

Earth, Life and Social Sciences

Utrechtseweg 48

3704 HE Zeist

Postbus 360

3700 AJ Zeist

www.tno.nl

T +31 88 866 60 00

F +31 88 866 87 28

TNO-rapport**TNO 2017 R10195 | Eindrapport****Verwaarding van reststromen in Nieuw-Reijerwaard**

Datum	Februari 2017
Auteur(s)	Dr. ir. J. van Groenestijn Dr. T. Bastein Dr. T. Slaghek
Exemplaarnummer	
Oplage	
Aantal pagina's	44 (incl. bijlagen)
Aantal bijlagen	
Opdrachtgever	Gemeente Rotterdam/ Stadsontwikkeling Economie/Food Cluster T.a.v. Sharon Janmaat-Bouw De Rotterdam, Wilhelminakade 179 Rotterdam
Projectnaam	Verwaarding van reststromen in Nieuw-Reijerwaard
Projectnummer	060.23193

Alle rechten voorbehouden.

Niets uit deze uitgave mag worden vermenigvuldigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze dan ook, zonder voorafgaande toestemming van TNO.

Indien dit rapport in opdracht werd uitgebracht, wordt voor de rechten en verplichtingen van opdrachtgever en opdrachtnemer verwezen naar de Algemene Voorwaarden voor opdrachten aan TNO, dan wel de betreffende terzake tussen de partijen gesloten overeenkomst.

Het ter inzage geven van het TNO-rapport aan direct belanghebbenden is toegestaan.

Samenvatting

In opdracht van de Gemeente Rotterdam heeft TNO een studie gedaan naar de mogelijkheden van de verwaarding van reststromen uit de verwerking en handel van AGF (aardappelen, groente en fruit) in de Reijerwaard. In deze studie is een reeks verwaardingsroutes geïdentificeerd en beschreven. Van de meest interessante routes zijn productieprocessen beschreven en schattingen gemaakt van de investeringskosten en operationele kosten. Op basis hiervan is het economisch potentieel ingeschat. Daarbij is ook rekening gehouden met het effect van de schaalgrootte van bioraffinaderijen en is de stand der techniek (Technology Readiness Level) meegenomen. De overwegingen staan samengevat in onderstaande Tabel.

Valorisatieroute	Economisch potentieel (€/ton AGF)	TRL	Afname product*	Status en vooruitzicht
Biogas	Laag/negatief	9	++	Huidige praktijk
Fermenteerbare suikers	-3	9	+	Met huidige technologie laag economisch potentieel, maar verbeteringen op korte termijn mogelijk
Furanen	7	3-4	0	Nog in ontwikkeling. Tussen 2020 en 2025 commercieel
Eiwit (RuBisCO)	72	4	0	Nog in ontwikkeling. In 2020 commercieel
Eiwit en suikers	69	4	0	--
Eiwit en furanen	79	3-4	0	--
Pectine	positief	9	++	Snel te implementeren
β-caroteen en lycopen	positief	9	++	Snel te implementeren

* Huidige zekerheid omtrent afname product.

De stand der techniek maakt het waarschijnlijk dat er positieve kansen bestaan voor het valoriseren van reststromen van groente- en fruitverwerking en daaraan gerelateerde handelsstromen. Als we kijken naar de meest interessante business case dan is duidelijk dat economisch gezien die liggen in de valorisatie van hoogwaardige eiwitten (in hun oorspronkelijke staat, zoals RuBisCO), alleen of in combinatie met de valorisatie van bijvoorbeeld furanen of suikers. De combinatie eiwit en suiker is waarschijnlijk sneller te realiseren dan die van eiwit en furanen, wegens de langere ontwikkelingstijd van het productieproces voor furanen. Eiwitten dienen te worden geïsoleerd uit restafval van groene groenten. De business case voor het produceren van fermenteerbare suikers lijkt nu nog matig, maar kan op korte termijn door een gerichte technologie ontwikkeling sterk verbeteren.

Hoogwaardige inhoudsstoffen lijken interessant maar de afzet is vaak onzeker. Chemicaliën zoals pectine en β-caroteen worden reeds elders geproduceerd, maar het is nog onzeker of deze ook in Reijerwaard tegen concurrerende productiekosten kunnen worden gefabriceerd.

In eerste instantie wijzen deze bevindingen op de potentie van Nieuw-Reijerwaard om een belangrijke voortrekkersrol te gaan vervullen. Deze business cases kunnen zich ontwikkelen mits er voldoende aanbod is van de benodigde secundaire reststromen en de technologie zich voldoende ontwikkelt in de komende jaren. Ten aanzien van dat laatste zou gerichte participatie in relevante onderzoekscollectieven aan te bevelen zijn.

Ten aanzien van het eerste (voldoende aanbod van reststromen) liggen hier juist nu kansen voor de ontwikkeling van Nieuw-Reijerwaard, als Nieuw-Reijerwaard in staat is om bedrijvigheid aan te trekken langs de hele keten (van import, verhandelen, veilen en herverpakking, naar bewerken van groenten en fruit). In dat geval zou een synergie kunnen ontstaan waarin de valorisatie van restafval als gevolg van deze bedrijvigheid kan plaatsvinden en toegevoegde waarde en hoogwaardige werkgelegenheid wordt gecreëerd. Nieuw-Reijerwaard kan op die manier een voortrekkersrol spelen in het opzetten van een *Biobased Industrial Symbiosis Park*. Vooral nu kunnen de ontwikkelpartners daarop inspelen, door geschikte bedrijvigheid te zoeken en te verleiden zich te vestigen in dit gebied.

Inhoudsopgave

	Samenvatting	2
1	Inleiding	6
1.1	Aanleiding: creatie van hoogwaardige werkgelegenheid in Nieuw-Reijerwaard	6
1.2	Breed palet omzettingroutes in beeld	6
1.3	De potentiële waarde van valorisatie van biotische reststromen	7
1.4	Investeringsklimaat voor biobased zeer gevoelig voor schaalgrootte	8
2	Inventariseren van de beschikbare of benodigde reststromen	10
2.1	Hoeveelheid beschikbare reststromen als uitgangspunt	10
2.2	Samenstelling van reststromen	12
2.3	Conclusie	12
3	Verwerkingstechnologieën	13
3.1	Inleiding	13
3.1.1	Niet-gescheiden stromen	13
3.1.2	Gescheiden stromen	14
3.2	Productie van fermenteerbare suikers	14
3.3	Productie van furanen en bioaromaten uit de koolhydraatfractie	15
3.4	Winning van eiwit uit plantenresten	16
3.5	Hoogwaardige inhoudsstoffen	18
3.6	Andere verwaardingsmogelijkheden	20
4	Opbrengsten en waarde	22
5	Technology Readiness Level (TRL)	24
6	Technisch-economische evaluatie van de mogelijke verwerkingsroutes	25
6.1	Economische analyse van de productie van fermenteerbare suikers uit AGF reststromen	25
6.1.1	Beschrijving van het productieproces	25
6.1.2	Procesontwerp en investeringskosten	25
6.1.3	Operationele kosten	27
6.1.4	Bespreking	28
6.1.5	Schaaleffecten	29
6.2	Economische analyse van de productie van furanen en bioaromaten uit de koolhydraatfractie	29
6.2.1	Beschrijving van het productieproces	29
6.2.2	Economische evaluatie	30
6.3	Economische analyse van de productie van RuBisCO uit AGF reststromen	31
6.4	Overzicht van economisch potentieel van AGF reststromen	31
6.4.1	Afwegingen	31
7	Klantgroepen	35
7.1	Fermenteerbare suikers	35
7.2	Furanen en bioaromaten	35
7.3	Hoogwaardige inhoudsstoffen	36

8	Conclusies en aanbevelingen voor Nieuw-Reijerwaard	37
9	Referenties	40
10	Verantwoording	41

1 Inleiding

1.1 Aanleiding: creatie van hoogwaardige werkgelegenheid in Nieuw-Reijerwaard

De Metropoolregio Rotterdam-Den Haag (MRDH) zet via de Roadmap Next Economy (RNE) in op innovatieve investeringen die garant moeten staan voor een duurzame en hoogwaardige werkgelegenheid in de regio. Met dit doel worden nu diverse projecten uitgerold, waarvan het onderwerp van deze studie -het verwaarden van biotische reststromen afkomstig uit de AGF-hoek (aardappelen, groente, fruit)- er één is.

De focus op AGF is gekozen vanwege de zeer dominante rol die het huidige gebied rond The Greenery in Barendrecht speelt in de AGF-logistiek in Nederland. De uitbreiding van dat gebied tot met nog eens 96 hectare onder de naam Nieuw-Reijerwaard biedt de mogelijkheid voor nieuwe bedrijvigheid, met een uitstraling en opschaling naar de hele regio. Dergelijke bedrijvigheid zou zich vanzelfsprekend niet perse hoeven te richten op die stromen die slechts in Nieuw-Reijerwaard beschikbaar komen. Ten behoeve van het bereiken van een afdoende grote kritische massa zouden reststromen aangeboord kunnen worden uit een zodanige geografische spreiding dat transport en logistiek verantwoord zijn.

De betrokken partijen, de gemeente Rotterdam en de RNE, zijn gebaat bij een analyse die duidelijk maakt welke reststromen de grootste kans hebben tot de opzet van rendabele bedrijvigheid. Om tot een dergelijk inzicht te komen zijn de volgende stappen noodzakelijk:

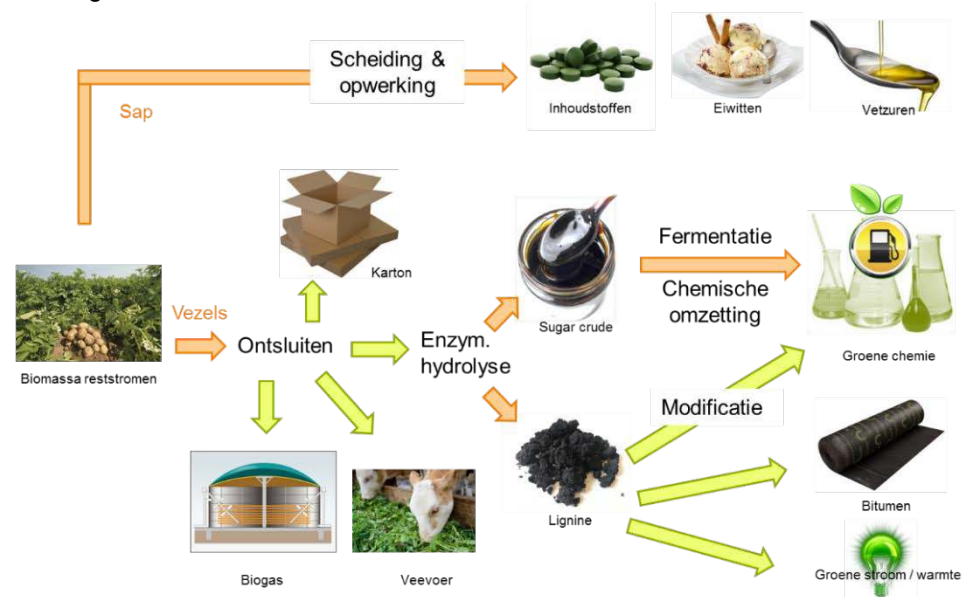
- Inventariseren van de beschikbare of benodigde reststromen;
- Inventariseren van mogelijke verwerkingsroutes;
- Inzicht verwerven in de economische aspecten voor een rendabele investering (kosten, baten, potentiële klantgroepen);
- Inschatten van de noodzakelijke schaalniveaus op basis waarvan verwaarding kan plaatsvinden.

Daarmee is het doel van deze studie het bieden van een aantal kosten-batenanalyses op basis waarvan lokale stakeholders kunnen besluiten vervolgstappen (publiek-private samenwerkingen, investeringsplannen, ruimtelijke ordeningsvraagstukken) te ondernemen. Bij die vervolgstappen behoort ook het in beeld krijgen van additionele (naast de genoemde techno-economische) barrières om tot nieuwe en innovatieve business cases te komen (beleidsaspecten, infrastructuur, geschoolde arbeid, etc.). Die wezenlijke aspecten worden in deze studie vooralsnog slechts aangestipt.

1.2 Breed palet omzettingroutes in beeld

Nederlandse partijen zijn zeer actief op het terrein van de biobased economy. Het scheppen van winstgevendende nieuwe bedrijvigheid in het licht van een afnemende leveringszekerheid van traditionele petrochemische grondstoffen speelt daarin een grote rol. Eén van de speerpunten rond de biobased economy is het verwaarden van diverse afvalstromen uit biomassa. Het gaat daarbij om omzetten van biomassa in een grondstof voor de chemische industrie of andere hoogwaardige

halfabricaten. Wat daarbij van belang is, is dat in het begin van de identificatie van mogelijke verwaardingsstappen zoveel mogelijk stromen in beeld worden gebracht. Een voorbeeld daarvan is te zien in Figuur 1-1 waar verschillende verwerkingen worden getoond van biomassa reststromen.



Figuur 1-1 Voorbeeld biobased routes voor het verhogen van de waarde van biomassa reststromen.

