source as they accumulate to very high levels (26–86% on dry weight) in B. braunii. Different hydrocarbons, for example the three types of hydrocarbons present as main component in the three different B braunii species, can be used for different applications, not only as pure fuel but also as fuel extender, or as building block for polymers. Having different strains each producing different hydrocarbons to high purity would be highly preferable to prevent down stream purification and allow controlled polymerization into a range of polymers.

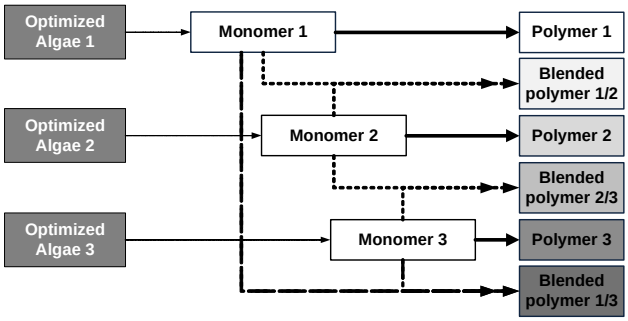
Tekst uit een Europees onderzoeksvoorstel dat is ingediend voor de joined biorefinery call 2009, maar niet gehonoreerd.

Botryococcus vertegenwoordigt een unieke groep microalgen die in staat zijn om koolwaterstoffen op te hopen, onder sommige omstandigheden tot 80% van hun drooggewicht. In de literatuur wordt wel gesuggereerd dat deze alg de koolwaterstoffen heeft geleverd voor de depositie en vorming van ruwe olie in een aantal olievelden.

Binnen het geslacht *Botryococcus* zijn drie varianten of soorten: A, B en L-race. Deze rassen maken verschillende koolwaterstoffen (zie kader).

Alle drie de subsoorten hebben gemeen dat de synthese van de koolwaterstoffen (monomeren) plaatsvindt in de algencel, en dat ze na synthese worden uitgescheiden. Buiten de cel kunnen de koolwaterstoffen polymeriseren tot een sponsachtige bioplastic celwand. In de sponsachtige celwand kunnen weer nieuwe monomere koolwaterstoffen worden opgehoopt. De koolwaterstoffen bevinden zich dus voor een groot deel buiten de alg in de celwand. Dit biedt weer mogelijkheden voor "melken": een nieuwe manier van inhoudsstoffen extraheren/oogsten zonder de levende alg te oogsten.
Deze observatie dat de celwand een natuurlijke plastic is, biedt aanknopingspunten voor de ontwikkeling van een concept waarbij de alg *Botryococcus* kan worden gebruikt voor de productie van monomeren voor polymere kunststoffen. In dit concept worden verschillende *Botryococcus* algen geselecteerd of veredeld die afzonderlijk in staat zijn tot de synthese van één van de reactieve monomeren. Na extractie en refining kunnen deze monomeren worden gebruikt voor de productie van allerlei verschillende polymeren. Bijvoorbeeld, ras 1 maakt monomeer type 1, ras 2 maakt monomeer type 2. Extractie van deze afzonderlijke algen leidt tot verschillende monomeren. Door mengen in verschillende combinaties kan een palet aan nieuwe biopolymeren worden geproduceerd volgens Figuur 1.

Figuur 1. Concept voor de productie van een range van unieke polymeren gebruikt maken van een of meerdere van de drie verschillende monomeren uit drie afzonderlijke *Botryococcus* herkomsten.



6.11.3 Veredelingsuitdagingen

Doel 1 is het ontwikkelen van verschillende stammen die de verschillende koolwaterstofmonomeren in een redelijke mate van zuiverheid kunnen produceren. Hiermee kan dan een nieuwe generatie biopolymeren worden ontwikkeld met weer heel andere eigenschappen dan de reeds bestaande biopolymeren (bijvoorbeeld op basis van zetmeel of melkzuur). Het best passende teeltconcept voor deze alg en deze moleculen is waarschijnlijk gecontroleerde teelt in gesloten fermentoren (vergelijkbaar met bioethanol productie met gist). Doel 2 is het verhogen van de groeisnelheid van deze microalg.

Om dit productieconcept mogelijk te maken is kennis nodig over de genetica en veredeling van deze alg. Deze kennis op dit moment volledig afwezig. Noodzakelijke en fundamentele kennisrichtingen zijn daarom het verkrijgen van inzicht in het metabolisme van de verschillende koolwaterstoffen, het koppelen van metabolisme en genetica, en het ontwikkelen van veredelingsmethoden, waaronder een transformatiemethode.

6.11.4 Participatie bedrijfsleven

De belangstelling van NL bedrijven is nog lastig in te schatten. Mogelijke belanghebbenden zijn de polymeerchemie en Industriële Biotechnologie.

6.12 Concept 9: Microalgenproductie op zee

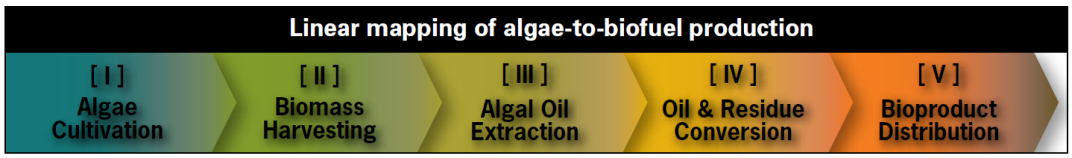
6.12.1 Concept

Het doel is om te komen tot een productieconcept dat het mogelijk maakt om grootschalig industriële CO_2 vast te leggen. De belangrijkste criteria voor de ontwikkeling zulk een productieconcept zijn de geschatte bijdragen aan de energie en CO_2 verplichtingen van de NL overheid, de mogelijkheid om het concept te gebruiken als exportproduct, controle over en beheersbaarheid van de algenteelt, en de kans dat het teeltconcept maximale waarde levert voor minimale teeltkosten.

Voor de gedachtevorming wordt uitgegaan van een scenario waarbij 30 miljoen ton CO_2, overeenkomend met CO_2 productie van haven Rotterdam, moet worden vastgelegd. Bij een productie van 25 ton droge algenbiomassa per ha (met een oliegehalte van 30%), wordt dan ongeveer 45 ton CO_2 per ha vastgelegd. Om 30 miljoen ton CO_2 met algen vast te leggen is 670.000 ha (6700 km^2) algen nodig.

Deze berekening maakt duidelijk dat:

- als het doel is om een significante bijdrage te leveren aan de NL CO_2 reductie doelstellingen, het nodig is om de aandacht te richten op de ontwikkeling van productiesystemen *naast* het land. Om het benodigde oppervlakte weer zo klein mogelijk te houden, is het noodzakelijk om een maximum aan algenproductie per eenheid van oppervlak te realiseren. Dit betekend in ieder geval dat het algencultuursysteem optimaal gevoed moet worden met CO_2 en nutriënten, net zoals in de land- en tuinbouw;
- het gaat om grote teeltoppervlakten, wat inhoudt dat het ook gaat om het net als voor landbouw, ontwerpen en vestigen van een volledig nieuwe industrie op basis van de meest voorkomende algenproducten: olie, eiwit en celwanden (afhankelijk van de alg: cellulose of silicaten);
- innovatieve oplossingen nodig zijn op velerlei gebieden, zoals bij de teelt, verwerking en vermarkting van algen. Een voorbeeld van een algen-biofuel keten is weergegeven in de figuur hieronder[21] Als wordt uitgegaan van een min of meer open teeltsysteem, wat onvermijdelijk is bij een dergelijk omvang, dan zitten de grootste kostenposten bij het oogsten [II], concentreren en ontwateren van algen [tussen II-III], en het winnen van olie [III] en eiwit [IV] uit de algen;



- de ontwikkeling van een productieconcept moet daarom vooreerst gericht moet zijn op het oplossen van het grootste probleem: hoge kosten voor het oogsten van algen en het winnen van haar producten olie en eiwit.

6.12.2 Een mogelijke oplossing en kansen voor kennisontwikkeling

Een mogelijk concept waarbij de grootse kostenposten in algenteelt, oogsten en concentreren sterk kunnen worden teruggebracht is recent door enkele medewerkers van WUR geïdentificeerd. Het concept is relatief eenvoudig en kan in een veelheid van teeltomgevingen (zoet-zout, gematigd-tropisch) worden toegepast. Om die reden is besloten om eerst te onderzoeken of het concept te patenteren is, en bij een positief antwoord ook daadwerkelijk een patentaanvraag in te dienen. Rond dit concept kan vervolgens een NL productiesysteem voor microalgenteelt op grote schaal worden ontworpen.

---

[21] Uit: Catie Ryan (2009). Cultivating Clean Energy, The Promise of Algae Biofuels, Terrapin Bright Green, LLC http://www.nrdc.org/energy/files/cultivating.pdf

6.12.3 Stappenplan

1. Patentsearch (kosten WUR, begin 2010);
2. Octrooi aanvragen (kosten WUR, eerst kwartaal 2010);
3. Concept toetsen met stakeholders (actie LNV, EZ en WUR);
4. Financiering aanvragen;
5. Projectteam vormen en concept theoretisch uitwerken, inclusief benodigde investeringen, micro en macro-economische analyse;
6. Demo op kleine schaal in faciliteiten in oprichting (bijvoorbeeld LG Parc);
7. Demo op grote(re) schaal (tientallen hectares).

6.12.4 Participatie bedrijfsleven

Het concept biedt de mogelijkheid voor zeer grootschalige productie van hoogwaardige olie (voor brandstof, als chemiegrondstof en/of voor visteelt) en hoogwaardig eiwit (voor feed en food). Een andere markt is terugwinning van mineralen (bijvoorbeeld fosfaat) en productie van meststoffen. Analoog aan de bestaande agroproductiesystematiek, waarbij plantaardige reststromen de basis vormen voor grootschalige dierlijke productie in NL, kunnen de reststromen van algenteelt de basis vormen voor grootschalige visteelt, waarbij de nutriënten weer worden teruggevoerd in het algenproductiesysteem.
Alle kenniselementen voor ontwerp en implementatie van een dergelijk systeem zijn beschikbaar in NL, waaronder kennis van offshore infrastructuur, watermanagement, nutriëntenrecycling, visteelt en algenteelt. Het concept is wereldwijd bruikbaar in zoet en zout water, en kan daarom uitstekend dienen als kennisexportproduct.

6.13 De afzetmarkten voor de producten uit genoemde business concepten

6.13.1 Suiker en koolhydraatpolymeren

Implementatie van de business concepten zou een aanzienlijk toename betekenen van het areaal van gewassen onder regie van NL bedrijfsleven. Deze toename kan alleen gerealiseerd worden als er ook een afzetmarkt is voor de biomassaproducten uit deze gewassen. De volumes grondstoffen die door de businessconcepten, bij 100% realisatie, geleverd kan worden, zijn in weergeven Tabel 1, en worden hieronder bediscussieerd in relatie tot de te verwachten omvang van de markt

Van de 2.9 miljoen ha biomassa wordt in totaal 56 miljoen ton biomassa geoogst (Tabel 1), met een energie-inhoud van ongeveer 1050 PJ (zonder de teeltkosten en verliezen meegerekend).