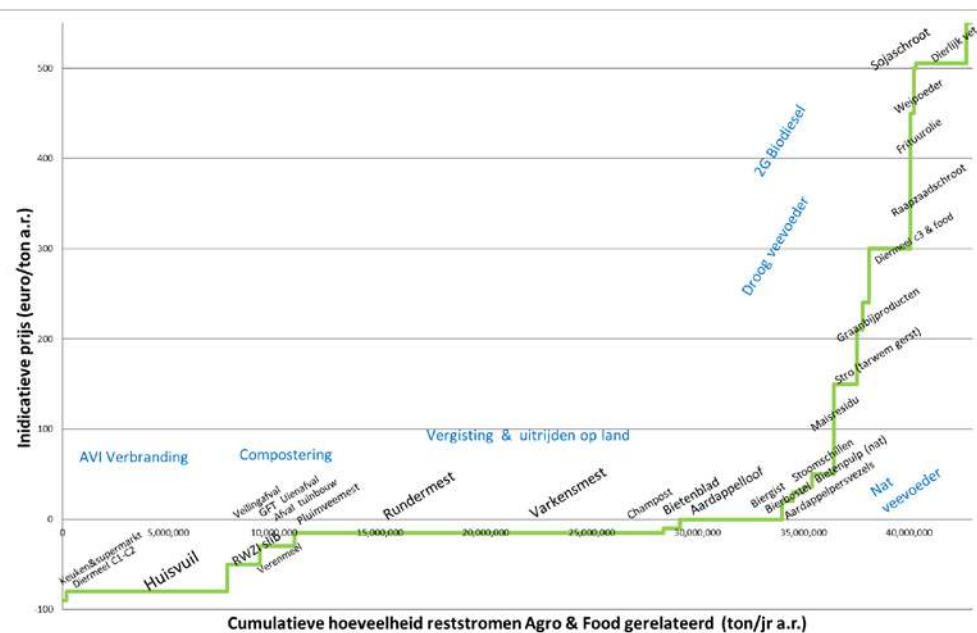
Een dergelijk brede aanvliegroute garandeert dat mogelijke producten en daarbij behorende klantgroepen niet over het hoofd worden gezien. De scope voor het onderhavige onderzoek is overigens kleiner dan de verwerkingsroutes uit Figuur 1-1 suggereren. Vanwege de aard van Nieuw-Reijerwaard is ervoor gekozen te focussen op zogenaamde secundaire biotische (afkomstig uit biomassa) reststromen. Het onderscheid tussen primaire, secundaire en tertiaire biotische reststromen is als volgt:

- Primaire reststromen: reststromen die bij oogst, opslag en transport vrijkomen voorafgaand aan de eerste bewerking;
- Secundaire reststromen: reststromen die vrijkomen tijdens de primaire verwerking binnen de agro-industrie;
- Tertiaire reststromen: reststromen die vrijkomen na de productie of tijdens of na het beoogde gebruik/de beoogde consumptie door de eindgebruiker.

1.3 De potentiële waarde van valorisatie van biotische reststromen

In 2013 publiceerde TNO het rapport *Kansen voor de Circulaire Economie in Nederland* [1]. Hierin werd o.a. aandacht besteed aan de potentie die er zit in het creëren van meerwaarde uit organische afvalfracties. Hiervoor werden alle significante biotische afvalstromen in Nederland in kaart gebracht, werd geanalyseerd welke applicaties daar nu al mee werden bereikt en welke mogelijk nieuwe applicaties met hogere meerwaarde zouden kunnen worden bewerkstelligd. In deze studie werd aangetoond dat de waarde van de huidige inzet van biotische reststromen ongeveer 3,5 miljard euro bedraagt, en dat er een potentie aanwezig is van 1 miljard euro aan baten, zonder dat daar een uitgebreide kosten- en haalbaarheidsstudie onderligt.

Een belangrijk inzicht in het analyseren van meerwaarde uit de circulaire economie en (in dit geval) economische meerwaarde uit verwaarding van primaire, secundaire en tertiaire reststromen is dat onze huidige omgang met biotische restmaterialen al significante waarde vertegenwoordigt. In Figuur 1-2 zijn horizontaal de hoeveelheden biotisch restmateriaal uitgezet gerangschikt naar toenemende waarde per eenheid gewicht). Vooral materialen die nu worden ingezet als veevoeder en 2G biodiesel zullen meer dan 100 €/ton moeten opleveren wil een andere verwaarding van deze stromen economisch zin hebben. Deze business-as-usual-verwerking zal een belangrijk element zijn bij de bepaling van de uiteindelijke kosten-batenanalyse van de in deze studie te onderzoeken processen.



Figuur 1-2 Cumulatieve kosten curve van verwaarding biotische reststromen voor Nederland in 2013 [1]

1.4 Investeringsklimaat voor biobased zeer gevoelig voor schaalgrootte

TNO voerde in 2014 in opdracht van het Ministerie van Economische Zaken de studie "Quicksan investeringsklimaat voor biobased bedrijven" uit [2]. Deze studie was gebaseerd op een aantal interviews met onderzoekers, beleidsmakers, industriëlen en investeerders, gerelateerd aan de biobased economie. Uit deze interviews bleek dat de overwegingen die een rol spelen bij het kiezen van een locatie voor commerciële productiefaciliteiten primair berusten op de kosten en beschikbaarheid van biomassa en markttoegang. Bij het rondkrijgen van de business case spelen arbeidskosten en productiemiddelen (energiekosten en milieuprestaties) een belangrijke rol.

Biomassa-kosten kunnen tot zo'n 50% van de kostprijs uitmaken, en daardoor is grootschalige en betrouwbare levering een hoofdzaak voor veel investeerders. Voor productie van hoogwaardige 'specialty chemicals' speelt dit in mindere mate, maar is het vaak wel degelijk relevant. In een internationaal competitieve markt zullen

bedrijven zich zo mogelijk daar vestigen waar de biomassa tegen lage kosten en in overvloed aanwezig is. De aantrekkelijkste regio's voor wat betreft biomassabeschikbaarheid zijn de Verenigde Staten, Brazilië en diverse landen in Zuidoost Azië (Thailand, Maleisië, Indonesië). Deze regio's kennen een grote diversiteit aan beschikbare gewassen; het gaat dan om maïs en suikerriet maar ook om houtige biomassa. Al deze producten worden op dit moment buiten Europa tegen lagere kosten aangeboden dan binnen Europa.

Naast kosten voor biomassa, arbeid en productie, bleek ook regelgeving (met name verbonden met transport van afvalstoffen en REACH: Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals) een belemmerende invloed te hebben op investeringsbereidheid. Deze aspecten zullen dan ook bij de bepaling van levensvatbaarheid van hier te analyseren business cases een grote rol spelen.

2 Inventariseren van de beschikbare of benodigde reststromen

2.1 Hoeveelheid beschikbare reststromen als uitgangspunt

Voor het ontwikkelen van bedrijvigheid en hoogwaardige en stabiele werkgelegenheid op het gebied van de valorisatie van secundaire biotische reststromen, is een kwalitatief en kwantitatief hoogwaardig en constant aanbod van deze reststromen van groot belang. Deze stromen dienen bovendien binnen een zekere afstand beschikbaar te zijn, vanwege de mogelijk te hoge transportkosten (zie ook paragraaf 6.1.5).

Als we ons baseren op de huidige samenstelling van de bedrijvigheid in Foodcenter Reijerwaard dan is te constateren dat de grootste 25 bedrijven vrijwel zonder uitzondering betrokken zijn bij import, collectie, samenstelling, opslag en distributie [3]. Dergelijke activiteiten leiden niet bij voorbaat tot biobased reststromen waarop een solide business case is te maken. Op dit moment zijn geen verwerkingsfirma's actief die als gevolg van hun operatie significante secundaire biotische reststromen produceren. Deze studie kan zich daarom niet baseren op de verwaarding van aanwezige stromen, maar op een analyse van de benodigde reststromen om solide biobased business cases te bouwen, om daarmee richting te geven aan een ontwikkelstrategie van Nieuw Reijerwaard. Hierop komen we in Hoofdstuk 8 op terug.

Secundaire biobased reststromen zouden afkomstig kunnen zijn van bewerkte en convenience AGF (gamma 4 en 5 bedrijven [4]). Grootschalige bewerking van groenten en fruit (en daarmee de productie van goed te specificeren stromen secundair restmateriaal) vindt in Nederland plaats bij Vezet (Warmenhuizen), Hessing Supervers (Zwaagdijk, Helmond en Sint Annaparochie) en Heemskerk (Rijnsburg).

Vezet produceert o.a. vers gesneden (panklare) groenten, fruitsalades, roerbakmixen, rauwkost, maaltijdsalades en pizza's voor Albert Heijn en andere afnemers. Vezet is geïnteresseerd in het valoriseren van hun afvalstromen die nu naar de vergister gaan of als diervoer voor veehouders worden ingezet en de firma geld kosten [5]. Bij Vezet worden per week 1,5 miljoen kilo aan grondstoffen verwerkt en wordt wekelijks 250.000 kilo groenafval afgevoerd. Dit komt neer op 16% snij- en ander restafval ten opzichte van de hoeveelheid aangevoerde grondstoffen. De snijresten zullen een afspiegeling zijn van wat er in de supermarkt in het koelvak ligt aan gesneden en bewerkte groenten en fruit. Dat is zeer divers en bestaat uit tientallen groente- en fruitsoorten.

Het Europese FUSIONS-project geeft ook een inschatting van het percentage afval als gevolg van verwerking en handel [6]. In de EU wordt 45% van het fruit en groenten verspild als afval. Dat is een optelsom van verspillingen tijdens primaire productie, verwerking, handel en verkoop, food service en huishoudens. De categorie verwerking draagt voor 19% bij aan de verspilling, handel en verkoop 5%. Verwerking, handel en verkoop dragen samen ($45\% \times (19\% + 5\%) =$) 10,8% hieraan bij. In Nederland zal jaarlijks ongeveer 10 Mton groenten en fruit worden

verwerkt. Op basis van deze FUSIONS-cijfers zal de hoeveelheid reststromen die vrijkomt door verwerking, handel en verkoop in de orde van 1 Mton per jaar liggen.

Een andere bron van aanvoer van secundair materiaal betreft de hoeveelheid bij veilingen uit de markt genomen groenten en fruit. Een studie naar dergelijke materialen is uitgevoerd door de WUR, gericht op de veiling Zaltbommel (Greenport Betuwse Poort [7]). Uit dit rapport blijkt dat de grootste reststromen van slechts zeven producten afkomstig zijn: komkommer (5 t/j), rode paprika (29 t/j), groene paprika (19 t/j), kropsla (6 t/j), andijvie (22 t/j), uien (14 t/j) en courgettes (8 t/j). Daarnaast worden ook witlof, snijbonen, raapstelen, asperges en bloemkool in aanzienlijke hoeveelheden uit de markt gehaald. Het aanbod van reststromen fluctueert sterk in hoeveelheid en in de tijd (in de winter is deze laag en in augustus en september hoog). Zoals het rapport stelt *"Als productie en afzet goed voorspeld zouden kunnen worden zal de veiling altijd willen vermijden dat product wordt doorgedraaid."* De totale hoeveelheid reststromen in de bekeken jaren bij deze veiling ligt meestal tussen de 115 en 200 ton/jaar.

De huidige bestemming van doorgedraaide groenten is nu veevoer wat om niet aan de veehouder wordt overgedragen. De kosten van de afvoer zijn voor rekening van de veehouder. Indien zeer grote volumes moeten worden afgevoerd gaat dat via de fouragehandel á 15-20 €/ton, maar dat komt weinig voor.

De meest gedetailleerde informatie over in Nederland beschikbare reststromen uit verwerking en veiling is afkomstig van Fytagoras [8]. De top 10 van de Nederlandse opengronds tuinbouwgewassen (ui, witlof, spinazie, andijvie, bloemkool, witte kool, peen, prei, sla, bonen en spruitkool) leveren 125 kton reststromen bij verwerking en 13 kton bij de supermarkten en detailhandel. Specifieke reststromen die vrijkomen tijdens veiling, retail en verwerking zijn afkomstig van uien (12 tot 18 kton/jaar) en witlof (93 kton/jaar, vooral pennen). Volgens deze cijfers kwam van alle in Nederland geproduceerde en geïmporteerde groente en fruit 1.286.000 ton groente en 1.387.000 ton fruit bij de verwerkende industrie en detailhandel terecht. Bij de snijderijen komt 20% van de massa ingekochte groente vrij als reststroom. Bij veilingen ligt dat percentage lager. Op basis van deze gegevens kunnen de reststromen groenten en fruit in Nederland bij veilingen en verwerkers geschat worden op 535 kton. Ongeveer de helft hiervan is afkomstig van groentereststromen.

Naast deze stromen zijn er ook significante stromen afkomstig uit de aardappelverwerkende industrie [9]. In Nederland wordt jaarlijks 8 miljoen aardappelen verbouwd waarvan 2,5 miljoen ton naar de verwerkers gaat. Een groot deel van de aardappelen wordt verwerkt door gespecialiseerde bedrijven zoals Avebe en fritesbakkers. Naar analogie van de percentages reststromen bij groenteverwerking kunnen we aannemen dat door aardappelverwerkers ca 500 kton reststromen per jaar wordt geproduceerd, o.a. aardappelstoomschillen en grijs zetmeel. Grijs zetmeel komt vrij uit de aardappel bij de bereiding van frites, specifieke tijdens het blancheren.

Het is vanzelfsprekend niet met zekerheid te zeggen hoeveel van de reststromen die in Nederland vrijkomen uiteindelijk mogelijkwijs beschikbaar kunnen komen voor nieuwe bedrijvigheid in Nieuw-Reijerwaard. Op basis van de bovenstaande literatuurgegevens nemen we voor een inschatting van de potentiële hoeveelheid materiaal dat ter beschikking kan komen (in de vorm van doorgedraaide groenten

van de veiling, snijresten en resten gekookt/bewerkt materiaal) als uitgangspunt de hoeveelheid geïmporteerde en zelf-geteelde producten. Dit komt neer op 4,6 miljoen ton groente en fruit per jaar en ongeveer 4,1 miljoen ton AGF per jaar eigen teelt (overigens bedroeg de export in 2013 5,6-6,7 miljoen ton). Bekend is dat Reijerwaard een kwart van de AGF omzet voor zijn rekening neemt. Momenteel zou dat betekenen dat een kwart van de import plus Nederlandse teelt Reijerwaard passeert, oftewel ongeveer $(0,25 \times (4,6 + 4,1) =) 2,2$ miljoen ton groente en fruit per jaar. Indien hiervan 15% als afval kan worden aangemerkt komt dat neer op een potentieel beschikbare AGF stroom van 326.000 ton/jaar.

2.2 Samenstelling van reststromen

Voor het genereren van valorisatieroutes moet worden gekeken naar de chemische samenstelling van de groenten, fruit en aardappel reststromen. Hierbij kan onderscheid worden gemaakt tussen hoofdcomponenten zoals cellulose, pectine en eiwit (naast water) en hoogwaardige stoffen die in kleine hoeveelheden voorkomen (alkaloïden, terpenen, carotenoïden, flavonoïden, vitaminen).

Voor de hoofdcomponenten, zoals koolhydraten, heeft het geen zin om voor tientallen verschillende groenten- en fruitsoorten ook evenzoveel verschillende valorisatieroutes te schetsen. Daarvoor lijkt de samenstelling van de gewassen te veel op elkaar en wordt voorbij gegaan aan kosten-efficiëntie. Maar voor bijzondere componenten zoals carotenoïden is een scheiding van op groentensoorten wél interessant. Eiwit neemt hierbij een tussenpositie in. Hoewel alle groentensoorten eiwit bevatten, is het apart verzamelen van (eiwitrijke) groene bladgroente gunstig voor de economie van een eiwitwinningsproces. In verschillende bronnen is de samenstelling van diverse groente en fruitsoorten genoemd (zie bijlage A). Gebruikmakend van samenstelling van diverse groente en fruitsoorten (zie Appendix A) is de samenstelling van het groente-en-fruitmengsel geschat op ongeveer 14% droge stof en 86% water. De aanwezige droge stof zal ongeveer bestaan uit 30% zetmeel en suiker, 30% vezels, 18% eiwit, 1,5% vet en 4% mineralen. De 30% vezels bestaat uit verschillende polymeren waarvan ongeveer 18% cellulose, 7% pectine, 3% hemicellulose en 2% lignine op basis van totale groente/fruit droge stof.

2.3 Conclusie

Op dit moment is in Reijerwaard nog niet zoveel biomassa beschikbaar voor bioraffinage. Op basis van beschikbare data over AGF reststromen in Nederland is een beeld gevormd van de volumes die in de toekomst in Reijerwaard verwerkt zouden kunnen worden. In het vervolg gaan we uit van een jaarlijkse hoeveelheid van 326.000 ton AGF reststromen die afkomstig is van verwerkers en veilingen en die in Reijerwaard geraffineerd zouden kunnen worden. De gemiddelde samenstelling van de gemengde AGF reststroom wordt geschat op 14% droge stof en 86% water. De aanwezige droge stof zal ongeveer bestaan uit 30% zetmeel en suiker, 30% vezels, 18% eiwit, 1,5% vet en 4% mineralen. De 30% vezels bestaat uit verschillende polymeren waarvan ongeveer 18% cellulose, 7% pectine, 3% hemicellulose en 2% lignine op basis van totale groente/fruit droge stof.

3 Verwerkingstechnologieën

3.1 Inleiding

Ervan uitgaande dat de geschatte nevenstromen van 326.000 ton/jaar gemiddeld 14% droge stof bevatten, betekent dit dat er ongeveer 45.000 ton materiaal beschikbaar is voor verdere valorisatie. In de Reijerwaard zullen deze nevenstromen worden geproduceerd door de veiling, snijresten en bewerkt materiaal. Verwacht mag worden dat dit materiaal vooral uit biopolymeren en as (anorganisch materiaal) bestaat. Met name de aanwezige biopolymeren zijn interessant om te gaan verwaarden anders dan in de vorm van veevoer en biogas.

Over het algemeen kan worden gesteld dat deze type nevenstromen ongeveer allemaal dezelfde biologische componenten bevatten zoals koolhydraten, eiwitten, vetten/lipiden, lignine en as (anorganisch). Deze hoofdcomponenten zullen de basis worden van gerichte bioraffinage. Conceptueel kan onderscheid gemaakt worden tussen verwerking van niet-gescheiden en gescheiden stromen.

In de volgende paragrafen in dit hoofdstuk zullen verschillende verwaardingsprocessen worden behandeld.

3.1.1 Niet-gescheiden stromen

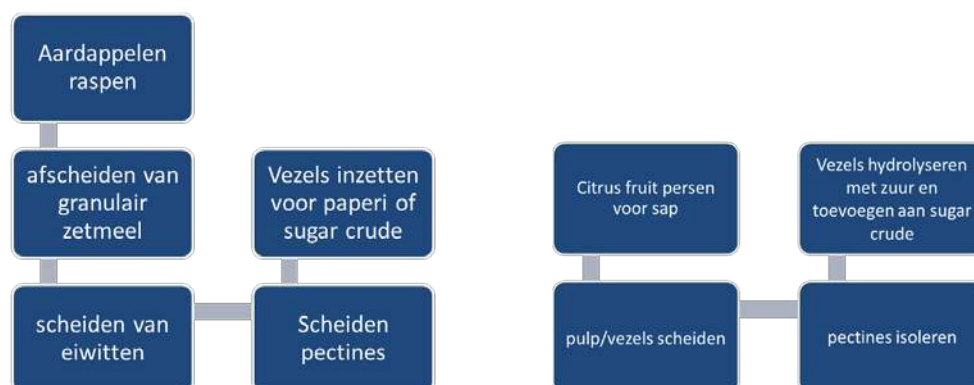
In deze stromen zitten verschillende componenten van verschillende biologische oorsprong door elkaar. Het gericht isoleren van één type component is complex en is in het algemeen economisch niet rendabel. De bioraffinage zal zich moeten richten op generieke isolatie. Een voorbeeld betreft pectine. Wanneer pectines van verschillende biologische oorsprong aanwezig zijn, heeft het geen zin om de bioraffinage specifiek op één bepaald type pectine te richten. De processtappen die wij meenemen in de verdere analyse van de generieke bewerking van dergelijke niet-gescheiden stromen zijn weergegeven in Figuur 3-1.



Figuur 3-1 Processtappen voor de verwerking van niet-gescheiden reststromen.

3.1.2 Gescheiden stromen

In dit geval kan een meer specifieke bioraffinage plaatsvinden. Ook in deze stromen zullen verschillende componenten aanwezig zijn, maar doordat er (voor)scheiding heeft plaatsgevonden zullen deze componenten dezelfde biologische oorsprong hebben. Dit kan een groot voordeel zijn. Pectines uit citrusvruchten hebben bijvoorbeeld een hoge toegevoegde waarde en als het mogelijk is om citrusfruit te scheiden van ander fruit kan dit een positief effect op de business case hebben. In Figuur 3-2 staan een paar voorbeelden van mogelijke raffinageroutes van gescheiden AGF-reststromen.



Figuur 3-2 Voorbeelden van processtappen voor de verwerking van gescheiden reststromen.

Voor een bioraffinagefabriek hoeft dit niet te betekenen dat verschillende bioraffinagestraten aangeschaft hoeven te worden. Het is alleen van belang dat een bioraffinagestraat de flexibiliteit heeft om verschillende type units te kunnen gebruiken.

Tenslotte blijft aan het einde van de lijn een stroom over met vooral anorganisch materiaal (as). Dit materiaal zou gedroogd kunnen worden en als geopolymer kunnen worden afgezet als alternatief voor bijvoorbeeld portland cement.

3.2 Productie van fermenteerbare suikers

De fermentatie-industrie is bekend door de productie van ethanol, melkzuur, aminozuren en organische zuren (zoals citroenzuur). Deze industrie gebruikt nu vooral suikers als grondstoffen die worden geproduceerd uit zetmeel of suikerriet en suikerbieten (sucrose). Het gebruik van deze grondstoffen levert veel druk op in de markt voor voedingsgewassen. Dat is vooral het geval als het gaat om grote hoeveelheden (zoals ethanol) of als de duurzaamheid van het productieproces moet worden verbeterd. Daarom is steeds meer belangstelling voor de toepassing van organisch reststromen. Uit deze residuen kunnen vaak ook suikers worden geproduceerd. Voorbeelden zijn tarwestro, maisstro, suikerrietbagasse, grassen, riet en kokosvezels. Bioethanolproducenten die tarwezetmeel inwisselen voor tarwestro of andere residuen als grondstof, schakelen daarmee over van eerste naar tweede generatie bioethanolproductie.

Echter, de productie van deze zogenaamde 2^e generatie fermenteerbare suikers uit gras en stro bestaat uit een reeks complexe productiestappen. De suikers in gras en stro zijn namelijk ingebouwd in een stevig complex van cellulose, hemicellulose en lignine. Dit zogenaamde lignocellulose moet eerst worden ontsloten. Deze ontsluiting wordt vaak uitgevoerd met hoge temperaturen, loog, zuur, stoomexplosie of oplosmiddelen en maakt de aanwezige cellulose en hemicellulose toegankelijk voor enzymen. Door toevoegen van enzymen kan hierna de cellulose worden omgezet in glucose (een monosacharide) en de hemicellulose in een mengsel van monosachariden. Op deze manier wordt een oplossing van fermenteerbare suikers in water verkregen. De onoplosbare lignine kan worden afgescheiden en een eigen valorisatieroute krijgen. Er bestaan op dit moment wereldwijd ongeveer vier grote tweede-generatie bioethanol fabrieken en vele sub-commerciële semi-technische installaties.

Voor valorisatie van de droge stof van AGF gelden dergelijke beperkingen in veel mindere mate aangezien deze weinig lignine bevatten (2%) en veel koolhydraten (50-60%). Er is dan ook niet veel lignocellulose aanwezig en het materiaal bevat veel goed toegankelijke koolhydraten. Die kunnen direct met enzymen worden omgezet in fermenteerbare suikers (monosachariden en disachariden) of na passage van een simpele jetcooker. Door het hoge watergehalte zal nog wel een concentratiestap moeten worden uitgevoerd. Ook moeten vaste deeltjes worden afgescheiden en, afhankelijk van de wensen van de fermentatiefabriek, ook opgelost eiwit.

Een alternatief is om de omgekeerde route te volgen door eerst eiwit en andere waardevolle inhoudsstoffen te winnen uit AGF en het overgebleven materiaal te gebruiken voor de productie van fermenteerbare suikers.

3.3 Productie van furanen en bioaromaten uit de koolhydraatfractie

Aromaten zijn een belangrijkrijke grondstof voor de productie van o.a. polystyreen en ABS-rubber. Binnen de chemische industrie bestaat een toenemende belangstelling voor het produceren van aromaten uit biomassa. De reden is tweeledig. Aromaten worden nu uit een fractie van ruwe olie geproduceerd in olieraffinaderijen, maar door de overschakeling naar gassen (aardgas, schaliegas) als grondstof wordt steeds minder olie geraffineerd. Daardoor dreigt een tekort te ontstaan aan aromaten. Daarnaast willen producenten uit duurzaamheidsoverwegingen en een behoefte aan meer leveringszekerheid overschakelen naar hernieuwbare grondstoffen zoals biomassa. Bioaromaten kunnen geproduceerd worden uit koolhydraten, lignine en eiwit. Echter, voor AGF ligt een productie uit de koolhydraatfractie voor de hand.

In de productie van bioaromaten uit koolhydraten zijn furanen een tussenproduct. Deze furanen (furfural en hydroxy-methylfurfural (5-HMF)) kunnen ook in andere markten worden ingezet. Furfural wordt nu wereldwijd door minstens 48 bedrijven geproduceerd (o.a. uit bagasse) in een totale hoeveelheid van 250.000 ton per jaar. De waarde bedraagt € 750/ton en de toepassingen zijn oplosmiddel, smeerolie en grondstof voor furfurylalcohol. De productie van 5-HMF (door 11 bedrijven) is gering, maar de verbinding is één van de mogelijke grondstoffen voor polyethyleen-furanoaat (PEF), een alternatief voor PET.

Afhankelijk van het proces dat wordt gebruikt voor de productie van furanen uit biomassa, kan ook levulinezuur (geen furan) worden geproduceerd. Levulinezuur staat in de top 12 van de US Department of Energy voor veelbelovende chemicaliën die uit biomassa-koolhydraten kunnen worden geproduceerd. Nu is de productie nog ruim 2.000 ton/jaar (door 18 bedrijven). De huidige waarde bedraagt € 2000/ton, maar verwacht wordt dat de markt sterk gaat expanderen en dat de waarde dan daalt tot € 850/ton. Levulinezuur kan worden gebruikt voor de productie van polycarbonaat, aminolevulinezuur (herbicide), acrylaten en methyltetrahydrofuran (benzineadditief en oplosmiddel).

Op diverse plaatsen in de wereld wordt gewerkt aan de verbetering van processen voor de productie van furfural, 5-HMF en levulinezuur en ook aan de productie van bioaromaten. In de Benelux is het Biorizon-programma de grootste. Dit is een programma van TNO, VITO (België), de Green Chemistry Campus (Bergen op Zoom) en 40 bedrijven en organisaties. In de projecten nemen biomassaverwerkers zoals Orgaworld, Twence en AEB deel, maar ook chemische bedrijven zoals SABIC.

De productie van bioaromaten uit biomassa wordt uitgevoerd door eerst bij hoge temperatuur in aanwezigheid van een sterk zuur de koolhydraten om te zetten in furanen en levulinezuur. Vervolgens worden de furanen in chemische reactoren omgezet in aromaten.

3.4 Wining van eiwit uit plantenresten

De wereld kent een toenemende vraag naar eiwit, die o.a. het gevolg is van een groeiende behoefte aan vleesproducten. De FAO schat dat de totale wereldbevolking in 2050 zo'n 67% meer vlees zal eten. Omdat de huidige vleesindustrie nu al verantwoordelijk is voor zo'n 18% van de uitstoot van broeikasgassen, is het beleid van overheden erop gericht om de groei met plantaardige vleesvervangers op te vangen. Specifiek voor Europa (EU28) geldt dat 77% van de door mensen en dieren geconsumeerde hoeveelheid eiwit moet worden geïmporteerd (Figuur 3-3). Dat maakt de voedselvoorziening kwetsbaar en zorgt voor een nutriëntenoverschot in de Europese voedingsketens.



Figuur 3-3 Eiwitten in de wereld.

De economische waarde van eiwit wordt maar voor een deel bepaald door de voedingswaarde. Extra toegevoegde waarde wordt verkregen met eiwit dat gunstige structurerende eigenschappen heeft (emulgerend, gelerend, schuimvormend) en eiwit dat uit lokale planten of reststromen kan worden

gewonnen. Vijftig procent van het eiwit in groene planten bestaat uit een dergelijk eiwit: het RuBisCO (1,5-biphosphate carboxylase/oxygenase). Het is één van de eiwitten die zorgen voor de fotosynthese in planten. RuBisCO heeft niet alleen gunstige nutritionele eigenschappen voor de humane voeding omdat het alle essentiële aminozuren bevat, het eiwit heeft in zijn oorspronkelijke (natieve) vorm ook commercieel interessante structurerende eigenschappen voor de productie van vleesvervangers en andere voedingsmiddelen.