Alle geteelde biomassa bij elkaar levert ongeveer 17 miljoen cellulose (Tabel 1), of na hydrolyse, een nagenoeg dezelfde hoeveelheid fermenteerbare suiker. Hiermee kan 4.5 miljoen ton benzine-equivalent worden geproduceerd, ongeveer de omvang van de NL behoefte aan benzine (4.2 miljoen ton in 2006). Cellulose kan daarnaast worden gebruikt voor papier, karton en chemie (cellulose gebaseerde kunststoffen).

De totale productie aan hemicellulose bedraagt meer dan 10 miljoen ton, waarvan het grootste deel wordt aangeleverd door *Miscanthus* en maïs (Tabel 1). Ongeveer 70% van de hemicellulose bestaat uit xylose één van de platformchemicaliën uit Tabel 4 en grondstof voor de productie van furanen. De markt voor furaangebaseerde chemicaliën bestaat nog niet, maar kan groeien naar een geschatte 1 miljoen ton, zeker als ook furanen kunnen worden doorontwikkeld naar hoogwaardige motorbrandstoffen[22]. Ook inuline, na te zijn gehydrolyseerd naar fructose kan makkelijk worden omgezet in furanen. Xylose kan daarnaast ook dienen als grondstof voor ethyleenglycol, met een mondiaal marktvolume van respectievelijk 18 miljoen ton[23] en een jaarlijkse groei (voor de crisis) van 4-5%, dat overeenkomt met een groeivraag van 800.000 ton per jaar. De totale productie van naar schatting 7.2 (0.7 x 10.3) miljoen ton xylose (Tabel 1), kan dus in principe door de chemiemarkt geabsorbeerd kunnen worden. Echter, de totale *Miscanthus* en maïs biomassa kan dienen als grondstof voor methaanvergisting (warmte en elektriciteit) en/of ethanolvergisting (biobrandstof), waarvan de afzetmarkten vrijwel oneindig groot zijn.

Biet levert 5.5 miljoen ton suiker (Tabel 1), waaruit 2.7 miljoen ton ethanol of 1.5 miljoen ton bio-ethyleen kan worden gemaakt. De mondiale markt voor polyethyleen is 80 miljoen ton, dus deze hoeveelheid biet-ethyleen kan goed door de markt worden geabsorbeerd. De mondiale omvang van de bio-ethanolproductie is nu 35 miljoen ton, maar is in feite vrijwel oneindig groot.

De genoemde biobased businessconcepten kunnen in potentie voldoende pectine leveren voor de wereldmarkt, met biet en aardappel als grootste leveranciers (Tabel 1). Pectines worden niet alleen in vele voedingsmiddelen gebruikt (als geleringsmiddel, vetvervanger, textuurverbeteraar) maar ook in farmaca en technische toepassingen. Het mondiale marktvolume is geschat op 45.000 ton/jaar[24] en groeit met 4.5-5.5% per jaar[25].

---

22 http://www.avantium.com/news-events/press-releases/2007-2/avantium-steps-ahead-with-its-biofuels-program/
23 http://www.sriconsulting.com/WP/Public/Reports/eg/
24 Willats, W.G.T., Knox, J.P., Mikkelsen, J.D. (2006). Pectin: New insights into an old polymer are starting to gel. Trends in Food Science and Technology 17: 97-104
25 http://www.icis.com/Articles/2003/07/11/502950/ups-and-downs-in-the-tangled-hydrocolloids-market.html

6.13.2 Eiwit

Een belangrijk product van de biobased ketens is eiwit, in totaal 3.9 miljoen ton (Tabel 1). De bestaande afzetmarkten voor plantaardig eiwit, vooral uit soja en tarwe, zijn food en feed. Of de markt deze extra eiwitproductie kan absorberen hangt van de toepassing af. De totale NL consumptie van soja-eiwitten, meest voor veevoer, bedraagt 1.4 miljoen ton (2.8 miljoen ton sojameel met 50% eiwit). De soja-eiwit import (als bonen en schroot) is een factor drie groter, ongeveer 4.2 miljoen ton. De Europese sojameelconsumptie is ongeveer 35 miljoen ton[26], waarvan 17.5 miljoen ton eiwit.
Een deel van het eiwit wordt door algen geproduceerd: 0.5 miljoen ton. Het eiwit uit het algenteeltconcept (6.12) is van zeer hoge kwaliteit en kan behalve voor food, uitstekend voor de teelt van vis worden gebruikt. De NL visvangst bedraagt ongeveer 470.000 ton vers[27]. Het gemiddelde eiwitgehalte van vis is 20%. Uitgaande van een eiwit/eiwitconversiefactor van voer naar vis van 2, is ongeveer 190.000 ton eiwit nodig om dit volume aan gevangen vis te kunnen telen. De conclusie is dus dat de totale eiwitproductie van alle business concepten te te groot is voor de NL markt, en dus ook buiten NL afgezet moet worden, analoog aan wat nu gebeurt met een deel van het geïmporteerde eiwit.

6.13.3 Olie voor energie en chemicaliën

De productie aan olie bedraagt 0.9 miljoen ton, die grofweg is verdeeld over chemie en biodieseltoepassingen (Tabel 1). De NL diesel consumptie is 6.3 miljoen ton, dus de 0.5 miljoen ton algendiesel kan makkelijk door de NL biodiesel behoefte worden geabsorbeerd.

De olie gebaseerde chemicaliën komen uit de 2 oliezaadgewassen *Crambe* en *Calendula* en kunnen worden afgezet in diverse markten: verven en coatings, houtverduurzamingsmiddelen, kunststoffenadditief en hoogwaardige smeermiddelen. De geschatte afzetvolumes voor de verschillende markten is in de tabel hieronder gegeven. De tabel hieronder laat zien dat de producten van de twee oliegewassen in haar geschatte omvang door de markt geabsorbeerd kunnen worden.

Marktinschattingen voor oliecomponent van biobased oliegewassen

Markt	Oliegewas	Huidige vraag (wereld)	Marktvraag naar nieuw product	Realistische marktvraag
Verf/coatings: reactieve verdunner	Calendula	10 miljoen ton verf 2.5 miljoen ton alkydverf 500.000-750.000 ton alkydresin	100% marktaandeel met 20% reactieve verdunner = 100.000-150.000 ton	10% marktaandeel: 10.000-15.000 ton
Houtmodificatie	Calendula	EU: 6 miljoen ton hout nu verduurzaamd met giftige chemicaliën NL: 100.000 ton thermisch verduurzaamd hout	Bij 100% toepassing: Wereldwijd tientallen miljoenen tonnen EU: 1.2 miljoen ton NL: 20.000 ton	10% marktaandeel in EU van huidige markt voor houtverduurzaming: 120.000 ton
Erucazuur	Crambe	Voornamelijk erucamide en beheenzuurderivaten)	100% vervanging technisch en economisch mogelijk: 100.000 ton	50% substitutie: 50.000 ton
Wasester	Crambe	High performance lubricants Specialty wasesters met bijvoorbeeld reactieve geconjugeerde dubbele bindingen.	De specialty producten vormen nu slechts 5% van de totale lubricant markt Complementair aan markt voor Calendula-olie	10% substitutie van huidige specialty lubricant markt (200.000 ton) Verdubbeling van de markt voor calendula-olie door verlaging van kostprijs (+15.000 ton)
TOTAAL				400.000 ton

[26] MVO Taskforce Duurzame Soja. Sustainable soy production. What is the Dutch industry doing? http://www.taskforcesustainablesoy.org/
[27] http://ec.europa.eu/fisheries/publications/fishyearbook2007.pdf

6.13.4 Wateroplosbare chemicaliën

Er zijn drie businessconcepten (aardappel, biet en maïs) voor de productie van wateroplosbare platformchemicaliën. Het gezamenlijke productievolume aan chemicaliën door deze gewassen is 1.5 miljoen ton. Voorbeelden van platformchemicaliën die door aardappel en biet kunnen worden gemaakt, zijn diverse aminozuren en organische zuren (Tabel 4). Een voorbeeld van een aminozuur is lysine, dat kan dienen als grondstof voor nylon-6 via ε-caprolactam. De jaarlijkse productie van ε-caprolactam is 3 miljoen ton[28]. Een voorbeeld van een organisch zuur is itaconzuur. Het huidige productievolume is tussen 5-10.000 ton/jaar (bij €2.5/kg). Bij lagere productiekosten breken nieuwe markten open, waaronder de markt voor superabsorbants (100.000 ton/jaar, productie nu gebaseerd op petrochemische polyacrylaten) en methylmetacrylaat gebaseerde producten. De jaarlijkse methylmethacrylaat productie is meer dan 2.4 miljoen ton[29]. De markt kan het volume plantaardige platformchemicaliën makkelijk absorberen, mits er gekozen worden voor een aantal verschillende platformchemicaliën, met verschillende afzetmarkten.

6.13.5 Natuurrubber

In het bussinessmconcept voor natuurrubber is uitgegaan van 100.000 ha, waarvan ongeveer 150.000 ton rubber kan worden gewonnen. De totale Europese rubberimport is 1.5 miljoen ton, tien maal zo veel als met dit areaal geproduceerd kan worden.

6.14 Kans op succes

Het doel van visiedocument was het identificeren van kansrijke biobased productieketens en het benoemen van de rol van veredeling daarin. Kansrijk is aan het begin van dit hoofdstuk volgt gedefinieerd: 1. het totaal aan productieketenconcepten moet een wezenlijke bijdrage kunnen gaan leveren aan de CO_2-mitigatie doelstelling van de overheid; 2. de productieconcepten leiden tot een hogere en duurzame omzet door NL bedrijfsleven.

Alle in dit hoofdstuk benoemde business concepten voldoen in potentie aan deze criteria, maar de ketens moeten echter nog ontwikkeld en opgezet worden. De kans op succes heeft daarom op dit moment vooral te maken met het perspectief dat ketenpartijen voor deze ketens zien en met hun bereidheid om mee te investeren in ontwikkeltrajecten. Deze en andere vragen die gerelateerd zijn aan de kans op succes, zijn opgesomd en gescoord in Tabel 2. Een tweede succesfactor, de mogelijkheid op het ontwikkelen van IP, is voor alle concepten in aanzienlijke mate aanwezig. IP heeft betrekking op uniek plantmateriaal, dat kan worden beschermd met patent- of kwekersrecht, maar ook patenten op technologie. De beschikbaarheid van verbetert plantmateriaal, bijvoorbeeld gewassen met een hoger gehalte aan biobased inhoudsstoffen of met een betere ontsluitbaarheid van celwanden, biedt ook weer de mogelijkheid voor het ontwikkelen van unieke raffinagetechnologie, waar eveneens IP op kan gevestigd worden.
Tenslotte is het succes van een aantal concepten afhankelijk van hoe de maatschappelijke perceptie van GM planten voor biobased toepassingen zich in de toekomst zal ontwikkelen.
Een aantal business concepten vraagt een GM benadering. Andere concepten kunnen worden gerealiseerd met klassieke veredeling.