Wereldwijd wordt gewerkt aan de winning van RuBisCO uit loof, o.a. door de US Department of Agriculture (diverse plantensoorten), de universiteit van Maryland (VS) (tabaksbladeren), het Franse LISBP (alfalfa), NIZO in Nederland, Wageningen Universiteit & Research (WUR) en TNO (bietenloof, spinazie en andijvie). Ook het produceren van voedingsmiddelen met RuBisCO als functioneel ingrediënt wordt onderzocht, o.a. door de WUR en TNO.

Bij de winning c.q. raffinage van RuBisCO uit plantaardige materialen is het belangrijk dat het eiwit niet onbedoeld denatureert. Dit kan gebeuren door verhitting of verandering van zuurgraad (pH). Gedenatureerd eiwit heeft veel minder functionaliteit (gelinging, schuimvorming, plakken) bij toepassing in voedingsmiddelen dan natief eiwit (ter vergelijking: met rauw eiwit kun je meer doen dan met een gebakken of gekookt ei). Daarnaast moet het planteneiwit worden ontdaan van de groene kleur (chlorofyl), de bruine kleur (fenolen) en allerlei geuren en smaken.

TNO heeft op basis van een gepatenteerd proces (WO2014/104880) samen met industriële partijen een pilot-installatie ontwikkeld waarin functioneel (natief) kleurloos en geurloos RuBisCO wordt geproduceerd uit groene plantendelen (bietenloof of co-producten uit groentensnijderijen). Hierin wordt het bladmateriaal eerst mechanisch ontsloten met een schroefpers. Het geproduceerde sap bevat het oplosbare eiwit (vnl. RuBisCO). Vervolgens worden de componenten met de groene kleurstoffen samengeklonterd en neergeslagen. De ontkleurde en heldere vloeistof wordt hierna geconcentreerd met ultrafiltratie tot een eiwitconcentraat met 5-10% eiwit. Tot slot worden in een adsorptiekolom restanten kleurstoffen, geurstoffen en fenolen verwijderd. Na droging ontstaat een gebruiksklaar, hoogwaardig product dat geschikt is voor allerlei toepassingen in de voedingsmiddelen industrie. Per september 2016 wordt dit proces uitontwikkeld in samenwerking met GreenProtein BV (producten uit groenten), het Franse onderzoeksinstituut INRA en de Franse groentensnijder Florette.

Afhankelijk van de grondstof kan op deze wijze een hoeveelheid RuBisCO worden gewonnen gelijk aan ongeveer 1% van het natgewicht van groene co-producten c.q. reststromen. De waarde van dit soort functioneel eiwit wordt geschat op € 8-12/kg. Dat is veel hoger dan de waarde van het gedenatureerd eiwit (€ 1,50/kg) dat de eigenschappen verloren heeft om bij te dragen aan geleren, emulgeren of schuimen.

Omdat RuBisCO alleen in groen biologisch materiaal zit, is het voor een goede procesvoering en de businesscase te prefereren voor te sorteren. Andijvie, spinazie en andere groene bladgroenten zijn zeer geschikt, terwijl wortels en rode paprika niet bruikbaar zijn. Daarnaast is het belangrijk om te weten dat hoogwaardig, functioneel RuBisCO alleen gewonnen kan worden uit vers materiaal. Drogen of

invriezen van de grondstof maken het winnen lastig of onmogelijk. Daarom is het snel verwerken van een reststroom essentieel ten behoeve van een hoogwaardige RuBisCO winning.

3.5 Hoogwaardige inhoudsstoffen

Groenten, fruit en aardappelen bevatten ook kleine hoeveelheden hoogwaardige stoffen, die technisch gezien gewonnen kunnen worden, maar niet altijd in een economisch haalbaar productieproces. Een overzicht wordt gegeven in Tabel 3-1.

Tabel 3-1 Inhoudsstoffen uit verschillende reststromen.

Afvalstromen	Inhoudsstoffen
Mandarijnschillen	Flavonoïden (naringine)
Sinaasappelschillen	Flavonoïden (hesperidine), essentiële oliën (limoneen), carotenoïden
Appel, perzik, citrusvruchten	Pectine
Appelschillen	Fenolen
Abrikozenpitten	Eiwit
Druiven	Dieetvezel
Druivenschillen	Fenolen
Bananenschillen	Cyanidin-3-rutinoside
Kiwi	Dieetvezel
Wortelschillen	β -caroteen, fenolen
Tomaat	Lycopen
Tomatenschillen	Carotenoïden
Bloemkool	Pectine
Ananas	Bromelaïne (eiwit/enzym dat vlees zachter kan maken)
Zwarte bes en aubergine	Anthocyanen (paarse kleurstof)
Uien	Quercetine
Rode paprika	β -caroteen

Voorbeelden van bruikbare inhoudsstoffen zijn:

- Fenolen en carotenoïden uit fruit die toegepast kunnen worden als conserveermiddel in dranken;
- Pectine uit fruit die toegepast kunnen worden als gel-vormer en vetvervanger in vleesproducten;
- Vezels zoals hemicellulose die de darmgezondheid ondersteunen en kunnen worden toegevoegd aan bijvoorbeeld kant-en-klaar maaltijden;
- Sommige groente- en fruitsoorten bevatten daarnaast antioxidanten.

De winning van inhoudsstoffen volgt meestal vijf processtappen:

- 1 Voorbehandeling zoals malen, concentreren, persen, vriesdrogen, centrifugeren en microfiltratie, die de grondstof toegankelijk maakt en ook scheidt op grove onderdelen;
- 2 Scheiding tussen grote en kleine moleculen bijvoorbeeld door alcoholprecipitatie, ultrafiltratie en/of extrusie;

- 3 Extractie met een oplosmiddel, zuur of loog of door stoomdiffusie of hydrodestillatie;
- 4 Isolatie en zuivering door adsorptie, chromatografie, nanofiltratie of elektrolyse;
- 5 Productformulering, bijvoorbeeld door sproeidrogen, emulsificeren en extrusie.

Opbrengst en rendement hangen af van de aard van de stof en de grondstof. Zo kan er met bovenstaande methoden een opbrengst worden gehaald van 110-200 gram pectine per kg droge stof uit schillen van citrusvruchten, wat 35-50% is van de daadwerkelijke aanwezige pectine in die schillen. Pectine-extractie gebeurt met heet en zuur water, gevolgd door de scheiding van sap en vaste bestanddelen. De pectine in het sap wordt vervolgens met een alcohol (meestal isopropanol) geprecipiteerd, waarna het precipitaat wordt gewassen en gedroogd. De alcohol wordt teruggewonnen en hergebruikt. Bij de extractie van fenolen worden lagere opbrengsten verkregen, bijvoorbeeld 1,0-1,4 g per kg mangoschillen, hetgeen neerkomt op een rendement van 25-35% van de winbare hoeveelheid [10].

Niet alle waardevolle verbindingen in fruit en groenten worden in de praktijk gewonnen. Soms weegt de marktwaarde niet op tegen de productiekosten (transportkosten spelen een geringe rol bij dit soort hoogwaardige producten), soms is de markt te klein om grote hoeveelheden van een product te kunnen afzetten en soms is de waarde van een plantenstof nog niet bewezen. Op dit moment wordt er wereldwijd gewerkt aan bewijsvoering van gezondheidsclaims verbonden aan bepaalde stoffen. Voorbeelden zijn quercetine en bromelaïne. Quercetine zit o.a. in uien schillen en wordt in China geëxtraheerd uit planten en uien en verkocht tegen een prijs van € 50-100/kg. In Europa blijkt het lastig te zijn om de extractie voor deze prijs uit te voeren. Bovendien is de waarde van quercetine onzeker door de tegenstrijdige meningen over de vermeende positieve gezondheidseffecten van deze antioxidant, waardoor investeren in een productiefaciliteit riskant is. Bromelaïne uit ananas kan gebruikt worden om vlees zachter te maken en bevat vermeende positieve gezondheidseffecten. Echter, de markt (vraag) van de stof is veel kleiner dan de mogelijke productievolumes uit ananasreststromen.

Hoewel sommige groenten essentiële aminozuren bezitten, zal winning van de losse aminozuren uit groenten zeer waarschijnlijk niet opwegen tegen de lage prijzen die het gevolg zijn grootschalige aminozuurproductie via fermentatie in Europa (o.a. Ajinomoto in Frankrijk). De winning van eiwit (waarin die aminozuren besloten liggen) uit groenten is kosten-effectiever.

Schillen van citrusvruchten worden al 35 jaar lang in een suikersiroop (met natuurlijke smaakstoffen) omgezet en gebruikt als voedingsadditief. Lycopen (rode kleurstof) wordt door bedrijven in Italië en Azië uit tomatenafval gewonnen via extractie met een oplosmiddel (ethylacetaat). Tomaten bevatten 70-130 mg lycopen/kg.

Het is een trend voedingsadditieven geproduceerd op basis van synthetische chemie te vervangen door natuurlijke stoffen uit planten om daarmee een 'groen label' te bereiken. Zo kunnen fenolen uit planten gebruikt worden als conserveermiddel in plaats van butyl-hydroxytolueen en butylhydroxyanisol die beide gewonnen worden uit aardolie [11].

Wat betreft residu-volume zijn rode paprika's belangrijk. Volgens de database van de South West School of Botanical Medicine (VS) kunnen paprika's tot 462 mg per kg vers gewicht β -caroteen bevatten (minder dan 0,05%). Het rood-oranje β -caroteen is in deze vrucht de belangrijkste kleurstof en kan worden toegevoegd aan voedsel en dranken onder E160A. Paprika is een variant van de soort *Capsicum annuum*, waartoe ook pepers behoren. Deze soort bevat ook 220-3000 ppm alfa-linoleenzuur, een omega-3-vetzuur. Alfa-linoleenzuur is één van de twee essentiële vetzuren die niet door het menselijk lichaam kunnen worden gemaakt en moeten worden opgenomen via voeding. De ander is linolzuur. Beide zijn nodig voor een gezond vaatstelsel.

De winning van carotenoïden verdient in de Reijerwaard aandacht. β -caroteen uit paprika en wortels en lycopene uit tomaten vormen een substantiële waarde. Deze carotenoïden worden gebruikt als kleurstof in voedingsmiddelen en cosmetica en dragen positief bij aan de menselijke gezondheid door een werking als antioxidant en/of radicalenvanger. De winningsprocessen zijn al uitontwikkeld en de wereldmarkt is groot. Deze bedroeg in 2014 1,5 miljard dollar en de verwachte jaarlijkse groei van deze markt is 3,9% [12]. β -caroteen is de belangrijkste carotenoïde binnen deze markt en sinds Chinese bedrijven deze stof zijn gaan winnen is de prijs gedaald en is het aanbod groot. Chemisch synthetische β -caroteen vormt een groter marktaandeel dan biologisch β -caroteen. Ook de prijs van lycopene is gedaald door de activiteit van Chinese producenten.

3.6 Andere verwaardingsmogelijkheden

Omdat groente en fruit veel water bevatten zijn veel thermochemische routes zoals pyrolyse, torrefactie en vergassing uit kostentechnische overwegingen niet interessant. Nat materiaal kan wel met vergassing in superkritisch-water worden omgezet in een gasmengsel van methaan, kooldioxide, koolmonoxide en waterstof, wat vooralsnog een toepassing heeft in de energiemarkt. Echter, er worden steeds meer processen ontwikkeld die deze gascomponenten kunnen omzetten in complexere organische verbindingen zoals ethanol. Hydrothermal upgrading (HTU) kan ook worden uitgevoerd met groente en fruit en levert een biocrude: iets wat op ruwe olie lijkt en vooralsnog geen toepassing heeft gevonden.

Papier is een veelgenoemde route voor de valorisatie van organische reststromen. De cellulose die in de meeste groente aanwezig is bestaat echter niet uit de kwaliteit vezels die kan worden ingezet voor de productie van papier en karton. Het cellulose kan wel als additief in karton worden gebruikt.

Anticiperend op het vrijkomen van steeds meer zwavelvrije lignine uit lignocellulose-gebaseerde bioraffinaderijen, wordt wereldwijd veel onderzoek gedaan naar mogelijke verwaarding van lignine. Diverse routes worden hierbij gevolgd. De lignine kan chemisch of thermochemisch in kleinere fragmenten worden geknipt waarbij de laagmoleculaire producten kunnen worden gescheiden en worden gebruikt als basischemicaliën voor diverse toepassingen. Een andere benadering is dat de polymere structuur van lignine behouden wordt maar dat het macromolecuul chemisch wordt gemodificeerd tot een polymeer met een nieuwe eigenschap. Het materiaal kan dan bijvoorbeeld worden ingezet als bitumen. Groene en fruit bevatten echter weinig lignine.

De productie van polyhydroxyalkanoaten (PHA) uit organische reststromen wordt op diverse plaatsen in de wereld bestudeerd. PHA is een goed afbreekbaar biopolymeer dat van nature in bepaalde bacteriesoorten wordt geproduceerd en opgehoopt. De huidige productie vindt plaats via bacteriële fermentaties op sucrose of glucose, o.a. door Metabolix (VS). Ook wordt onderzoek gedaan naar het winnen van PHA dat al van nature voorkomt in rioolwaterzuiveringsslib. In Nederland is er onderzoek gedaan naar de productie van PHA uit GFT-afval, o.a. door Attero, TUD en Paques. De productie is gebaseerd op een acidogene (zuurvormende) of zelfs acetogene (azijnzuurvormende) anaerobe vergisting met als tussenproduct lagere vetzuren, vooral azijnzuur. De lagere vetzuren worden vervolgens in een aparte beluchte fermentor door bacteriën omgezet in PHA. De productiekosten zijn vooralsnog veel hoger dan de waarde van PHA. Dientengevolge is het wereldproductie volume van PHA nog laag. In 2011 was dat 19 kton.

4 Opbrengsten en waarde

Op basis van de ingeschatte hoeveelheden materiaal die beschikbaar zou kunnen zijn voor een uitgebreid Nieuw-Reijerwaard (hoofdstuk 2) en de beschouwingen met betrekking tot de beschikbare verwerkingstechnologieën (hoofdstuk 3) is een op een toekomstscenario gebaseerde inschatting te maken van de mogelijke opbrengsten van biobased producten uit secundaire reststromen en de waarde daarvan.

Voor een nadere economische analyse is uit de vele verwerkingsmogelijkheden een keuze gemaakt die past bij de ambitie van betrokkenen bij de ontwikkeling van Nieuw-Reijerwaard om de verkenning te richten op hoogwaardige producten voor de chemie en voor voeding. Toepassingen in energie en veevoeding worden minder interessant gevonden. De productie van suikers, furanen en eiwit zijn veelbelovende en haalbaar geachte routes in de categorie chemie en voeding. β -caroteen en pectine zijn gekozen als voorbeelden van hoogwaardige inhoudsstoffen waarmee wereldwijd al veel ervaring is opgedaan.

Uitgaande van een stroom van 326.000 ton nat materiaal per jaar met een droge stofgehalte van 14%, waarbij de droge stof 55% koolhydraten bevat kan worden geschat hoeveel hoogwaardig product er kan worden geproduceerd en wat de waarde daarvan is. De resultaten zijn weergegeven in Tabel 4-1.

Tabel 4-1 Opbrengsten en waarde per verwaardingsroute.

Product	Rendementsinformatie	Product (ton/jaar)	Waarde (€/ton)	Waarde (€/jaar)
Fermenteerbare suikers	80% monosachariden op koolhydraten	20.000	180	3.600.000
Furanen en levulinezuur	45% op koolhydraten	11.000	800	8.800.000
Eiwit (RuBisCO)	1/3 van 326.000 ton is bruikbaar; 1% daarvan is winbare RuBisCO	1090	10.000	10.900.000
β -caroteen	50.000 ton paprika met 426 mg β -caroteen/kg vers; winningsrendement 70%	15	100.000	1.500.000
Pectine	5000 ton citrus- en appelschillen	100	5.000	500.000

In het algemeen geldt dat een lagere productopbrengst samengaat met een hogere waarde per volume-eenheid. Geschat kan worden dat in de Reijerwaard de jaaropbrengst van veel inhoudsstoffen in de grootte-orde van gemiddeld een miljoen euro per jaar per inhoudsstof zal liggen. Hoogwaardige pectine kan gebruikt worden als gelerend middel in jam, desserts, yoghurt, snoep en dranken en kan worden gewonnen uit schillen van citrusvruchten en uit appels. Stel dat de Reijerwaard in staat zal zijn om 5000 ton citrusschillen en appels per jaar aan te trekken, dan zal daaruit jaarlijks ongeveer 100 ton pectine gewonnen kunnen worden, met een waarde van € 500.000.

Bovenstaande verwaardingsroutes kunnen ook gecombineerd worden. Na de winning van eiwit kan de perskoek, waarin zich nog bijna alle koolhydraten bevinden, nog worden gebruikt voor de productie van fermenteerbare suikers, furanen of biogas. Ook na de winning van inhoudsstoffen kan de resterende

biomassa (waarin alle andere componenten nog zitten) worden ingezet in de winning van fermenteerbare suikers, furanen of biogas.

Het is interessant de resultaten uit Tabel 4-1 te vergelijken met de productie van biogas. Indien wordt uitgegaan van een productie van 450 Nm³ biogas per ton groente/fruit doge stof en een droge-stofgehalte van 14%, kan uit 326.000 ton reststromen per jaar 21 miljoen Nm³ biogas worden geproduceerd. Hieruit kan 13 miljoen Nm³ groen gas worden geproduceerd. Dat heeft een marktwaarde (zonder subsidie) van € 0,30 per Nm³. Het geproduceerde groen gas vertegenwoordigt een waarde van 3,9 miljoen euro per jaar. Dat is aanzienlijk minder dan de waarde op basis van de inhoudsstoffen. Bovendien zijn doorgaans de productiekosten voor groen gas hoger dan de waarde van het gas. Vandaar dat subsidie nodig blijft om in Nederland de productie van groen gas mogelijk te maken.

5 Technology Readiness Level (TRL)

Bij een afweging om een bepaalde verwaardingsroute te kiezen is de mate waarin ervaring bestaat met de productieprocessen van belang. Deze parameter is samen te vatten onder de Technology Readiness Level (TRL), een internationaal erkende maatstaf met een schaal die van 1 naar 9 loopt. Op die schaal speelt 1 t/m 4 zich af op kleine schaal in een laboratorium, 5 t/m 7 op pilot plant schaal en 8 en 9 op industriële schaal. TRL 9 betekent dat een product marktrijp is. Tabel 5-1 geeft de TRL van de processen beschreven in hoofdstuk 3.

Tabel 5-1 TRL van enkele productieprocessen die relevant kunnen zijn voor Nieuw-Reijerwaard.

Product	Productieproces	TRL	Opmerking
Fermenteerbare suikers	Enzymatische hydrolyse	9	TRL voor ontsloten stro, met groenten geen ervaring
Furanen	Stoomreactor	3-4	Voor GFT, nog niet voor groenten
Furanen	Stoomreactor	9	Voor bagasse en furfural, nog niet voor groenten
Levulinezuur	Stoomreactor	9	Voor stro, nog niet voor groenten
Furanen	Twee-vloeibare fasen reactor	3-4	Voor cellulosehoudende zeefgoed, nog niet voor groenten
Eiwit (RuBisCO) kleurloos food grade	Persen gevolgd door zuivering	4	Kleine pilot plant met bladgroenten
Biogas	Biologische vergisting	9	Op grote schaal uitgevoerd in Nederland
β -caroteen	Extractie met oplosmiddel	9	--
Limoneen	Destillatie	9	--
Lycopen	Extractie met oplosmiddel	9	--
Pectine	Extractie met heet en zuur water	9	--

6 Technisch-economische evaluatie van de mogelijke verwerkingsroutes

6.1 Economische analyse van de productie van fermenteerbare suikers uit AGF reststromen

6.1.1 *Beschrijving van het productieproces*

Fermenteerbare suikers kunnen geproduceerd worden uit de koolhydraatfractie van AGF. Hiervoor zijn commercieel verkrijgbare enzymen zoals cellulase, hemicellulase en amylase geschikt. Omdat groenten, fruit en aardappelen redelijk goed toegankelijk zijn voor hydrolytische enzymen en het materiaal weinig (recalcitrant) lignocellulose bevat is geen zware ontsluiting nodig van de vezels. Wel is het nodig dat het materiaal wordt verkleind en wordt gesteriliseerd. Verkleinen is nodig om de enzymen beter toegang te geven tot de koolhydraten en steriliseren is op de eerste plaats nodig om groei van micro-organismen tijdens de dagenlange hydrolyse tegen te gaan en op de tweede plaats om het substraat nog toegankelijker te maken.

Het proces begint met het verkleinen van het AGF materiaal met een shredder (met messen) tot stukjes van 1 cm. Deze stukjes worden eerst in een voorraadsilo gestort en vervolgens in een kolom waardoor eerst stoom van 120°C wordt geleid om het materiaal te steriliseren en vervolgens buitenlucht om het materiaal af te koelen tot ongeveer 50°C. Na het passeren van een tweede silo worden de biomassa-deeltjes via een transportband geleid naar een tweede shredder waarin het tot moes wordt gehakt. Daarna passeert de slurry een schroeftransporteur die tevens wordt gebruikt om een zuur toe te voegen (pH moet dalen tot 5) en goed te mengen. Een tweede schroeftransporteur wordt gebruikt om een oplossing met enzymen te mengen door de biomassa-slurry. Daarna stroomt het materiaal door een serie van twee hydrolysereactoren die in twee dagen wordt doorlopen. De temperatuur van het materiaal moet tijdens de hydrolyse op 50°C blijven en de pH op 5, voor een optimale activiteit van de hydrolytische enzymen. De inhoud van de reactoren wordt gemengd met een langzaam draaiend roerwerk met een hoge torsiëkracht (soort karn). Door de hydrolyse worden er monosachariden gevormd, vooral glucose en ook kleine hoeveelheden xylose, fructose, arabinose en andere suikers. Na de hydrolyse is de slurry veel vloeibaarder geworden. Het is dan een suikeroplossing met daarin nog vaste deeltjes. Deze vaste deeltjes kunnen met een roterende vacuümtrammelzeef worden verwijderd. Er ontstaat dan een oplossing van ongeveer 60 g monosachariden per liter en een filterkoek. De suikeroplossing wordt vervolgens via een multi-effect verdamper ingedikt tot 150 g/l, wat een bruikbare concentratie is voor de fermentatie-industrie en ook de transportkosten beperkt.

6.1.2 *Procesontwerp en investeringskosten*

In het fabrieksontwerp wordt uitgegaan van 326.000 ton AGF dat 14% droge stof bevat en dat 20.000 ton fermenteerbare monosachariden oplevert (zie Tabel 4-1).

De fabriek draait 7884 bedrijfsuren per jaar (90% van de tijd), de resterende tijd is voor onderhoud en schoonmaak. De verschillende kapitaalsgoederen en hun prijs worden hieronder toegelicht. Bij het schatten van de prijzen is gebruik gemaakt van offertes die leveranciers in het kader van TNO projecten hebben afgegeven en van het DACE prijzenboekje [13].

- Er worden in het proces op twee plaatsen shredders gebruikt die elk € 80.000 kosten;
- Sterilisatie wordt in batch uitgevoerd, wat betekent dat er voor en na de sterilisatiereactor voorraadsilo's moeten worden geplaatst om aan te kunnen sluiten op een continu proces. Twee voorraadsilo's zijn nodig van elk 60 m³ met een prijs van € 40.000 per stuk;
- De kolom waardoor de stoom wordt geleid (120°C, 2 bara) heeft een volume van 60 m³, een hoogte van 10 m en een diameter van 2,8 m. Deze kolom (van roestvrijstaal 304) kost € 400.000;
- Twee schroeftransporteurs van elk 5 m lang en 0,5 m diameter kosten ongeveer € 11.500 per stuk;
- Twee hydrolysevaten van elk 1000 m³ en een prijs van € 330.000 zijn nodig en deze vaten hebben een soort karn-menger van € 100.000 per stuk;
- Diverse transportbanden kosten € 300.000;
- Voor afscheiding van deeltjes is een roterend vacuüm trommelfilter nodig. Volgens ontwerpregels moet er 5 mm filterkoek worden opgebouwd. Neem aan: 2 minuten per rotatie. De verwachte deeltjes opbrengst is dan 7% van 326.000 ton/j is 23.000 ton/j of 2,9 ton/h. De dichtheid van de filterkoek is 30% waardoor moet worden gerekend met de productie van 10 m³ filterkoek per uur. Er kan dan worden berekend dat er 66 m² filterdoek nodig is. Een dergelijk roterend vacuüm trommelfilter kost € 300.000;
- Om de kostbare suikers goed uit de filterkoek te verwijderen kent een drumfilter een wasprocedure waarin met schoon water de filterkoek wordt besproeid. Stel dat daarvoor 10 ton water per uur wordt gebruikt. De hoeveelheid suikeroplossing wordt dan 41 ton natte biomassa + 10 ton water – 10 ton filterkoek = 41 ton vloeistof per uur. Met een jaarproductie van 20.000 ton suiker en 7884 operationele uren zal de suikerconcentratie ongeveer 60 g/l zijn. Om de vereiste 150 g/l te bereiken zal er per uur 24 ton water moeten verdampen;
- Met een multi-effect verdamper wordt de energie in stoom effectief gebruikt. Met een 5-traps verdamper kan er 4,9 maal zoveel water worden verdampt als er aan gewicht aan stoom wordt verbruikt. Een nieuwe verdamper kost 2,3 miljoen euro. Omdat deze verdampers lang meegaan (30 jaar) bestaat er een levendige hergebruikmarkt. Voorgesteld wordt aan te sturen op een aanschafprijs van € 800.000. Het resultaat is een stroom van 17 ton vloeistof per uur met 150 g suikers/L;
- Met een opslagtank van 1200 m³ kan de productie van 3 dagen worden bewaard. Deze kost ongeveer € 340.000.

De stoomketel wordt niet meegenomen in de investeringskosten. In plaats daarvan zal bij de operationele kosten een integrale stoomprijs worden gehanteerd.

Bovenstaande bedragen zijn de apparatuurprijzen. De investeringskosten behelzen daarnaast echter ook nog engineering, installatiekosten, funderingen, gebouwen, terrein, pijpleidingen, meet- en regelapparatuur en pompen. Voor een groene-weide-fabriek worden de apparatuurprijzen met 4,7 (de Lang Factor) vermenigvuldigd om de totale investeringskosten te verkrijgen. In Tabel 6-1 staat

een overzicht van de opbouw van de totale investeringskosten die ongeveer 15 miljoen (met een marge van ongeveer 5 miljoen euro) bedraagt.

Tabel 6-1 Investeringskosten t.b.v. de productie van fermenteerbare suikers.