[28] ICIS 2009. http://www.icis.com/v2/chemicals/9075184/caprolactam/pricing.html
[29] http://chemsystems.com/reports/search/docs/abstracts/0405-2_abs.pdf

7 Veelbelovende biobased chemicaliën uit planten en microalgen

7.1 Inleiding

Door alle marktpartijen in de biobased productieketen is aangegeven dat directe productie van chemicaliën door planten een kansrijke route is. De mogelijke afnemer voor zulke plantenchemicaliën, de chemie, vindt het echter nog moeilijk om aan geven welke chemicaliën zij van de agrosector zouden willen afnemen. De agrosector gaat niet investeren in het ontwikkelen van planten met een hoog winbaar gehalte aan inhoudsstoffen zonder dat duidelijk is om welke stoffen het gaat, wat het marktpotentieel is en hoe afname verzekerd is. Hoewel de verbinding tussen chemie en veredeling in NL nog lastig tot stand komt, is gezien de bewegingen in de mondiale markt het toekomstbeeld toch veelbelovend. Wereldwijd zijn genoeg voorbeelden van allianties tussen agro en chemie met als doel om nieuwe markten te ontwikkelen voor biobased chemicaliën (zie kader).

Gedurende een jaar of 5 zijn er allerlei bewegingen in de markt die laten zien dat biobased productie van chemicaliën een valide economische activiteit is. In de US zijn het vooral de bedrijven die vanouds verankerd zijn in zowel de agroprocessing als chemie, zoals Dupont, Cargill, ADM en Dow, die trajecten inzetten voor grootschalige productie van platformchemicaliën (melkzuur, succinaat, 1,3-propaandiol, polyhydroxybutraat): in de orde van 10-100.000 ton/jaar, of soms meer.
Een andere trend is dat Industriële Biotechnologie, door hun betrokkenheid bij de ontwikkeling van nieuwe enzymen om biomassa tot ontsluiten en bioraffinage te vergemakkelijken (DSM, Genencor, Novozyme), enigszins lijkt op te schuiven richting Agroprocessing. Agroprocessing onderzoekt wegen om eenvoudige chemische syntheses zelf te doen, om daarmee de waarde en toepasbaarheid van plantaardige inhoudsstoffen te verhogen. Agroprocessing lijkt daarmee op te schuiven richting chemie (samenwerking Cosun en Avantium[22]). In toenemende mate worden partnerships gesmeed tussen Agro en chemiepartijen. Agroprocessing krijgt daarmee toegang tot nieuwe markten en de chemie is verzekerd van grondstoffen. Voorbeelden van partnerships zijn: Dupont & Tate & Lyle (1.3 propanediol), DSM & Roquette (succinaat), BASF en CTC (ethanol en ethyleen), CSM en BASF (succinaat).

In dit hoofdstuk wordt in hoofdlijnen aangegeven welke stoffen uit planten potentie bieden voor de chemie. Eerst wordt een longlist gemaakt waarin alle mogelijk stoffen worden opgesomd (Tabel 3), vervolgens wordt de lijst beperkt tot relatief hoogwaardige stoffen die direct door planten kunnen worden gemaakt (Tabel 4).

Voor het identificeren van kansrijke ketens voor de productie van chemiegrondstoffen uit biomassa moeten een aantal vragen beantwoord worden:

1. Voor welke stoffen is belangstelling uit de chemie?
2. Welke stoffen kunnen door de planten en de agrosector geleverd worden?
3. Welke partijen kunnen een rol spelen bij het opzetten van dergelijke productieketens?
4. Welke gewassen en veredelingsuitdagingen horen daarbij?

Deze vragen worden in de volgende paragrafen uitgewerkt.

7.2 Voor welke stoffen is belangstelling uit de chemie?

Er zijn een aantal benaderingen mogelijk om de eerste vraag op te lossen. Een eerste manier is om een overzicht te maken van alle chemicaliën die bijvoorbeeld in de wereld, Europa of Rotterdam geproduceerd worden. Uitgaande van deze petrochemische moleculen, kunnen plantaardige of natuurlijke moleculen worden geïdentificeerd die de chemische structuur zoveel mogelijk benaderen. Vervolgens wordt dan gezocht of er een syntheseroute is waarmee het biologische molecuul in een zo klein mogelijk aantal stappen in het gewenste, nu nog petrochemische molecuul kan worden omgezet. Deze benadering is gevolg door Sanders en Scott[30, 31], en leert dat bijvoorbeeld een aantal aminozuren en organische zuren de potentie hebben om te dienen als grondstof voor bestaande of nieuwe chemieketens, o.a. voor oplosmiddelen, kunststoffen, bouwchemicaliën, etc.
Een tweede benadering is gevolgd door National Renewable Energy Laboratory (US). Hierbij is vooral uitgegaan van glucose als basisgrondstof, omdat glucose een goedkope en goed gedefinieerde grondstof is. In een iteratief proces, waarbij de complexiteit van benodigde omzettingen, het mogelijke marktvolume, de mogelijkheid om een palet van derivaten en intermediairen te maken, is een groep van 30 moleculen geïdentificeerd, waarvan er weer 12 zijn geselecteerd als veelbelovend. Een aantal bedrijven hebben deze exercitie vanuit hun eigen sterktes en belangen uitgevoerd en komen weer met hun eigen varianten op deze lijst. Daarnaast heeft LNV aan TNO gevraagd om vergelijkbare analyses uit te voeren, met nadruk op de NL situatie.
Een derde benadering is om te inventariseren welke ketens voor productie van chemicaliën reeds door partijen in biobased productieketens zijn opgezet. Voor deze moleculen blijkt dus al een duidelijk economisch perspectief.

De moleculen die deze drie benaderingen hebben opgeleverd, zijn samengebracht in Tabel 3.

7.3 Welke stoffen kunnen door de planten en de agrosector geleverd worden?

De uitdaging in deze paragraaf is om stoffen te identificeren die duidelijke meerwaarde in (bestaande) bioraffinageketens kunnen geven. Het gaat hierbij om stoffen/moleculen die kunnen worden gewonnen als coproduct naast suiker, zetmeel, olie of eiwit. De stoffen worden uit de waterige (rest)stroom gewonnen, geconcentreerd en gezuiverd, en kunnen als platformchemicalie worden toegepast. Hoewel de petrochemie moeite heeft om een echte winnaar platformchemicalie te definiëren, zijn in de discussies met de stakeholders wel een aantal generieke principes benoemd waaraan een potentiële winnaar zou moeten voldoen:

1. De marktwaarde van het molecuul is tussen € 1000-2000/ton. Is de waarde lager dan kan molecuul beter petrochemisch worden gemaakt. De ondergrens is overigens niet scherp en zelfs aan erosie onderhevig zoals blijkt uit het initiatief van een aantal chemiepartijen (Dow, Braskem, BASF) om (poly)ethyleen uit rietsuiker te maken. Binnen de chemie is ethyleen de stof met het grootste omzetvolume en de laagste waarde (prijs af Rotterdam ongeveer €900/ton);
2. Boven de €2000/ton kunnen stoffen beter door industriële biotechnologie worden gemaakt. Ook deze grens is onscherp, want allerlei stoffen met een marktwaarde > €2000/ton worden nog steeds uit planten gehaald omdat microbiële synthese te complex is, of duurder is dan extractie uit planten. De volumes zijn echter klein, maximaal enkele tonnen per jaar;
3. Processingkosten zijn bij een marktwaarde van €1000 niet hoger dan €400-500/ton. Om de proceskosten niet te hoog te laten oplopen, moet het gehalte van het molecuul bij voorkeur niet lager dan 1 ton/ha (alles ruwe schattingen op basis van intuïtie). Inherent aan de laatste eis is dat de moleculen in planten moeten kunnen ophopen, zonder dat het schade doet aan de fysiologie van planten. Moleculen zoals ethanol en butanol (Tabel 3) vallen hierdoor af, omdat ze in lage

[30] J. Sanders, E. Scott en J v Haveren (2006). Rotterdam – a port in a biobased economy (WUR report)
[31] E. Scott. F Peter, J Sanders (2007). Biomass in the manufacture of industrial products, the use of proteins and amino acids.

concentraties toxisch zijn voor planten. Moleculen als glucaric, levulinic en furandicarboxylic acid vallen ook af omdat de laatste stap in de synthese chemisch is, en daardoor niet in levende organismen kan plaatshebben;
4. Het marktvolume van het molecuul is (kan groeien) naar meer dan 25-50.000 ton/jaar om en extra kapitaalskosten voor processing te rechtvaardigen;
5. Het molecuul kan ook worden afgezet in de food of feed markt. Petrochemie heeft nog moeite met het denkbeeld om voor hun chemicaliënvoorziening afhankelijk te zijn van de agrosector. Als het molecuul eerst kan worden afgezet in andere markten, bijvoorbeeld in food, feed en farma, en daarin kan groeien, kunnen deze markten dienen als proof of concept voor leveringszekerheid naar de petrochemie. Overigens is dit principe niet door alle partijen benoemd en werkt dit omwegprincipe niet voor alle moleculen.

Als de lijst van Tabel 3 volgens deze criteria gescreend worden, blijven de moleculen van Tabel 4 over. Voorwaarde 5 is toepasbaar op een beperkt aantal moleculen; alleen voor citroenzuur (food) en een aantal aminozuren, waaronder lysine (feed).
De moleculen die door de agrosector aan de chemie geleverd kunnen worden, zijn vooral moleculen die nu al door de industriële biotechnologie worden geproduceerd. Bij directe productie door planten treedt agroprocessing (refining uit planten) dan in competitie met industriële biotechnologie (synthese vanuit plantensuikers door microben). Uiteindelijk zal de meest kosteneffectieve en duurzame productiemethode overleven. Het is nog te vroeg om te bepalen welke route voor deze moleculen het meest kostencompetitief gaat worden, de verwachting is dat directe productie door planten vooral voordelen heeft bij afzetvolumina groter dan 25-50.000 ton.

7.4 Welke gewassen en veredelings- en onderzoeksuitdagingen horen daarbij?

De belangrijkste vragen die voor alle moleculen geldt zijn: 1) hoe krijg ik een zo hoog mogelijk niveau van een bepaalde stof in de plant; 2) hoe krijg ik het met zo min mogelijk procesenergie de moleculen zo zuiver mogelijk in handen. De uitdagingen bevinden zich op drie niveaus:
a. fundamenteel strategisch onderzoek naar mechanismen van ophoping,
b. klassieke veredeling, waaronder selectie, (eco)TILLING, kruisen, etc.
c. moleculaire veredeling, het toepassen van bestaande of nieuwe fundamenteel strategische kennis in het ontwerpen en maken van nieuwe GM planten met de gewenste eigenschap

Welke benadering nodig is voor welk molecuul is samengevat in Tabel 5.