Onderdeel	Prijs (€)
2 shredders	160.000
2 voorraadsilo's	80.000
sterilisatiekolom	400.000
2 schroeftransporteurs	23.000
2 hydrolysevaten met roerwerk	860.000
transportbanden	300.000
roterend vacuüm trommelfilter	300.000
multi-effect verdamper	800.000
Opslagtank	340.000
Totale apparatuurskosten	3.263.000
Lang Factor	4,7
Investeringskosten afgerond	15.500.000

6.1.3 Operationele kosten

Naast de investeringskosten dragen ook de jaarlijkse operationele kosten bij aan de exploitatie van de verwerking van fermenteerbare kosten. Hierbij hanteren wij de volgende uitgangspunten:

- We nemen een bedrag aan van 12% van de investeringskosten voor jaarlijkse kapitaalskosten, te weten afschrijving en rente;
- Onderhoud, verzekering, belasting en licenties bedragen per jaar bij elkaar eveneens 12% van de investeringskosten;
- Het energieverbruik bestaat voornamelijk uit de opwarming die nodig is voor de sterilisatie, concentratie van het eindproduct door verdamping en het elektriciteitsverbruik van pompen en motoren. Voor het opwarmen van 326.000 ton biomassa van 12°C naar 120°C is 148 miljoen MJ aan energie nodig. Door tijdens het afkoelen van de biomassa met lucht deze opgewarmde lucht te leiden door de eerste voorraadsilo kan energie worden bespaard. De biomassa wordt dan in de silo voorverwarmd. Het energieverbruik kan dan wellicht worden teruggebracht tot 100 MJ. Dit kan worden geleverd door 44.000 ton stoom. Lage-drukstoom kost € 10/ton, de jaarlijkse kosten bedragen € 440.000;
- In een vijftraps multi-effect verdamper is het stoomverbruik voor de verdamping van 24 water per uur 4,88 ton per uur. De prijs van hoge-drukstoom bedraagt € 11 per ton. Bij 7884 bedrijfsuren bedragen de jaarlijkse kosten ruim € 423.000;
- Vervolgens is er nog elektriciteit nodig om pompen, schroeven, roeders en transportbanden te laten draaien. Volgens een grove schatting is daarvoor 300 kW nodig. Dat is 2,4 miljoen kWh per jaar. Bij een elektriciteitsprijs van € 0,05 per kWh komen de kosten op € 119.000 per jaar;
- De kosten voor de enzymen zullen ongeveer € 35 per ton suiker zijn, resulterend in € 700.000 per jaar;
- Met 6 FTE in dienst en € 60.000 aan loonkosten komen de jaarlijkse loonkosten op € 360.000;

- De kosten voor zuur, water en koelwater zijn verwaarloosbaar;
- De kosten voor afvoer of eventuele verkoop van de filterkoek wordt op nul gesteld. In toekomst zal dit ook een grondstof voor de biobased economy worden. De waarde van het AGF residu wordt nu ook op nul gesteld.

Een overzicht van de jaarlijkse operationele kosten is gegeven in Tabel 6-2. De bandbreedte voor deze kosten van 290 €/t bedraagt ongeveer 90 €.

Tabel 6-2 Jaarlijkse operationele kosten (OPEX) voor de productie van 20 kton fermenteerbare suikers.

	Kosten (k€/jaar)	Kosten (€/ton monosaccharide)
Kapitaalkosten	1840	92
Onderhoud, belasting, verzekering, licenties	1840	92
Stoom	863	43
Elektriciteit	119	6
Enzymen	700	35
Personeel	360	18
Totaal	5750	290

6.1.4 *Bespreking*

De fermentatie-industrie wil € 180 per ton betalen voor fermenteerbare suikers uit lignocellulose. De kans is groot dat de waarde van de suikers uit AGF hoger is omdat er door de mildere voorbehandeling minder remmende bijproducten aanwezig zullen zijn en omdat het aandeel glucose in het suikermengsel hoger is.

De productiekosten kunnen verlaagd worden door te concentreren met omgekeerde osmose in plaats van door verdampen. Met deze technologie is veel ervaring met het ontzouten van zeewater, maar minder in bioraffinage en voedingsmiddelentechnologie. Een omgekeerde osmose-installatie (met 800 m² membraanoppervlak) kost, inclusief Lang-factor, voor deze toepassing € 700.000. Met vervanging van de multi-effectverdampers door de omgekeerde-osmose-installatie dalen de investeringskosten naar 12,3 miljoen euro, de jaarlijkse kapitaalkosten naar k€ 1473, en onderhoud, belasting, verzekering en licenties naar k€ 1473. De omgekeerde-osmose-installatie zal op 50 bar moeten worden bedreven, het elektriciteitsverbruik voor de pomp die deze druk moet aanleggen wordt geschat op 3 kWh per ton verwijderd water. Er moet elk uur 24 ton water worden verwijderd. Bij een elektriciteitsprijs van € 0,05/kWh zijn de jaarlijkse elektriciteitskosten € 0,05 x 3 x 24 x 7884 ofwel € 28500. Dat is aanzienlijk minder dan de eerder genoemde € 423.000 voor de verdamping van water.

Door deze besparingen komen de jaarlijkse productiekosten op k€ 4589 en de productiekosten per ton monosachariden op € 230 (met een bandbreedte van 70 €).

Bovendien kan door het beproeven van de boven beschreven bioraffinage technologie op semitechnische schaal worden onderzocht of de

hydolysetijd niet korter kan, de enzymdosering niet lager kan en de sterilisatie niet achterwege kan blijven. Deze maatregelen kunnen de productiekosten eveneens verlagen.

6.1.5 *Schaaleffecten*

De productiekosten worden ook bepaald door de schaal. Een grotere schaal verlaagt de productiekosten per ton geproduceerd product omdat de investeringskosten stapsgewijs toenemen en niet recht evenredig zijn met de capaciteit. Indien voor het opvoeren van de capaciteit de benodigde biomassa van verder moet worden aangevoerd stijgen de grondstofkosten en neemt het eventuele schaalvoordeel weer af. In de capaciteit-range van de verwerking van 100.000 tot 700.000 ton AGF per jaar geldt dat de investeringskosten schalen met een exponentiële factor 0,7. Deze formule geldt daardoor ook voor de jaarlijkse kapitaalkosten, onderhoud, belasting, verzekering, licenties en personeelskosten. Het effect van een tweemaal lagere en een tweemaal hogere capaciteit op de productiekosten is weergegeven in Tabel 6-3.

Tabel 6-3 Invloed schaalgrootte op productiekosten fermenteerbare suikers.

Capaciteit (ton AGF/jaar)	Productiekosten (€/ton suikers)
163.000	333
326.000	286
652.000	248

Als voor een uitbreiding van de capaciteit van 326.000 ton per jaar naar 652.000 ton per jaar een transport van 326.000 ton AGF per jaar nodig is over een afstand van 40 km, dan zal het transport ongeveer 4 euro per ton kosten, wat per jaar een extra kostenpost is van 1,3 miljoen euro, waardoor de productiekosten van een bioraffinaderij met een capaciteit van 652.000 ton per jaar weer worden verhoogd van € 248/ton naar € 281/ton suikers. Het aanvoeren van AGF reststromen over een afstand van meer dan 40 km levert in de hierboven beschreven bioraffinage opzet geen voordeel op.

6.2 **Economische analyse van de productie van furanen en bioaromaten uit de koolhydraatfractie**

6.2.1 *Beschrijving van het productieproces*

Het proces voor de productie van furanen, levulinezuur en bioaromaten uit heterogene reststromen bevindt zich nog in de ontwikkelingsfase. Bij de beschrijving van het proces wordt geput uit ervaring met de productie van furfural en levulinezuur uit homogene reststromen (o.a. suikerriet bagasse).

Een mogelijk proces voor de productie van furfural en levulinezuur bestaat uit het inweken van de biomassa met een zuuroplossing, gevolgd door het passeren van de biomassa met stoom, in een drukreactor. De stoombehandeling heeft twee functies: (1) het verwarmen van de biomassa en (2) het opnemen en afvoeren van

gevormd furfural (stoomstrippen). Doordat furfural snel uit het reactiemengsel wordt afgevoerd reageert het niet verder tot teerproducten (humines). Dit furfural wordt gevormd uit de C5-suikers die vooral in hemicellulose voorkomen. De C6-suikers (uit cellulose en zetmeel) worden in levulinezuur omgezet, wat zich ophoopt in de natte biomassa. Het furfural wordt vervolgens uit de stoom gewonnen en het levulinezuur wordt uit de biomassa. De overgebleven biomassa kan worden gecomposteerd, maar in principe ook worden gebruikt als grondstof voor andere biobased productieprocessen. Omdat in dit proces stoom door de biomassa moet stromen is dit vooral geschikt voor de wat drogere biomassastromen met een drogestofgehalte van minstens 25%. Dat zou geschikt zijn voor de vezels die worden geproduceerd in een eiwitwinningsproces.

Voor de natte biomassa-stromen wordt een proces ontwikkeld met twee vloeibare fasen: een waterfase en een niet-mengbaar organisch oplosmiddel. De waterfase bevat de biomassa en wordt aangezuurd en de organische fase neemt gevormd furfural en HMF op. De vorming van het furfural (uit C5-suikers) en van HMF (uit C6-suikers) vindt plaats door het mengsel te verwarmen. Na de reactie wordt in een serie van scheidingsprocessen furfural en HMF gewonnen uit het systeem met de twee vloeibare fasen. Dit proces lijkt geschikt voor slurries van fijn gemalen AGF.

Hoewel furfural en HMF verkoopbare producten zijn kunnen deze ook ingezet worden in de productie van bioaromaten. Dit gebeurt in een reeks chemische conversiestappen waarin de Diels-Alder-reactie een centrale rol speelt.

6.2.2 *Economische evaluatie*

Voor AGF reststromen lijkt de productie van furfural en HMF met een systeem met twee vloeibare fasen de aangewezen weg. Er is een globale economische analyse gemaakt van een bioraffinaderij gebaseerd op een systeem met twee vloeibare fasen die jaarlijks een afvalstroom van 100.000 ton (88% droge stof met veel cellulose) verwerkt en omzet tot (ongeveer 11.000 ton) furfural en HMF. Aangezien deze technologie nog sterk in ontwikkeling is het niet mogelijk om de investeringskosten en de productiekosten goed in te schatten. Echter, voor de voortgang van de ontwikkeling is het toch nodig om op zijn minst een hele grove schatting met veel aannames uit te voeren om vast te stellen in welke grootteorde de kosten zich bevinden. De investeringskosten voor een dergelijke bioraffinaderij zullen volgens deze voorlopige schatting in de buurt van 30 miljoen euro liggen en de productiekosten in de buurt van € 600 per ton product. In deze productiekosten zijn afschrijving, onderhoud, personeel, toezicht, chemicaliën en energie meegenomen. De eventuele negatieve of positieve waarde van de grondstof en van het residu zijn niet meegenomen. De genoemde € 600 per ton product ligt ruim onder de huidige marktwaarde van furfural en HMF.

In plaats van 100.000 ton hoog-cellulosehoudend materiaal zou ook 630.000 ton AGF met 14% droge stof kunnen worden verwerkt. De fysieke afmeting van een dergelijke bioraffinaderij kenmerkt zich door een reactor van ongeveer 200 m³ en een reeks kleinere vaten en kolommen.

Furfural en HMF kunnen in bioaromaten worden omgezet. Het is echter nu nog te vroeg om voor deze omzetting met een economische analyse naar buiten te komen.

6.3 Economische analyse van de productie van RuBisCO uit AGF reststromen

Uitgangspunt bij het maken van een inschatting van de productiekosten voor een hoogwaardig, functioneel eiwit-ingrediënt is een productie-eenheid met een verwerkingscapaciteit van 10 ton groen blad per uur. Het RuBisCO-gehalte in de grondstof is een belangrijke parameter in de kostenschatting, en deze is gevarieerd tussen 0,5-1%. De productiekosten nemen daarbij af van € 5,70/kg naar € 2,80/kg RuBisCO. De CAPEX kosten beslaan ongeveer 45% van de kostprijs terwijl de OPEX-kosten worden gedomineerd door de factor arbeid: circa 40% van de kostprijs.

6.4 Overzicht van economisch potentieel van AGF reststromen

De hierboven genoemde waarde van de producten en de productiekosten kunnen worden uitgedrukt per ton AGF. Het verschil tussen deze waarde en kosten geeft het economisch potentieel. In Tabel 6-4 is dat uitgewerkt. Hierbij is uitgegaan van bioraffinaderijen die 326.000 ton van een mengsel van AGF reststromen per jaar verwerken voor de productie van suikers of furanen en van bioraffinaderijen waarin eiwit, of eiwit plus suikers of eiwit plus furanen worden geproduceerd uit 109.000 ton eiwitrijke groentenreststromen per jaar. Bij de productie van suikers is rekening gehouden met de kosten-effectievere variant met omgekeerde osmose.

Tabel 6-4 Economisch potentieel van de onderzochte verwaardingsroutes.

Verwaardingsroute	Volume (ton AGF reststroom)	Productiekosten (€/ton AGF reststroom)	Waarde producten (€/ton AGF)	Economisch potentieel (€/ton AGF)	Economische Potentieel (€/j)
Productie van fermenteerbare suikers	326.000	14	11	-3	(-978.000)
Productie van furanen	326.000	20	27	7	2.820.000
Productie van eiwit (RuBisCO)	109.000	28	100	72	7.850.000
Productie van eiwit en suikers	109.000	42	111	69	7.520.000
Productie van eiwit en furanen	109.000	48	127	79	8.610.000

Het economisch potentieel moet nog ingezet worden om transportkosten te bekostigen.

6.4.1 Afwegingen

Bij het kiezen van een bepaalde route voor het valoriseren van AGF reststromen spelen meerdere criteria een rol, waaronder het economisch potentieel, de gereedheid van de technologie (TRL), de kansen op een verbetering van de

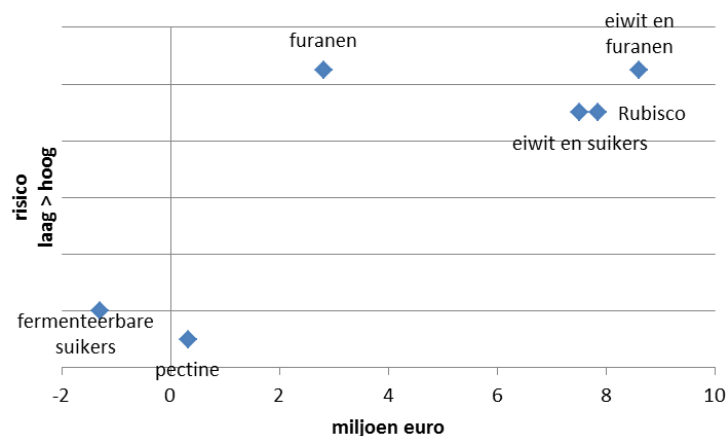
technisch-economische haalbaarheid, het bestaan van klanten voor de afname van producten en de mogelijkheden om voldoende AGF reststromen te verzamelen van voldoende kwaliteit. Tabel 6-5 geeft een overzicht van alle belangrijke criteria voor de verschillende valorisatieroutes.

Tabel 6-5 Karakteristieken van de verschillende valorisatieroutes voor AGF reststromen.

Valorisatieroute	Economisch potentieel (€/ton AGF)	TRL	Afname product*	Status en vooruitzicht
Biogas	Laag/negatief	9	++	Huidige praktijk
Fermenteerbare suikers	-3	9	+	Met huidige technologie laag economisch potentieel, maar verbeteringen op korte termijn mogelijk
Furanen	7	3-4	0	Nog in ontwikkeling. Tussen 2020 en 2025 commercieel
Eiwit (RuBisCO)	72	4	0	Nog in ontwikkeling. In 2020 commercieel
Eiwit en suikers	69	4	0	--
Eiwit en furanen	79	3-4	0	--
Pectine	positief	9	++	Snel te implementeren
β -caroteen en lycopene	positief	9	++	Snel te implementeren

* Huidige zekerheid omtrent afname product.

Door een arbitraire schaal aan te leggen voor TRL en voor de zekerheid van afname van een product kan schematisch worden weergegeven hoe mogelijke economische opbrengsten (volgens de hier gedane aannames) zich verhouden tot de risico's. Dit is weergegeven in Figuur 6-1.



Figuur 6-1 Opbrengsten versus risico's voor de verwaardingsroutes.

De winning van pectine en van β -caroteen en lycopene kan redelijk snel worden geïmplementeerd. Hiervoor is contact met aanbieders van technologie nodig, gevolgd door een nadere technisch-economische evaluatie en gesprekken met potentiële afnemers van deze voedingsmiddelenadditieven. Voor een productie van β -caroteen dient de Reijerwaard reststromen van rode paprika's en wortels te verzamelen in voldoende hoeveelheden, d.w.z. enkele tienduizenden tonnen per jaar. Voor de winning van lycopene zijn jaarlijks enkele duizenden tonnen

tomaten(resten) nodig. Voor de winning van pectine zijn jaarlijks enkele duizenden tonnen aan citrusvruchtschillen en appels nodig. Deze reststromen moeten schoon genoeg zijn (*food grade*), d.w.z. dat deze niet in contact mogen zijn gekomen met ander afval, vervuild water, vuile apparatuur of willekeurige/vuile grond. Ook mogen ze niet teveel zijn aangetast door schimmels en andere micro-organismen. In een nadere technisch-economische evaluatie dient ook de onregelmatige aanvoer van paprika's, wortels en tomaten te worden meegenomen. Continue productie is niet altijd mogelijk en lang gekoeld bewaren ook niet. Verder zal duidelijk moeten worden wie de ondernemer wordt van de valorisatie-activiteit. De nieuwe activiteit begint met een ondernemer, een businessplan en financiering van de bioraffinaderij.

Voor de winning van fermenteerbare suikers is procesoptimalisatie nodig voor een rendabele operatie. Dit moet gebeuren in een proefinstallatie waarin moet worden ondervonden in hoeverre een thermische voorbehandeling noodzakelijk is, wat een optimale enzymdosering is en wat een optimale hydrolysetijd is. De uitkomst van dit onderzoek kan leiden tot het bijstellen van het economisch potentieel. Bij de productie van goedkope bulkgoederen als suikers speelt de *economy of scale* een grote rol. De Reijerwaard moet in staat zijn jaarlijks enkele honderdduizenden tonnen aan AGF reststromen te verzamelen. Deze hoeven niet *food grade* te zijn en nagenoeg alle AGF is hiervoor geschikt. Echter voor een gunstige economie moeten bij voorkeur stromen met een hoog drogestofgehalte worden gekozen, bijvoorbeeld aardappelen, peulvruchten, bananen en wortels. Ook de perskoek uit de eiwitwinning heeft een hoog drogestofgehalte en is geschikt.

De technologie voor de productie van furanen uit AGF moet nog worden ontwikkeld, maar deze kan profiteren van de ontwikkeling van de technologie voor furaanproductie uit GFT-afval en andere koolhydraathoudende stromen. Deze ontwikkeling gaat nog minstens 4 jaar duren en de Reijerwaard kan aan de zijlijn wachten op deze ontwikkeling of actief participeren (met AGF stromen) in ontwikkelingsprojecten. Omdat furanen, net als fermenteerbare suikers, uit koolhydraten worden geproduceerd en omdat furanen ook een goedkoop bulkproduct zijn gelden dezelfde opmerkingen over kwantiteit en kwaliteit van de AGF reststromen als genoemd bij fermenteerbare suikers.

De winning van eiwit lijkt de activiteit die het meest gaat opleveren, maar ook hier is de technologie nog in ontwikkeling en kan het economisch potentieel nog veranderen. De grootste onzekerheid is de waarde van het gewonnen eiwit. Pas als de markt voor RuBisCO voldoende is ontwikkeld zal duidelijk worden welke stabiele prijs wordt geboden. De voor de markt benodigde applicaties zijn nog in ontwikkeling, in Nederland en daarbuiten, zodat het productieproces en de markt simultaan worden ontwikkeld en beide in 2020 klaar zijn voor een grootschalige commerciële bioraffinage. Omdat het product een hoge waarde heeft is het niet nodig om honderdduizenden tonnen AGF reststromen per jaar te verwerken om enige *economy of scale* te verkrijgen. Een grootteorde minder –oftewel enkele tienduizenden tonnen- voldoet. Zelfs enkele duizenden tonnen per jaar kunnen nog economisch worden verwerkt. Het bruikbare materiaal bestaat uit groene bladgroente, vooral andijvie en spinazie. Het aantrekken van AGF-stromen en daarmee het aantrekken van bedrijvigheid in Nieuw-Reijerwaard die ter plaatse deze reststromen produceert in deze categorie kan lucratief uitpakken. Deze

stromen moeten overigens wel onder food grade condities worden verzameld en bewaard.

Bij de winning van producten blijft altijd een reststroom over. Reststromen uit de winning van eiwit, pectine en β -caroteen kunnen vergist worden (biogas), of indien de ontwikkelingen gunstig uitpakken ook worden ingezet in de productie van fermenteerbare suikers of furanen. Pectinewinning uit citrusvruchtschillen kan worden gecombineerd met de winning van limoneen. De reststromen uit de productie van fermenteerbare suikers en furanen kunnen worden gecomposteerd en in de toekomst wellicht onderworpen aan nieuwe bioraffinageprocessen.

7 Klantgroepen

7.1 Fermenteerbare suikers

Fermenteerbare suikers die zijn geproduceerd uit reststromen zijn interessant voor fermentatiebedrijven die grote volumes fermentatieproducten produceren en waarbij deze producten een waarde hebben tussen € 500 en € 3000 per ton. Voorbeelden zijn bioethanol, melkzuur, barnsteenzuur, citroenzuur en aminozuren. Bedrijven die kleine volumes en hoogwaardige producten produceren zijn minder gemotiveerd om over te schakelen van suiker en zetmeel als grondstof naar een goedkopere, duurzamere en kwalitatief slechtere grondstof.

Kandidaten in Nederland zijn:

- Corbion te Gorinchem (melkzuur en andere organische zuren);
- Cargill te Bergen op Zoom en Sas van Gent (bioethanol);
- Abengoa te Rotterdam (bioethanol; echter de fabriek is in mei 2016 gesloten).

Kandidaten in de rest van Europa zijn:

- Citrique Belge/ Adcuram te Tienen in België (citraenzuur);
- Galactic in België (melkzuur);
- Ajinomoto (aminozuren);
- Reverdia (barnsteenzuur);
- Tientallen bioethanolbedrijven.

7.2 Furanen en bioaromaten

Furfural kan worden gekocht door leveranciers van furfural dat als zodanig als oplosmiddel kan worden gebruikt en door een bedrijf als Trans Furan Chemicals in België dat furfural gebruikt om daar furfurylalcohol van te maken.

HMF heeft een toekomstige markt in de chemische industrie, en kan bijvoorbeeld door Avantium gebruikt worden. Het kan worden gebruikt om furaandicarbonzuur te maken en van daar uit PEF (polyethyleen furaandicarbonzuur), een alternatief voor PET, waarvan flessen worden gemaakt.

Levulinezuur wordt nu door DSM gebruikt in de productie van groene polyamides (nylon), maar nog op kleine schaal. In de toekomst wordt verwacht dat chemische bedrijven levulinezuur zullen gaan gebruiken voor de productie van diverse verbindingen. Eén van de verbindingen is methyltetrahydrofuran, een milieuvriendelijk alternatief voor het oplosmiddel tetrahydrofuran.

Bioaromaten zullen gebruikt worden de chemische industrie, in het bijzonder bij de productie van polymeren. Alleen al binnen de Biorizon Community zijn de volgende potentiële klanten te onderscheiden:

- Sabic (polymeren);
- Bayer;
- Covestro (polymeren);
- Ineos Styrolution (o.a. polystyreen);
- Hexion (polymeren);

- DSM Coating Resins;
- Beckers (coatings);
- Lawter (inkt);
- Worlée Chemie (additieven voor lakken);
- Bridgestone (banden en rubber);
- Klüber Lubrication.

De klanten van deze producenten beginnen in toenemende mate biobased plastic te vragen, bijvoorbeeld LEGO en Coca Cola.

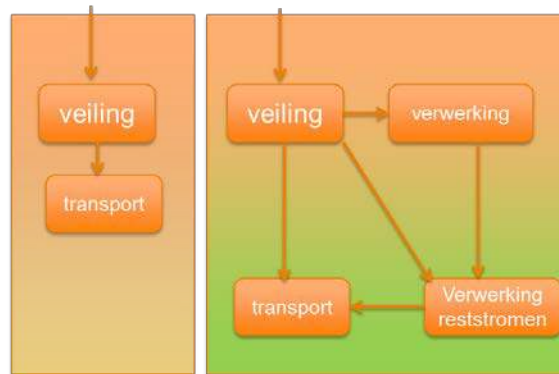
7.3 Hoogwaardige inhoudsstoffen

Afnemers van de hoogwaardige inhoudsstoffen:

- Eiwit (RuBisCO) zal worden gebruikt door de voedingsmiddelenindustrie o.a. voor het maken van soepen, sauzen, toetjes en vleesvervangers. Provalor is daar een voorbeeld van;
- Lycopene (E160d) wordt gebruikt als kleurstof in de voedingsmiddelenindustrie (Unilever, Starbucks) en cosmetica (bruiningsmiddel). β -caroteen (E160a) wordt ook gebruikt als kleurstof in de voedingsmiddelenindustrie en door veevoerbedrijven (kippenvoer);
- Pectine wordt als verdikkingsmiddel en als vezeladditief gebruikt in de voedingsmiddelenindustrie, in het bijzonder bij de productie van confituren (door o.a. Hero). Pectines uit citrusvruchten zijn hierbij extra waardevol omdat deze een hogere viscositeit hebben, waardoor er minder van nodig is;
- Granulair zetmeel uit aardappelen kan worden gebruikt in de papierproductie en worden verkocht aan papierfabrieken, bijvoorbeeld via reststroomspecialist Duynie;
- Eiwit uit aardappelen kan als verdikkingsmiddel worden verkocht aan de voedingsmiddelenindustrie, bijvoorbeeld na de producenten van consumptie-ijs;
- Cellulosevezels uit aardappelen kunnen worden verkocht aan de papierindustrie (bijvoorbeeld Smurfit Kappa), mits deze vezels voldoende zijn ontdaan van pectine.

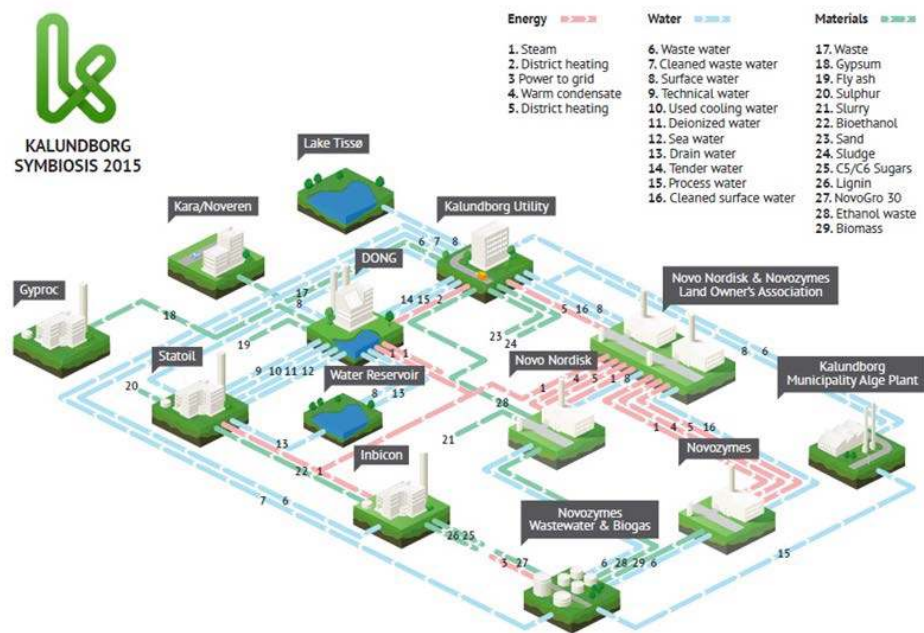
8 Conclusies en aanbevelingen voor Nieuw-Reijerwaard

De stand der techniek maakt het waarschijnlijk dat er zich positieve bedrijfskansen voor doen op basis van de reststromen van groente- en fruitverwerking en daaraan gerelateerde handelsstromen. De voorwaarde daarvoor is een kwalitatief en kwantitatief voldoende en voorspelbaar aanbod van deze reststromen. Hier liggen kansen voor de ontwikkeling Nieuw-Reijerwaard. Deze kansen liggen voornamelijk in het aantrekken van zodanige bedrijvigheid dat een synergie ontstaat tussen de bedrijven langs de hele keten: van import, verhandelen, veilen en herverpakking, naar bewerken van groenten en fruit en het inzetten van restafval als gevolg van deze operaties in chemische processen die waarde creëren (Figuur 8-1). Nieuw-Reijerwaard kan op die manier een voortrekkersrol spelen in het opzetten van een Biobased Industrial Symbiosis Park. Vooral nu kunnen de ontwikkelpartners daarop inspelen, door geschikte bedrijvigheid te zoeken en te verleiden zich te vestigen in dit gebied.