7.5 Welke partijen/markten kunnen een rol spelen bij het opzetten van productieketens voor platformchemicaliën?

Er moet helderheid komen over de afzetmarkt voor de genoemde moleculen, of over wie bereid is de door planten geproduceerde stoffen af te nemen. Op termijn is de chemie de meest voor de hand liggende partij voor de chemicaliën genoemd in Tabel 4. De laatste kolom van Tabel 4 noemt de partijen die mogelijk betrokken kunnen worden bij de ontwikkeling van plantaardige productieroutes en afzetmarkten. Voor alle stoffen is echter nog niet duidelijk of de chemie interesse heeft in een productieroute die start in de landbouw, en de afzetmarkt chemie is daarmee steeds de meest onzekere schakel in het vormgeven van biobased productieketens.

Een andere manier om de afzet van platformchemicaliën te "garanderen" is het creëren van een tussenpartij, die voor een aantal jaren een minimale afzet en prijs garandeert voor een aantal

platformchemicaliën. Deze garantie kan mogelijk bij de zaad- en agroprocessing bedrijven wegnemen de belangrijkste aarzeling, om in een innovatietraject te investeren. Een dergelijke tussenpartij zou de overheid, handelshuis of investeerder kunnen zijn. De uitdaging van een dergelijke partij zou moeten zijn om de platformchemicaliën af te zetten, ongeacht op welke markt, hoewel de ambitie ook zou moeten zijn om vooral de afzetmarkt voor de chemie te ontwikkelen, mogelijk voor een steeds groter deel van het afzetvolume.

Afhankelijk van de stof genoemd in Tabel 4 ziet de ontwikkeling van de afzetmarkt er mogelijk steeds anders uit zoals hieronder al enigszins is uitgewerkt.

Organische zuren (carboxylic acids) is een van de meest veelbelovende groep platformchemicaliën, met de polymeerchemie als belangrijkste, hoewel niet de enige afzetmarkt. Agbiotech en Chemiepartijen die betrokken zijn bij initiatieven om productie van organische zuren (melkzuur, succinaat en 3-OH propionaat) op te zetten of uit te breiden zijn DSM, BASF, Cargill en kleinere bedrijven. Op dit terrein vinden we ook allianties tussen agro en chemie, met als voorbeelden BASF/CSM en DSM/Roquette (beide succinaat). De mondiale productie van melkzuur, op dit moment het organische zuur met de grootste productieomvang, breidt zich gestaag uit. Diverse partijen (non disclosed) hebben onderzoeksactiviteiten op het gebied van itaconzuur. De NL IP is tamelijk sterk. De IP voor itaconzuurproductie in micro-organismen ligt bij TNO, voor productie in planten ligt de IP bij WUR. Interesse voor productie in planten is gezien bij zaadveredeling- en agroprocessingbedrijven.

Voor aantal aminozuren (lysine, glutaminezuur, proline) is de bulkchemie een mogelijke afzetmarkt, maar dat is niet zeker, omdat de chemie deze moleculen nog niet heeft geadopteerd als hernieuwbare chemiegrondstof. Volgens het concept van 7.3 (punt 5) kan de opstap naar de bulkchemie verlopen via andere markten, waaronder fijnchemie, farma, food of feed. Feed grade lysine heeft een mondiaal productievolume van ongeveer 800.000 ton, en het afzetmarktvolume stijgt, vooral dankzij groei van vleesproductie in China, India en Brazilië, met enkele procenten per jaar (30.000 ton/jaar). De NL kennis en IP positie op het gebied van overproductie van lysine in planten is, in mondiaal perspectief gezien, tamelijk sterk. Ook voor aminozuren is interesse voor productie in planten bij zaadveredeling- en agroprocessingbedrijven.

De polymeren PHA en cyanophycine moeten hun afzet vooral in de chemie vinden. Ten aanzien van PHA is de NL kennispositie zwak. IP op genen en productieroutes en kennis van PHA productie in planten zijn vooral al aanwezig bij Metabolix (USA). Onder een Metabolix licentie is het eveneens Amerikaanse ADM is bezig met het opzetten van de commerciële productie van PHA in micro-organismen. Productie in planten (tabak en switchgras) wordt door Metabolix zelf tot ontwikkeling gebracht en kort geleden is toestemming verkregen voor de eerste veldproeven. Overigens is daarmee productie van PHA in typisch West-Europese gewassen geen onbegaanbare route geworden. Afhankelijk van licentievoorwaarden en de ontwikkeling van het afzetmarktvolume kan productie van PHA in aardappel (knollen) en biet (blad) een aantrekkelijke optie zijn.
Voor cyanophycine is de situatie vergelijkbaar. Kennis voor cyanophycine productie in planten is aanwezig bij de Universiteit Rostoc (Du). Voorzichtige interesse voor cyanophycine productie en gebruik is er wel, maar bij *undisclosed parties* (veredeling en chemie) buiten NL.

Voor oliën is de marktafzet tamelijk goed uitgewerkt in paragraaf 6.13.3.

Voor koolwaterstoffen en brandstoffen uit algen lijkt veel belangstelling uit de markt. Er zijn opvallend veel (kleine) bedrijven betrokken bij de ontwikkeling van hoogwaardige brandstoffen voor bijvoorbeeld vliegtuigen, waaronder Solazyme, Sapphire Energy, Solix. Algenol, Petrosun Biofuels, Synthetic Genomics, Martek, etc. Aanzienlijke bedragen worden geïnvesteerd in de ontwikkeling en productie van algenbrandstoffen door petrochemische bedrijven als Exxon Mobile ($600 miljoen), BP ($10 miljoen) en Dow Chemical ($25 miljoen). Ook vliegtuigontwikkelaars en vliegmaatschappijen als JAL, Boeing, Continental Airlines hebben grote interesse in de ontwikkeling van biobrandstoffen uit algen.

Gemodificeerde zetmelen worden afgezet in een veelheid aan markten, die vergelijkbaar zullen zijn met de bestaande markten voor bestaande zetmelen en welbekend bij de NL partijen genoemd in Tabel 4, laatste kolom. Productie door aardappel zijn kansrijke ontwikkelroutes, vanwege NL kennis en mogelijke NL partnerschappen. NL heeft een goede kennispositie in gemodificeerde zetmelen en goede mogelijkheden voor de ontwikkeling van IP.

Pectines is een bestaande afzetmarkt en de meeste pectines worden gewonnen uit reststromen van citrus- en appelsapproductie. De marktwaarde van pectine is $11-13/kg. De markt heeft een mondiaal volume van 45.000 ton/jaar en groeit met 5-6% per jaar, dus er is ruimte voor nieuwe productiebronnen. Pectines worden, ook over 10 jaar, nog steeds voornamelijk afgezet in food, feed en farmamarkten. Productie door aardappel en biet zijn kansrijke ontwikkelroutes, vanwege NL kennis en NL partnerschappen, hoewel de afzetvolumes beperkt zijn (zie ook 6.13.5).

7.6 Samenvatting en conclusies

Door vrijwel alle partijen die een rol kunnen hebben in het opzetten van biobased ketens is aangegeven dat productie van chemicaliën door planten een gewenste ontwikkeloptie is. Tegelijkertijd kan door de chemie nog niet scherp worden aangegeven om welke chemicaliën het gaat. Door vanuit twee perspectieven te kijken, vanuit de marktontwikkelingen en vanuit het vermogen van de plant, is beperkte set platformchemicaliën en gewassen geïdentificeerd die potentieel kansrijk zijn. Gewassen die in het bijzonder geschikt zijn voor productie van wateroplosbare platformchemicaliën zijn suiker/voederbiet, aardappel en op termijn wellicht de Russische paardenbloem. De meest kansrijke moleculen zijn organische zuren (bijvoorbeeld barnsteenzuur, itaconzuur), aminozuren (bijvoorbeeld lysine, asparaginezuur), gemodificeerde zetmelen en rubber, mede ook door beschikbaarheid van kennis in IP bij NL bedrijfsleven en kennisinstellingen.

Voor de biopolymeren PHA en Cyanophycine is de NL kennispositie zwak. De inschatting is dat productie van deze stoffen door planten haalbaar en kansrijk is, maar dat dit door partijen buiten NL zal worden doorontwikkeld.

Kansrijk is de productie van oliegebaseerde chemicaliën op basis van calendulazuur, erucazuur en wasesters, waarbij *Crambe* en *Calendula* de meest kansrijke gewassen zijn. De NL kennispositie is sterk en participatie van NL bedrijfsleven is redelijk zeker. Voor productie van wasesters door het niet-voedsel oliegewas *Crambe* is een GM benadering noodzakelijk.

Kansrijk is de ontwikkeling van een rubberproducerend gewas. De ontwikkelweg is lang, maar de benodigde basiskennis is beschikbaar bij NL partijen.

Kansrijk is ook de productie van koolwaterstoffen door microalgen. Er zijn twee mogelijke afzetmarkten, biobrandstof en bioplastics. Er is door in 2009 zeer sterk geïnvesteerd in de ontwikkeling van biobrandstoffen, vooral in de US. De ontwikkeling van bioplastics uit specifieke algenkoolwaterstoffen is een nieuw onderzoeksterrein, en hier liggen ook kansen voor het ontwikkelen van unieke kennis en IP door NL partijen.

Een belangrijke generieke uitdaging (generiek, omdat de uitdaging geldt voor vrijwel alle gewassen, en ook een multidisciplinaire benadering vraagt) is het realiseren van een betere ontsluitbaarheid van plantencelwanden tot haar deelcomponenten, cellulose, hemicellulose en lignine, en de omzetting van deze moleculen in chemicaliën (hemicellulose naar furanen, lignine naar aromaten). Lignine en hemicellulose zijn “onvermijdelijke” producten van alle biobased gewassen (het gemiddelde gehalte is respectievelijk ongeveer 15% en 25%), dus het oplossen van deze uitdaging is een onvermijdelijke doelstelling van de ambitie om duurzame en economische waardevolle biobased ketens te bouwen. Het

noodzakelijke ontwikkeltraject moet worden ingezet vanuit veredeling (groene biotechnologie), witte biotechnologie en chemie. Ook de moeilijke stap daarna, de omzetting van deze celwandcomponenten in energie- of chemiegrondstoffen, biedt kansen voor NL kennisontwikkelaars en bedrijven.

Bijlage 1. Lijst van geïnterviewde personen

Diepte-interviews
Peter Bruinenberg (AVEBE), 8 juli 2009
Gert de Raaff, Gerald van Engelen (Cosun), 9 juli 2009
Casper Vroemen, Francis Stalder (Genencor), 10 juli 2009
Léon Broers (KWS), 13 juli 2009
Marcel Wubbolts en Ynte Hoekstra (DSM), 21 juli 2009
Jacques Joosten (Regiegroep Chemie), 21 juli 2009
Ton Runneboom (Platform Groene Grondstoffen), 1 september 2009

Telefonische interviews bedrijfsleven
Leon van Beuningen (Limagrain), 22 juli 2009
Frank Kuipers (Sabic), 29 juli 2009
Dick Den Ouden (Avantium), 5 augustus 2009
Klaas van der Woude (SESVanderHave), 13 augustus 2009
Jos Keurentjes (AkzoNobel), 13 augustus 2009
Chris Kruze (Solvay Pharmaceuticals), 21 augustus 2009
Anne van Gastel (BASF), 25 augustus 2009
Piet van der Linde (D1Oils), 27 augustus 2009
Malcolm Osseweijer (Croda), 1 september 2009
Michael Weitz (Choren), 1 september 2009
Mark van der Mee (Sabic Innovative Plastics), 16 september 2009

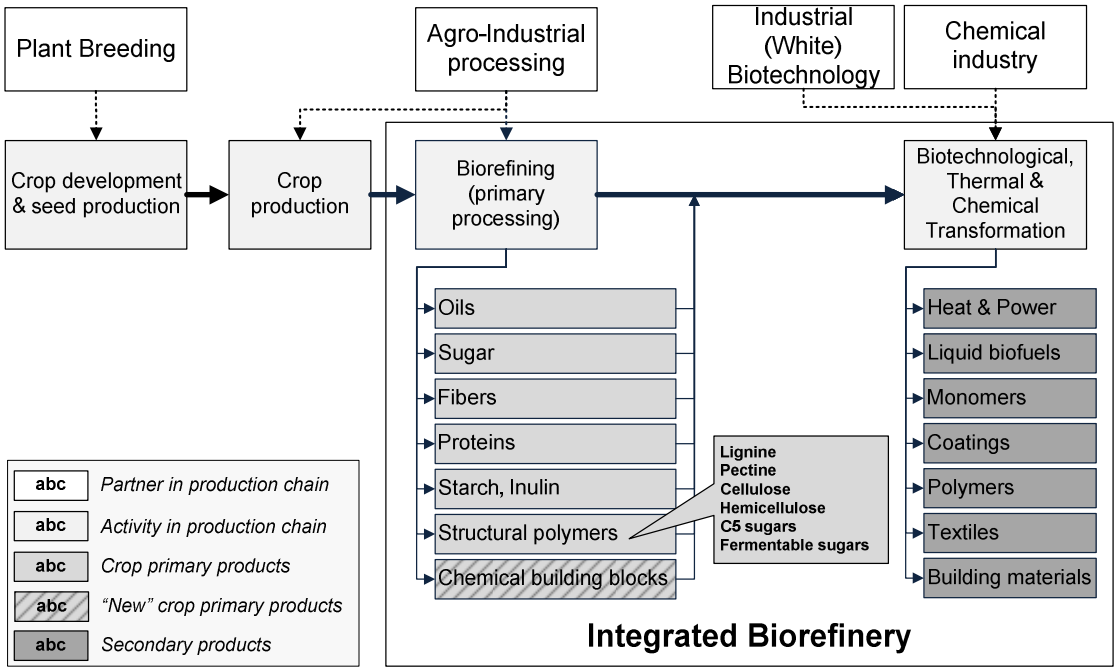
Telefonische interviews overige stakeholders
Aad van Elsen (Plantum NL), 23 juli 2009
Johan Sanders (WUR), 27 juli 2009
Peter Nossin (DPI), 29 juli 2009
Mariët vd Werf (TNO), 3 augustus 2009
Felix Luitwieler (Min. VROM), 5 augustus 2009
Jan Wisse (Niaba), 5 augustus 2009
Fons Voragen (Carbohydrate Competence Center), 17 augustus 2009
André Faaij (Copernicus Instituut), 19 augustus 2009
Herman Den Uil (ECN), 26 augustus 2009
Rob van Haren (Kiemkracht), 8 september 2009
Luuk van der Wielen (B-Basic), 28 september 2009

Afgevallen interviews
De volgende organisaties zijn wel benaderd voor een interview maar waren niet bereid of niet in staat om medewerking te verlenen: Cargill, Dow Chemical, Stichting Natuur en Milieu, Shell.

Bijlage 2. Werkwijze interviews

De gesprekken hadden de vorm van semigestructureerde interviews. Bij het maken van de interviewafspraak werd een achtergronddocument over biobased economy toegestuurd, zodat men zich inhoudelijk kon voorbereiden. Hierin werd ter inspiratie een globaal overzicht van alle mogelijke biobased ketens gegeven.

Figuur 2. Overzicht van mogelijke biobased ketens. Weergegeven zijn de betrokken partijen in de keten, de rol van deze partijen in de keten, bestaande en nieuwe grondstoffen (primary products), bestaande en nieuwe biobased producten (secondary products). Agroprocessing en chemische processing zijn in Nederland nog gescheiden activiteiten, maar worden in de toekomst mogelijk geïntegreerd tot een Integrated Biorefinery.



Tijdens de interviews zelf werd gebruik gemaakt van een interviewprotocol, met daarin een checklist aan te bespreken vragen en onderwerpen. De vragenlijsten waren afgestemd op het type organisatie (veredeling, agroprocessing, industriële biotechnologie, chemie of overige stakeholders). Als voorbeeld wordt hieronder de vragenlijst weergegeven die werd gebruikt in de telefonische interviews met chemiebedrijven:

1. Wat is de visie van uw bedrijf op de biobased economy? Wat verstaat u eronder?
2. Deelt u de ambitie van de Regiegroep Chemie, om het gebruik van fossiele grondstoffen in 25 jaar te halveren? Zo nee, waarom niet? Zo ja, welke bijdrage denkt uw bedrijf hieraan te kunnen leveren?
3. Welke uitdagingen en kansen op het gebied van biobased ziet u voor de korte termijn (circa 1-3 jaar), welke voor de middellange termijn (circa 3-10 jaar) en welke voor de lange termijn (10-25 jaar)?
4. Er zijn verschillende routes om grondstoffen voor de biobased economy uit planten te winnen, variërend van het direct produceren van hoogwaardige stoffen in planten die via raffinage uit de plant worden gewonnen, tot het in hoge concentraties winnen van platformchemicaliën die vervolgens via chemische verwerkingsstappen worden omgezet in de gewenste stoffen.

5. Naar welke productieroute(s) gaat uw belangstelling het meeste uit (gezien uw type product of uw productiefaciliteiten)?
6. Welke rol ziet u specifiek weggelegd voor de plantenveredeling?
7. Welke rol ziet u voor GMO's?
8. Bent u geïnteresseerd in het opzetten van nieuwe samenwerkingsprojecten met partijen uit de agrarische sector (primaire productie, handel) gericht op de levering van 'biobased' grondstoffen en opzetten van productieketens?
9. Heeft u ook contacten met plantenveredelingsbedrijven over uw behoeften op het gebied van grondstoffen voor de biobased economy? Bent u geïnteresseerd in samenwerkingsprojecten met veredelingsbedrijven op dit gebied?
10. Heeft u ook samenwerking met universiteiten of andere kennisinstellingen rond dit onderwerp? Zo ja, kunt u daarover iets meer vertellen? Bent u geïnteresseerd in (meer) samenwerkingsprojecten met kennisinstellingen?

Bijlage 3. Verslag workshop

Verslag van workshop 'Plantenveredeling in de biobased economy', dinsdag 22 september 2009, Tollens Fabriek, Rotterdam.

Doel van de workshop
Centraal in de workshop stond de vraag wat kansrijke ketens zijn voor 'biobased' chemiegrondstoffen, en welke nieuwe eisen aan planten hieruit voortvloeien. Zowel de Nederlandse overheid als het chemiebedrijfsleven heeft immers een ambitie uitgesproken om chemiegrondstoffen in toenemende mate uit hernieuwbare grondstoffen te betrekken. Om deze ambitie te verwezenlijken is het nodig dat nieuwe productieketens worden gesmeed, waarin plantenveredelaars gewassen ontwikkelen voor nieuwe, industriële doeleinden, en de chemie haar grondstoffen betrekt uit agrarische producten. In de weken voorafgaand aan de workshop zijn circa 30 interviews gevoerd met bedrijven en andere belanghebbenden in de biobased economy.

Kansrijke ketens
De workshop werd geopend door Roel Bol, programmadirecteur biobased economy bij het Ministerie van LNV. Hij benadrukte het belang en de urgentie van een omschakeling naar een economie die meer gebaseerd is op wat de natuur te bieden heeft. Aansluitend schetste Andries Koops (WUR) een zevental kansrijke ketens, waarvan hij er vier in meer detail toelichtte. Met "kansrijk" bedoelde hij dat ze bijdragen aan zowel de CO_2-doelstellingen van de overheid als aan de Nederlandse economie. Het Nederlandse areaal is niet toereikend om aan de CO_2-doelstellingen te kunnen voldoen. Daarom zal een groot deel van de teelt van 'biobased' gewassen buiten Nederland moeten plaatsvinden. Door intellectueel eigendom op plantenrassen en op bioraffinage-technologie kunnen deze teelten toch bijdragen aan de Nederlandse economie, ongeacht waar ze plaatsvinden. De vier ketens waren die van aardappel als producent van gemodificeerd zetmeel, eiwit, en hoogwaardige stoffen voor farmaceutische toepassingen; suikerbiet als leverancier van o.a. eiwit en platformchemicaliën; *Miscanthus* voor o.a. energieproductie; en oliegewassen als *Calendula* en *Crambe* voor de productie van oliën voor industriële toepassingen. Na deze inleiding gingen de deelnemers in twee groepen uiteen om aan de hand van twee business concepten gezien vanuit het perspectief van de agroprocessing verder te praten over de mogelijkheden en belemmeringen voor de biobased economy.


Opening van de workshop door Roel Bol

Case 1: Zetmeelaardappel van AVEBE als grondstofleverancier
In één groep hield Peter Bruinenberg (AVEBE) een korte inleiding over de grondstoffen die uit zetmeelaardappelen gewonnen kunnen worden. In de discussie die op deze inleiding volgde was er veel steun voor de stelling dat het praktisch is om te beginnen met bestaande ketens, zoals die van zetmeelaardappelen of suikerbiet, maar daarnaast vond men het belangrijk om ook nieuwe ketens te ontwikkelen. Verder werd erop gewezen dat planten zelf weinig last hebben van (nieuwe) polymeren en dat deze dus best kunnen worden opgehoopt in het gewas. Hiervoor moet aansluiting worden gezocht bij de kennis en behoeften van de chemische industrie in Nederland, België en Noordrijn-Westfalen. Ook werd er gepleit om vooral gebruik te maken van waardevolle moleculen die de natuur al te bieden heeft, zoals vezels.

Case 2: 'Unbeatable beet' van Royal Cosun

In de andere groep hield Ad de Laat (Royal Cosun) een inleiding over de 'unbeatable beet'. Hij liet zien dat de suikerbiet, zowel wat betreft energie-efficiëntie als wat betreft toepassingen, een goede basis biedt voor het vormen van biobased ketens. De suikerbiet kan in goede jaren en bij goed teeltmanagement meer dan 110 ton wortels/ha opleveren met een droge stof opbrengst van meer dan 33 ton/ha (4,5 ton droge stof aan bladmassa niet meegerekend). Ook schetste hij mogelijke innovaties in veredeling en raffinage, waaronder de 'winterbiet' die langer op het veld kan staan en 30% meer opbrengst geeft; een biet die in de wortel, naast suiker, nieuwe waardevolle inhoudsstoffen/chemicaliën ophoopt; winning van eiwit uit blad; winning van C5 en C6 suikers uit de pulp gevolgd door omzetting naar hoogwaardige chemicaliën. Bieten bevatten per hectare 40-50 m^3 water, en is daarmee uitstekend geschikt als productieplatform voor wateroplosbare chemicaliën. In de aansluitende discussie werd onder andere opgemerkt dat de biobased economy ook benaderd kan worden vanuit de vraag of bepaalde stoffen misschien eenvoudiger of goedkoper kunnen worden gewonnen uit planten dan uit aardolie.



Gesprekken tijdens de pauze

Discussie

Drie onderwerpen kwamen in beide parallelsessies aan bod. Zo werd in beide groepen over het 'food versus fuel' debat opgemerkt dat het voor agrariërs juist gunstig is als een gewas meerdere afzetmogelijkheden heeft. Om de teelt voor een agrariër aantrekkelijk en rendabel te maken is een sterke scheiding tussen food een non-food juist niet gunstig. Daarom is een bedrijf als D1Oils nu bezig om een typisch biobased gewas als Jatropha ook geschikt te maken als grondstof voor diervoeder. Verder bleken GMO's in beide groepen een heet hangijzer: een meerderheid van de deelnemers zag een rol van GMO's voor het welslagen van de biobased economy, en ziet de Europese regelgeving als een belemmering voor de ontwikkeling van de biobased economy. Ten derde werd in beide groepen gesproken over de financiering van onderzoek. De samenleving zou fondsen ter beschikking moeten stellen voor een dergelijke belangrijke omschakeling in onze economie. Het gaat dan bijvoorbeeld om kennis van metabole routes in planten. Dergelijk onderzoek zou moeten gebeuren in een samenwerkingsverband zoals een topinstituut, waarin bedrijfsleven, kennisinstellingen en overheid zich gezamenlijk inspannen om antwoorden te vinden op strategische vragen. In dit samenwerkingsverband kan Nederland twee aanwezige sterktes (chemie en veredeling) inzetten om nieuwe kansen te benutten. Belangrijk voor de onderzoeksprojecten in een dergelijk consortium is dat alle schakels van de keten erin participeren. Op deze manier wordt gewaarborgd dat de projecten zijn gebaseerd op een reële vraag uit de markt.

Conclusies

Na de paralleldiscussies, die plenair werden teruggekoppeld door Ton den Nijs en Richard Visser (beiden WUR), gaf Hans Dons (Bioseeds BV) enkele kritische kanttekeningen. Zo vroeg hij zich af of de gepresenteerde kansrijke ketens business cases waren of onderzoeksvoorstellen. Om succesvolle ketens te smeden is ook economische input nodig en kennis van de markt. De dagvoorzitter, Ronald Hiel (Schuttelaar & Partners), ging in op de observaties van Hans Dons door de door hem gestelde vragen terug te koppelen naar de zaal. Volgens de zaal kunnen business cases alleen worden ontwikkeld door alle schakels uit de keten, van veredelaar tot chemie, bij elkaar te zetten en hen samen een portfolio te laten ontwikkelen van technisch en economisch haalbare en duurzame productieketens. Om te stimuleren dat de juiste partijen met elkaar samenwerken en investeren in gezamenlijk onderzoek is een rol weggelegd voor de overheid, bijvoorbeeld in de vorm van een stimuleringsfonds.

Tabellen

Tabel 1. Overzicht van de volumes grondstoffen (in ton droge stof) die door de het totaal van alle businessconcepten geleverd kunnen worden. De getallen zijn een zeer ruwe indicatie en zijn alleen bedoeld om de extra productievolumes voor de verschillende grondstoffen te wegen tegen de omvang van de diverse markten in de laatste rij: NL, Europees (EU) en mondiaal (M). De arealen genoemd in de derde kolom komen overeen met de ambities van de businesscases (6.3), maar kunnen ook groter in omvang zijn. De getallen in de tabel zijn afgerond op 0.1 miljoen ton/jaar (Mton/jr)

Gewas	Bio-massa	Totaal areaal	Totale biomassa	Suiker	Cellulose (ferment. suiker)	Inuline	Hemi-cellulose	Lignine	Pectine	Zetmeel	Eiwit	Olie voor Energie	Olie voor chem'n	H_2O-opl. Chem'n	Rubber
	(ton DS ha/jr)	(1000 ha)	(Mton/jr)	(Mton/jr)	(Mton/jr)	(Mton/jr)	(Mton/jr)	(Mton/jr)	(Mton/jr)	(Mton/jr)	(Mton/jr)	(Mton/jr)	(Mton/jr)	(Mton/jr)	(Mton/jr)
Aardappel	13	500	6.5		0.3		0.2		0.1	5.0	0.4			0.4	
Biet	22	500	11	5.5	3		0.9		0.2		0.4			0.6	
Miscanthus	25	1000	25		10		8.0	5			1.2				
Oliegewassen	10	100	1		0.3		0.2	0.2			0.2		0.1		
Gras (bioraffinage)	16	100	1.6		0.5	0.4	0.3	0.1			0.3				
Rubbergewassen	11-15	100	1.1			0.7	0.2								0.2
Maïs	16	500	8	0.2	3		2	2			0.5			0.5	
Microalgen[32]	18[33]	100	1.8		0.4		0.2				0.5	0.4	0.4		
Som		2900	56	5.7	17.4	1.1	11.8	7.3	0.3	5.0	3.9	0.4	0.5	1.5	0.2
Bestaande marktomvang				∞[34] (bioethanol; M) 80 (polyethylene; M)		1 (furans in EU) 18 (ethyleenglycol; M) ∞[34] (bioethanol; M)			0.045 (M)	2.5 (M)	1.4 (NL) 17 (EU)	6.3 (diesel in NL)	260 (polymeren; M)		1.5 (EU)

[32] Alleen het business concept Microalgenproductie op zee is hier meegewogen
[33] Bij deze oppervlakte gaat het om (semi)open of seminatuurlijke systemen. De biomassaproductie voor een dergelijk productiesysteem wordt geschat op 18 ton/ha overeenkomend met de geschatte biomassaproductie van rivierestuaria (http://en.wikipedia.org/wiki/Trophic_dynamics).
[34] Zeer grote markt

Tabel 2. Kans op succesvolle implementatie van de business concepten uit deze onderzoeksvisie, gemeten aan de hand van een aantal criteria.

Gewas	Totaal oppervlak (1000 ha)	Totale netto CO_2 mitigatie potentieel (Mton/jaar)	Potentiële bruto toegevoegde waarde (TW) (€/ha)			Kans op betrokkenheid van ketenpartijen				Belangrijkste veredelingsuitdagingen	Noodzakelijke benadering t.a.v. No 1 en 2 uitdagingen	
			Bestaande keten	Nieuwe keten	Extra TW	Veredeling	AgroProc.	Ind. Biotech[35].	Chemie		GM	Niet GM
Aardappel	500	10	2780 (zetmeel)	4780	2000	10-50%	10-50%	<10%	<10%	1. Nieuwe zetmelen, 2. Beter extractability 3. Hoger eiwitgehalte 4. Platformchemicaliën	x x x x	x x x x
Biet	500	15	3420 (suiker)	5230	1800	10-50%	>50%	<10%	10-50%	1. Platformchemicaliën, 2. Eiwitgehalte	x x	x x
Miscanthus	1000	41	-	1800		10-50%	<10%	10-50%[35]	<10%	1. Zaadvermeerdering 2. Verhogen gehalte fermenteerbare suikers 3. Optimaliseren van cel wand samenstelling	 x x	x x x
Oliegewassen	100	1.4	-	4450		>50%	>50%	<10%	>50%	1. Oliesamenstelling en –gehalte. 2. Wasesters	 x[36]	x
Gras	100	1.2	4000 (melk)	6200	2200	10-20%	>50%	<10%	<10%	1. Hogere productie bij nieuw maairegime 2. Hoger eiwitgehalte 3. Betere vezels		x x x
Rubbergewassen	100	1.8	-	3300-4200		10-50%	10-50%	<10%	10-50%	1. Verhoging biomassa opbrengst 2. Verhoging latex/rubber gehalte 3. betere veredelings-methoden		x x x
Maïs	500	13.5	2500 (veevoer)	4500	2000	10-50%	10-50%	10-50%	10-50%	1. Verhogen gehalte fermenteerbare suikers 2. Optimaliseren van cel wand samenstelling 3. Hoger eiwitgehalte 4. Nieuwe zetmelen	x x x x	x x x x
Microalgen	100	3.2	-	4700		<10%	<10%	<10%	<10%	1. Basiskennis genomics en methoden voor algenbiotechnologie 2. Teelt op zee en op andere open wateroppervlakten	x[37]	 x

[35] Industriële biotechnologie als bedrijfstak is vooral voorzien rond enzymatische ontsluiting van celwanden van *Miscanthus*. De overige cases hebben Industriële biotechnologie niet nodig als voorwaarde tot succes.

[36] Alleen voor *Crambe*

[37] Alleen voor business concept 6, in het geval dat het concept evolueert naar gesloten productie op industriële biotechnologie schaal

Tabel 3. Overview of platformchemicals (PC) which can be used as building block for chemical syntheses. Column 1 refers to molecules that could be derived from the raw plant materials presented in column 3, using the processing method indicated in column 4. Examples of platformchemicals uses such as in polymers, solvents or chemical intermediates are described in column 5. Some platformchemicals are already produced on commercial scale, or a production facility is in the process of being started up (columns 7, 8).

1 Platform-chemicals (PC)	2 Recommended as "top 10" by:	3 Raw plant material for PC	4 Production method of PC	5 Examples of main use for PC	6 Industry parties involved in R&D	7 Industry parties involved in (near) commercial production[38]	8 Production volume 2009 (x 1000 ton)
Alcohols							
Ethanol	TNO[39] WUR[30,31]	Sugar, starch, lignocellulose	Fermentation (from sugars)	Fuel	Many		35000
Ethanol			Chemical (from ethanol)	(Bio)ethylene and (Bio)polyethylene (plastics)		Braskem, several others	
Ethanol							
Butanol	DSM[40]	Sugar	Fermentation	Fuel, solvent, commodity chemical		BP + Dupont	
1,4-Butanediol	TNO	Sugar or succinic acid	Fermentation or chemical		Genomatica		
1,3-Propanediol		Sugar or glycerol	Fermentation	Co-monomer in polyesters		Dupont + Tate & Lyle	
1,2-Propanediol (propylene glycol)	See glycerol	Sugar of glycerol	Fermentation	Resins, lubricant, solvent de-icing			
3-hydroxybutyrolactone	NREL[41]	Sugar	Chemical	Tetrahydrofuranes, new polymers			
Sugars or sugar based							
Sorbitol	TNO, NREL	Glucose; natural product	Chemical; refining	- Isosorbide → Ethylene glycol - Propylene glycol → Polyesters,			
C5 sugars e.g. xylose, arabinose		Hemicellulose,	Refining and hydrolysis	Furfural/Tetrahydrofuran			
C5 sugars via xylitol, arabinitol	NREL	Hemicellulose	Refining/ hydrolysis; chemical	Ethylene glycol, propylene glycol, Lactic acid → Polyesters			
C6 sugars (fructose, glucose)		Starch, sugar, (ligno)cellulose		Hydroxymethylfurfural	Avantium		
Sugar Polymers							
Modified and thermoplastic Starches	TNO	Starch	Enzymatic, thermal, chemical	Biodegradable polymers, binders, coatings, packaging		Novamont Plantic Technologies Ltd, Cereplast	
Carboxylic acids							

[38] Building of factory is announced in last years (but could later be postponed because of fincancial risks)
[39] Groenestijn (2008), Biobased Economy – exploring the opportunities for the Netherlands. TNO report for LNV: http://www.innotact.nl/fileadmin/user_upload/Publicaties2008/Bijlage_1.pdf
[40] Personal comm. Peter Nossin, DSM
[41] Werpy, T and G. Petersen (2004). Top Value Added Chemicals from Biomass Volume I – Results of Screening for Potential Candidates from Sugars and Synthesis Gas National Renewable Energy Laboratory, Available: www.eere.energy.gov .

Citric acid	DSM	Sugar	Fermentation			DSM, and several others	1000 (mainly food)
Itaconic acid	DSM, NREL, TNO, UCIP[42]	Sugar	Fermentation	Metacrylic acid Polymers, superabsorbants	Itaconix	Several small Chinese suppliers	~10
(Poly)lactic acid (2-Hydroxy-propionic acid)		Sugar (to lactic acid)	Fermentation, chemical	Biodegradable plastics		Cargill/NatureWorks-LCC; several others	140 (Cargill)
Glucaric acid	NREL			Monomer in nylons (replace adipic acid)			
3-Hydroxy-propionic acid	NREL	Sugar	Fermentation followed by chemical	Acrylic acid and AA based polymers (plastics, fibres, coatings, superabsorbants	Cargill + Novozymes		
Levulinic acid	DSM, NREL	Sugar (C5 and C6)	Chemical				
2,5 Furandicarboxylic acid	NREL	Sugar	Chemical	Monomer in polyesters (replace terephthalic acid)			
1,4 succinic acid (or fumaric or malic acid)	DSM, NREL, TNO, UCIP	Sugar	Fermentation	Several chemicals, e.g. de-icers and new polymers, including polyesters polyamides		DSM/Roquette, Bio amber, Myriant, CSM and BASF	~ 10
Vegetable oil based							
Unsaturated fatty acids		Soy or any other oils	Refining & hydrolysis	(bio)olefins, polypropylene and polyethylene		Cargill	
Unsaturated fatty acids		Soy or any other oils	Refining & hydrolysis	Polyurethane foams		Cargill	
Hydroxy fatty acids (ricinoleic acid)		Castor oil	Refining & hydrolysis	Sebacic acid → polyamides		Arkema, BASF, Dupont	
Glycerol	DSM, NREL, WUR	All vegetable oils	Refining & hydrolysis	Epichlorhydrin → epoxy resins		Solvay, ADM, DOW	
Glycerol		All vegetable oils	Refining & hydrolysis	Methanol		BioMethanol Chemie Nederland	
Glycerol		All vegetable oils	Refining & hydrolysis	Propylene glycol (1,2-propane diol) → Resins, lubricants, paints, detergents, antifreeze		ADM. DOW, Huntsman, Ashland + Cargill	65
Calendic acid		Calendula	Refining	Reactive solvent in paints/coatings		Uniqema, AKZO, DSM	1-2
Erucic acid		Crambe or rape seed oils	Refining	Erucamide		Several	100
Amino acids derived							
Arginine	WUR	Proteins; isolated compound; sugar	Refining & hydrolysis; fermentation;	Butanediol + Urea			
Aspartic acid	NREL, WUR	Proteins; isolated compound; sugar	Refining & hydrolysis; fermentation	Various amino-diacids, polyaspartartes (substitute polyacrylic and polycarboxylates)			

[42] Undisclosed Chemical Industry Party

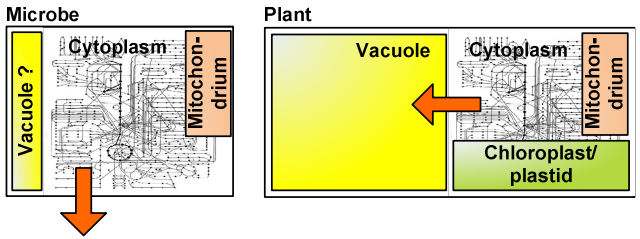
Glutamic acid	NREL, WUR	Proteins; isolated compound; sugar	Refining & hydrolysis; fermentation	Polyglutamic acid, 5-amino-1-butanol			1000 (mainly food)
Serine	WUR	Proteins; isolated compound; sugar	Refining & hydrolysis; fermentation	Ethanolamine			
Proline	WUR	Proteins; isolated compound; sugar	Refining & hydrolysis; fermentation	Pyrrolydine			
Lysine	DSM, WUR	Proteins; isolated compound; sugar	Refining & hydrolysis; fermentation	Caprolactam → nylon 6			700 (mainly feed)
Cyanophycine	UCIP	Sugar	Fermentation				
Terpenes and hydrocarbons							
Rubber	Strategic importance	Plant natural product	Refining, chemical	Tyres, polymers		Goodyear, Pirelli, Michelin, etc	Million
Monoterpenes		Plant natural product	Refining, chemical	Pharmaceutical stereoisomer's		Many Parties (in relatively small volumes)	10
Isoprene		Glucose, Plant natural product	Fermentation, chemical	Synthetic rubbers	Genencor + Goodyear		?
Tri- and tetraterpenoids		Algal natural product	Refining and polmerisation	New bioplastics			
Polyhydroxyalkanoates	CIP	Glucose	Fermentation	Biodegradable polymers		ADM + Metabolix	50
Phenolics							
Phenol, aromatics		Lignocellulose pulp from wood, grasses, refined crops Lignine	Chemical, thermal, enzymatic	Several aromatic compounds (e.g. phenol)		Borregaard	?

Tabel 4. Platformchemicals which can directly be produced by crop plants or algae

Platformchemicals	**Natural compound in plants?**	**Production possible in plants?**	**Possible Dutch Industry parties**
Carboxylic acids			
Citric acid	Present in all plants (potato, sugar beet) sometimes in high concentrations (citrus, acid fruits). Possible already feasible to isolate from potato, particularly if concentration could be increased. Can possible be realized by TILLING (breeding technology)	Increase citric acid concentration proven in transgenic plants, though not to very high level	AVEBE, DSM
Itaconic acid	Not a natural compound in plants	Can very well be synthesized in plants; proven in potato so far without adverse effects Suitable production platform crops are water rich storage organs, e.g. potato, cassava or sweet potato tubers, stem of sugar cane, tap roots of sugar beet	Several partners across total production chain, based in NL, Germany and USA
3-Hydroxy-propionic acid	Not a plant compound, but can probably be synthesized in plants	Not tried	
Lactic acid	Traces	Overproduction not tried	Purac, CSM
Succinic acid (or fumaric or malic acid)	Present in all plants in relatively low concentrations	Overproduction not tried	DSM
Vegetable oil based			
Calendic acid	Present in Calendula seed oil in high concetration		Uniqema, AKZO, DSM
Erucic acid	Present in Crambe seed oil in high concetration		
Amino acids derived			
Arginine	Most abundant amino acid in plant proteins		
Aspartic acid			
Glutamic acid	Abundant amino acids in plant proteins, especially in gluten		
Lysine	Generally low levels. Increase in lysine level can be realized by TILLING (breeding technology)	Overproduction proven in transgenic maize, potato (WUR), soy, tobacco. IP with AVEBE and WUR	Partners in Breeding and Agroprocessing (so far not in chemistry)
Proline	Very high concentration in pollen, and under stress conditions in plants	Overproduction proven in transgenic plants. Proline may provide protection against abiotic stresses, especially drought	
Serine	Low levels		
Cyanophycine (aspartic acid backbone + arginine side chains)	No	Overproduction to up to 6% of DW proven in potato, tobacco.	
Terpenes			
Rubber	Plant natural product, rubber tree is the only source Two alternative sources next to rubber tree are under investigation: Guayule and Russian Dandelion (FW 7 project EU Pearls, coordinator WUR).	Major challenges for EU based rubber production are domestication of Dandelion and Guayule, and increase in rubber yield (ton/ha)	Keygene, Vredestein
Monoterpenes	Natural product in many plant species, large variation in	Market volume of most abundantly used monoterpene (limonene from	

	structures	citrus fruit) is 10000 ton	
Isoprene	Plant natural product, emitted	Volatile compound, Overproduction probably possible in oilseed crops, not in other crops	Genencor
Polyhydroxyalkanoates	No	Overproduction, up to 4% of DW, proven in plants	
Carbohydrate polymers			
Modified starches	Starch is present in all plants and some plants are able to store it in a granular form ex. Potato, cereals, cassava, etc	Yes, it has been done by AVEBE, BASF and at Wageningen UR.	AVEBE, COSUN, BASF
Improved Pectines	Pectines are polysaccharides present in the primary cell walls of all plants.	Yes, by Wageningen UR and already used in a pilot experiment to coat medical devices.	HZPC, AVIKO, Herbestein & Fox,

Tabel 5. Onderzoeks- en veredelingsuitdagingen voor de productie van platformchemicaliën in planten en het meest geschikte gewas voor elk platformchemicalie.

Molecuul of groep	**Uitdagingen**	**Gewas**
Organische zuren	Organische zuren (OG) worden in verschillende compartimenten van de plantencel gemaakt (mitochondrium) en opgeslagen (de vacuole), of verdelen zich volgens fysisch/chemische wetten over de verschillende cel compartimenten (vacuole, cytoplasma, mitochondrium en cytoplasma). De uitdaging is om stoffen die cytoplasmatische processen kunnen verstoren, en daar horen de OG zeker bij, op te slaan in de vacuole (rode pijl). Een micro-organisme lost dit op om stoffen naar buiten te sluizen. .  De vacuole is in de meeste plantencellen het grootste compartiment (tot 90% van het celvolume) dus uitstekend te gebruiken als magazijn voor waardevolle stoffen. Cruciaal in het realiseren van deze opslag zijn de metabole processen die transport van het ene naar het andere compartiment realiseren (rode pijl). Het geheim achter ophoping van OG door planten tot economisch aantrekkelijke niveaus zit in het begrijpen en slim toepassen van deze processen. Voor sucrose (bietsuiker) is dat proces redelijk begrepen, voor organische zuren veel minder. Belangrijk is om dit punt te investeren in fundamenteel onderzoek en het toepassen van deze kennis in moleculaire veredeling. Dit geldt vooral voor gewassen 1 en 2 in de volgende kolom. Voor een van de OG, itaconic acid, heeft deze route als geleid tot transgene aardappel die itaconic acid ophoopt tot 2% van het drooggewicht van de knol. Het volgende doelgewas is suikerbiet. Voor verhogen van OG in gras (3) wordt vooral klassieke veredeling aanbevolen.	“Natte” gewassen met een groot vacuole volume. Voorbeelden: knollen en wortels. Ook bladcellen hebben een groot vacuole volume, maar gezien het sterke dag nachtritme van bladeren zou het wel eens moeilijk kunnen zijn om ophoping van OG in blad goed onder controle te krijgen. Knollen en wortels zijn veel meer een eindstation in opslag. Op basis van bovenstaande argumenten de volgende rangorde: 1. Suikerbietwortel (klassieke veredeling en GM) 2. Aardappelknol (klassieke veredeling en GM) 3. Gras (klassieke veredeling en TILLING) 4. Maïs (klassieke veredeling en GM)
Aminozuren	Vrijwel dezelfde overwegingen als voor OG. De onderzoeksopgave ligt vooral in het toepassen bestaande fundamentele kennis in moleculaire veredeling. Dit geldt vooral voor gewassen 1, 2 en 4 in de volgende kolom. Bij WUR PRI wordt op dit moment geprobeerd om grip te krijgen op het mechanisme achter opslag in de vacuole van lysine (aardappel). Volgende stap is het toepassen van verworven kennis in suiker of voederbiet. Voor gras (3) wordt vooral klassieke veredeling aanbevolen.	“Natte” gewassen met een groot vacuole volume. Voorbeelden: knollen en wortels. Ook bladcellen hebben een groot vacuole volume, maar gezien het sterke dag nachtritme van bladeren zou het wel eens moeilijk kunnen zijn om ophoping van OG in blad goed onder controle te krijgen. Knollen en wortels zijn veel meer een eindstation in opslag. Op basis van bovenstaande argumenten de volgende rangorde: 1. Suikerbietwortel (klassieke verdeling en GM) 2. Aardappelknol (klassieke verdeling en GM) 3. Gras (klassieke eredeling) 4. Maïs (klassieke veredeling en GM)
Aminozuren/eiwitten	Eiwitten zijn opgebouwd uit 20 aminozuren dus eiwitten kunnen ook een bron zijn van aminozuren, zeker als sommige aminozuren oververtegenwoordigd zijn, zoals glutaminezuur in tarwegluten. Gezien de te verwachten toename in de mondiale vraag naar eiwitten, zijn eiwitten ook belangrijk als ingrediënt voor food en feed. Belangrijk is dat er verschillende bronnen naast elkaar ontstaan, omdat er vooral behoefte is	Beste gewaskeuze op korte termijn: 1. Aardappeknol (klassieke veredeling) 2. Bietenblad (klassieke verdeling)

	aan een palet aan eiwitten met verschillende functionaliteiten (vezeleiwitten, smaakeiwitten, vetbindend, waterbindend, eiwitten met specifieke aminozuursamenstelling). Hiervoor is ook een palet aan gewassen nodig, zaad, blad en knol/wortelgewassen. Bladeiwit zal doorgaans een min of meer gelijke functionaliteit hebben, ongeacht of het nu van biet of gras komt. Grotere functionele verschillen zijn te verwachten voor eiwitten in zaden en knollen/wortels Voor de gewassen biet en aardappel ligt de onderzoeksopgave vooral in het begrijpen van het mechanisme achter eiwitophoping in knol en wortel en vervolgens het toepassen bestaande fundamentele kennis in moleculaire veredeling van aardappel en biet en leguminosen. Binnen de bladgewassen biet, gras, Miscanthus, maïs (vanwege de opbrengst 4.5 ton DS blad/ha wordt bietenblad meegenomen als bladgewas) is voldoende genetische variatie om een verdubbeling van de eiwitopbrengst te realiseren met klassieke veredeling.	Op langere termijn. Belangrijk is dat er verschillende bronnen naast elkaar bestaan, waaronder: 1. Gras (klassieke veredeling) 2. Voederbietwortel (klassieke veredeling en GM) 3. Zaden van een of meerdere van de leguminosen, waaronder erwt, lupine of veldboon (klassieke veredeling en GM) 4. Blad/stengels van Miscanthus of maïs (klassieke veredeling en GM) 5. Algen (klassieke veredeling)
Koolwaterstoffen	Er zijn drie rassen van de alg *Botryocoocus Braunni* die of alkenen, terpenen of carotenen maken. In de celwand van deze alg polymeriseren deze koolwaterstoffen tot een soort bioplastic. Doel van dit ontwikkeltraject is het opzetten van industriële productie van koolwaterstofmonomeren. Met het doel om een nieuwe generatie biopolymeren te maken. Noodzakelijke kennisactiviteiten om een op *B. braunii* gebaseerd productieplatform op te zetten zijn: 1) Genoomsequencing van de drie rassen; 2) Het ontrafelen van de synthese van de monomeren en de polymeren in de drie rassen en het identificeren van de bijbehorende genen; 3) het opzetten van een transformatiesysteem voor deze alg; 4) het ontwikkelen van veredelingstools. Het onderzoek is fundamenteel van aard.	Beste keuze: 1. De alg *Botryococcus braunii*
Polymeren (Cyanophycine en polyhydroxyalkanoaten)	Voor de productie en ophoping van deze moleculen is redelijk veel kennis aanwezig in de internationale onderzoeksarena. Het gaat hier vooral om het toepassen van deze kennis (de juiste genen en vectoren voor genetische transformatie) in een plant naar keuze, ofwel het maken van GM planten die deze stoffen ophopen. Gezien de aard van de synthese gaat het vooral om planten/onderdelen van planten die rijk zijn aan plastiden/chloroplasten, want dit compartiment geeft de hoogste opbrengst. Tweede criterium is dat het bij voorkeur moet gaan raffinagegewassen, omdat extractie en zuivering van genoemde stoffen inzet van hoogwaardige technologie vraagt.	Beste gewaskeuze, in volgorde van kansrijkheid: 1. Aardappelknol (GM) 2. Bietenblad (GM) 3. Energiegrassen als maïs en *Miscanthus* (GM)
Pectines	Pectines maken onderdeel van de celwand, en komen terecht in de pulpfractie die overblijft naar winning van zetmeel, olie, eiwit, suiker, chemicaliën, etc. De zijketens van de verschillende pectines (Homogalacturonanan, rhamnogalacturonan) zijn bepalend voor de (gebruiks)eigenschappen van pectines. Modicatie van deze zijketens maakt het mogelijk om taileor made pectines met gewenste eigenschappen te maken.	Beste gewaskeuze, in volgorde van kansrijkheid: 1. Aardappelknol (klassieke veredeling en GM) 2. Bietenwortel (klassieke veredeling en GM)
Zetmeel (en gemodificeerde zetmelen	Er is veel kennis over gemodificeerde zetmelen bij WUR. De natuurlijke locatie voor zetmeelsynthese en opslag is de amyloplast, wat aardappel als meest geschikte EU gewas maakt, en cassave voor de tropen.	Beste gewaskeuze: 1. Aardappelknol (klassieke veredeling en GM) 2. Maïs (klassieke veredeling en GM)
Lignine/cellulose/ Hemicellulose	De drie componenten komen voor in alle gewassen als onderdeel van celwanden. De genetische variatie voor de samenstelling celwanden in planten, inclusief de verwevenheid van de drie hoofdcomponenten lignine, cellulose en hemicellulose is aanzienlijk. Dit biedt mogelijkheden voor optimalisatie via veredeling. Veredeling moet zich richten op het sturen van celwandsynthese naar gewenste lignine en hemicellulose varianten en op het selecteren van genotypen met makkelijk ontsluitbare celwanden. Gecoördineerde R&D is nodig op het gebied van veredeling, Industriële Biotechnologie (enzymen voor afbraak van celwanden), en chemische synthese om te komen tot duurzame processen voor conversie van cellulose, lignine en	De drie componenten komen voor in alle gewassen. Er is niet zo zeer behoefte aan meer, alswel aan een betere samenstelling (bijvoorbeeld andere hemicellulose) en betere ontsluiting in individuele componenten. De beste gewaskeuze voor betere ontsluiting van hemicellulose en transformatie in furaangebaseerde chemicaliën is: 1. Miscanthus (klassieke veredeling en GM)

	hemicellulose in platformchemicaliën en energiedragers.	2. Aardappel (klassieke veredeling en GM) 3. Suikerbiet (klassieke veredeling en GM). 4. Maïs (klassieke veredeling en GM) Beste gewaskeuze voor de ontsluiting van biomassa in cellulose, hemicellulose en lignine zijn de meerjarige grassen, vanwege lage teeltkosten en hoge biomassa-opbrengst. Beste keus in EU context is: 1. *Miscanthus* (klassieke veredeling) 2. Maïs (klassieke veredeling en GM)
Rubber	Rubber is een natuurlijke component in de rubberboom. Hoge kwaliteit rubber komt ook voor in een tweetal andere gewassen, die bovendien in Europa kunnen worden geteeld: guayule en Russische paardenbloem. De grootste uitdaging is het verhogen van de totale biomassa(wortel)opbrengst en het rubbergehalte. De huidige opbrengst van bestaande commerciële wortelgewassen als suikerbiet en chicorei laten zien hoe groot de vooruitgang in wortelopbrengst is geweest, en potentieel kan zijn voor nog niet gedomesticeerde gewassen. Door het terughalen van de veredelingshistorie van biet en cichorei, bijvoorbeeld door genoomsequencing van historisch germplasm, kunnen de genen die essentieel zijn geweest voor wortelontwikkeling worden geïdentificeerd en kan de overwerving worden getraceerd. Door het identificeren van verwante genen in bijvoorbeeld R. paardenbloem en de locatie daarvan op het genoom van deze plant, kan gericht en sneller worden veredeld op het verhogen van de wortelopbrengst van dit nog niet gedomesticeerde gewas. Rubbergehalte heeft vooral te maken met de mate waarin gespecialiseerde latex producerende cellen tot ontwikkeling komen. Hoe de frequentie van deze cellen verhoogd kan worden, vraagt fundamentele kennis over het mechanisme achter de transitie van meristeem(stam)cellen naar latexproducerende cellen.	Beste gewaskeuze voor EU 1. Guayule en Russische paardenbloem (beide klassieke veredeling en GM)