Figuur 8-1 Schematische voorstelling van de processen in een Biobased Industrial Symbiosis Park vergeleken met de huidige situatie.

Een voorbeeld van een zeer bekend industrieel symbiose park is Kalundborg (Figuur 8-2). Hier zijn partijen bij elkaar gezocht die vooral op het gebied van water en energie een intensieve, symbiotische relatie met elkaar hebben. Deze symbiotische relatie heeft als risico dat de onderlinge afhankelijkheid groot is en dat in die zin het systeem niet erg 'resilient' is. Het gebruik van verschillende reststromen in min of meer generieke processen zou wat dat betreft een grotere weerbaarheid voor een Biobased Industrial Symbiosis Park Nieuw-Reijerwaard mogelijk maken.



Figuur 8-2 Overzicht van industriële symbiose in Kalundborg (Denemarken).

De kansen voor Nieuw-Reijerwaard liggen voornamelijk in het introduceren van bedrijvigheid verder in de waardeketen; het doelgroepen-onderzoek van de WUR uit 2015 maakt duidelijk dat hier een grote uitdaging ligt. De huidige samenstelling is immers voornamelijk traditioneel van karakter.

Als we kijken naar de meest interessante business case dan is duidelijk dat economisch gezien die liggen in de valorisatie van hoogwaardige eiwitten (in hun oorspronkelijke staat, zoals RuBisCO), alleen of in combinatie met de valorisatie van bijvoorbeeld furanen of suikers. Hoogwaardige inhoudsstoffen lijken interessant maar hun volume beperkt de totale omvang van de rendabele operaties; de procesvoering van deze valorisatiestappen verdient echter nog meer aandacht.

De eiwitten dienen te worden geïsoleerd uit restafval van groene groenten. Daarmee wijzen alle gegevens op de potentie van Nieuw-Reijerwaard die hier een belangrijke voortrekkersrol kan vervullen. Deze cases kunnen zich ontwikkelen mits er voldoende aanbod is van de benodigde secundaire reststromen en de technologie zich voldoende ontwikkelt in de komende jaren. Participatie in grotere onderzoekscollectieven kan deze risico's helpen mitigeren.

De business case voor het produceren van fermenteerbare suikers lijkt nu nog matig, maar kan op korte termijn door een gerichte technologie-ontwikkeling sterk verbeteren.

Afstand is een voornaam element in de business case van de valorisatie van reststromen, een activiteit die de verschillende schakels in de waardeketen in het uitbreidingsgebied van Nieuw-Reijerwaard bij elkaar brengt kan van grote betekenis zijn. Tegelijk zou voor bepaalde voorgestelde processen die actieradius nader onderzocht moeten worden: de vraag is immers welke reststromen beschikbaar komen op een zodanige afstand van een mogelijke verwerkingsplaats, dat nog een

rendabele business case ontstaat. Die actieradius maakt het gelijk interessant en mogelijk te kijken naar boven-regionale samenwerking en mogelijkkerwijs specialisatie.

Naast de kansen op basis van de biobased overwegingen die in dit rapport de revue passeren, zullen zich ook kansen voordoen door in te spelen op de trend naar meer gemaksvuodsels. Daarmee zullen ook meer hoogwaardiger reststromen gegenereerd gaan worden voor levensvatbare business cases. Op de website rabobankcijfersentrends.nl van 2016/2017 wordt gesteld dat er een groeiende vraag is naar bewerkte groenten en fruit. In het kwartaalbericht FOOD van de ING bank (July 2012) wordt gemeld dat in 2011 de consumptie van gemaksvuodsels in Nederland 4,8% is gegroeid en dat de verwachte groei voor 2012 2,7% is. De website www.plantaardig.com vat een bericht uit het Belgische blad Test-Aankoop samen: *"De verkoop van voorgewassen salade zit in de lift, terwijl die drie tot vier keer duurder is dan ongewassen kroppen sla. Sinds ze in de winkels liggen, is de verkoop van voorverpakte en gewassen salade jaarlijks met 34 procent toegenomen."* Test-Aankoop verklaart het succes door het gemak in gebruik van voorverpakte salades en de toename van het aantal mensen dat alleen woont.

9 Referenties

- [1] Bastein, T., Roelofs, E., Rietveld, E. & A. Hoogendoorn (2013) Kansen voor de circulaire economie in Nederland. TNO rapport 2013 R10864.
- [2] Suurs, R. & E. Roelofs (2014) Quickscan investeringsklimaat voor biobased bedrijven. TNO rapport 2014 R10510.
- [3] Ontwikkelperspectieven voor het Foodcenter Reijerwaard, December 2015, opgesteld door WUR i.o.v. Gemeenschappelijke Regeling Nieuw Reijerwaard.
- [4] Ontwikkelperspectieven voor het Foodcenter Reijerwaard, December 2015, opgesteld door WUR i.o.v. Gemeenschappelijke Regeling Nieuw Reijerwaard, p. 27-28.
- [5] http://www.nowastennetwork.nl/vezet-wil-groenteafval-meer-waarde-geven/Vezet_wil_groenteafval_meer_waarde_geven_27-07-2015.
- [6] www.eurofound.org/phocadownload/Publications/Estimates%20of%20European%20food%20waste%20levels.pdf.
- [7] Kansen voor de valorisatie van biomassa-reststromen in de Greenport Betuwe Bloem - Valorisatie cases.
- [8] "reststromen van sierteelt- en vollegrond tuinbouwgewassen" Inventarisatie 2012;. Henrie Korthout, Rene van der Meulen, Fytagoras BV; in opdracht van Kenniscentrum Plantstoffen.
- [9] http://www.aardappelpagina.nl/nl/over_aardappelen/aardappelland/enkele_cijfers.
- [10] Galanakis, C.M. (2012) Recovery of high added-value components from food wastes: Conventional emerging technologies and commercial applications. *Trends in Food Science & Technology* 26:68-87.
- [11] ILVO Mededeling 165 (2014) Valorisatie van groente – en fruitreststromen: opportuniteiten en knelpunten.
- [12] BCC research report, The Global Market for Carotenoids; July 2015.
- [13] Prijzenboekje 28ste editie (2011) Dutch Association of Cost Engineers.
- [14] <http://www.fao.org/docrep/V5030E/V5030E05.htm#2.1>.
- [15] <http://www.fao.org/docrep/005/y2515e/y2515e04.htm>.
- [16] <https://www.google.com/patents/WO2014095342A1?cl=en>.
- [17] <http://www.scielo.br/img/revistas/cta/2013nahead/6067tab02.jpg>.
- [18] Khanum, F, Siddalinga Swamy M., Sudarshana Krishna K.R., Santhanam, K. & K.R. Viswanathan (2000) Dietary fiber content of commonly fresh and cooked vegetables consumed in India; *Plant Foods for Human Nutrition* 55: 207-218.
- [19] Rani, B. & A. Kawatra (1994) Fibre constituents of some foods; *Plant Foods for Human Nutrition* 45: 343-347.
- [20] Belitz, H.-D, Grosch, W. & P. Schieberle (2009) *Food Chemistry*; 4th revised and extended edition; Springer Verlag, Berlin, Heidelberg.

10 Verantwoording

Naam en adres van de opdrachtgever:
Gemeente Rotterdam/ Stadsontwikkeling
Economie/Food Cluster
T.a.v. Sharon Janmaat-Bouw
De Rotterdam, Wilhelminakade 179
Rotterdam

Namen van de projectmedewerkers:
Dr. ir. J. van Groenestijn
Dr. T. Bastein
Dr. T. Slaghek
Ir. E. Beckers

Namen van instellingen waaraan een deel van het onderzoek is uitbesteed:
n.v.t.

Datum waarop, of tijdbestek waarin, het onderzoek heeft plaatsgevonden:
Juni 2016 – Februari 2017

Ondertekening:



Dr.ir. J.W. van Groenestijn
Auteur

Goedgekeurd door:



Dr. Ing. J.M. Jetten
Research manager
Functional Ingredients

A Literatuur data Reijerwaard

Tabel A-1 Kenmerkende samenstelling van plantaardig voedsel (percentage van drooggewicht) (FAO rapport [14]).

Food	Carbohydrate	Protein	Fat	Ash	Water
Cereals					
Wheat flour, white	73.9	10.5	1.9	1.7	12
Rice, milled, white	78.9	6.7	0.7	0.7	13
Maize, whole grain	72.9	9.5	4.3	1.3	12
Earth vegetables					
Potatoes, white	18.9	2.0	0.1	1.0	78
Sweet potatoes	27.3	1.3	0.4	1.0	70
Vegetables					
Carrots	9.1	1.1	0.2	1.0	88.6
Radishes	4.2	1.1	0.1	0.9	93.7
Asparagus	4.1	2.1	0.2	0.7	92.9
Beans, snap, green	7.6	2.4	0.2	0.7	89.1
Peas, fresh	17.0	6.7	0.4	0.9	75.0
Lettuce	2.8	1.3	0.2	0.9	94.8
Fruit					
Banana	24.0	1.3	0.4	0.8	73.5
Orange	11.3	0.9	0.2	0.5	87.1
Apple	15.0	0.3	0.4	0.3	84.0
Strawberries	8.3	0.8	0.5	0.5	89.9

Tabel A-2 Samenstelling eetbare gedeelte van fruit (op versgewicht-basis) (FAO rapport [15]).

Component	Range (%)	Comments
Water	97 - 70	Influenced by cultivation and post-harvest conditions
Carbohydrates	25 - 3	Sugars, polymers, pectin, hemicellulose, cellulose
Protein	5 - trace	More in oily fruit and seeds
Lipids	25 - trace	Traces in cell membrane, in seeds, high in avocado
Acids	3 - trace	Citric, tartaric, malic, lactic, acetic, ascorbic + minor
Phenolics	0.5 - trace	Tannins and complex phenols
Vitamins	0.2 - trace	Water soluble > fat soluble
Minerals	0.2 - trace	Soil and species dependent
Dietary fibre	<1 to >15	Peel and core dependent
Pigments	0.1 - trace	Carotenoids, anthocyanins, chlorophyll

Tabel A-3 Samenstelling tomaat [16].

Component	Wt. % of dry matter
Dietary fibre	82.7
Cellulose	41
Pectin	13
Fructose	0.1
Glucose	0.1
Sucrose	< 0.05
Lycopene	0.0018
Total carotenoids	0.007
Protein	12.8
Citric acid	< 0.05
Fat	0.69

Tabel A-4 Voedingswaarde en chemische samenstelling van paprikapoeder [17]*.

Table 2. Nutritional and chemical composition of paprika powder at different harvest times (mean \pm SD, n = 3) on a dry weight (DW) basis.

Parameters	Sampling time (month)*			
	September	October	November	December
Carbohydrate (g/100 g DW)	53.50 \pm 4.8	55.96 \pm 3.3	54.49 \pm 5.3	55.33 \pm 4.8
Protein (g/100 g DW)	20.90 \pm 2.1	20.19 \pm 2.6	21.50 \pm 4.5	20.28 \pm 2.6
Lipid (g/100 g DW)	8.28 \pm 0.6	7.91 \pm 2.6	7.55 \pm 3.9	9.75 \pm 3.3
Dietary fiber (g/100 g DW)	35.05 \pm 1.4	36.35 \pm 7.7	37.07 \pm 3	36.84 \pm 3.7
Total sugar (g/100 g DW)	6.88 \pm 0.47 ^a	9.47 \pm 0.21 ^c	11.19 \pm 0.11 ^d	7.73 \pm 0.41 ^b
Energy content (kJ)	1449.55	1512.32	1497.64	1573.17
Vitamin C (mg/100 g)	1360.2 \pm 14.3 ^a	1830.2 \pm 39.4 ^b	1680.3 \pm 6.6 ^b	2020 \pm 32.3 ^b
Total capsaicinoids (mg/kg DW)	48.4 \pm 5.7 ^b	33.1 \pm 3.8 ^c	59.7 \pm 6.2 ^d	24.8 \pm 5.5 ^d
Scoville heat value	73	535	938	398
Potassium (mg/100 g DW)	2528 \pm 909	2168 \pm 147	2332 \pm 364	2523 \pm 280
Phosphorus (mg/100 g DW)	393 \pm 30	423 \pm 60	363 \pm 43	453 \pm 30
Magnesium (mg/100 g DW)	146 \pm 49	136 \pm 24	143 \pm 17	130 \pm 15
Calcium (mg/100 g DW)	186 \pm 54 ^a	117 \pm 11 ^b	108 \pm 15 ^b	41.62 \pm 10 ^c
Iron (mg/100 g DW)	31 \pm 10	53 \pm 15	33 \pm 5	42 \pm 6
Sodium (mg/100 g DW)	30 \pm 4 ^b	33 \pm 2 ^b	34 \pm 6 ^b	71 \pm 9 ^a
Copper (mg/100 g DW)	1.06 \pm 0.5	1.31 \pm 0.3	1.18 \pm 0.3	1.22 \pm 0.8
Zinc (mg/100 g DW)	1.67 \pm 0.2	1.97 \pm 0.6	2 \pm 0.2	1.88 \pm 0.2
Lead (mg/100 g DW)	nd	nd	nd	nd
Cadmium (mg/100 g DW)	nd	nd	nd	nd

*Samples were obtained in triplicate in the first week of each month. Means within the same row with different superscript letter were significantly different at $p < 0.05$ according to a Duncan (1955) multiple range test. nd: non detectable.

*: De samenstelling van paprikapoeder zal veel lijken op de droge-stof-fractie van paprika

Tabel A-5 Drogestofgehalte van diverse groentes [18].

Groente	Droge-stofgehalte
Wortel	15%
Ui	13%
Aardappel	25%
Radijs	5%
Kool	8%
Bloemkool	9%
Spinazie	8%
Bonen	9-27%
Tomaat	6%

Tabel A-6 Gewichtspercentage componenten in droge stof van groente en fruit [19].

	Hemicellulose	Cellulose	Lignine	Pectine
Wortel	1,8	15,9	0,5	1,5
Bloemkool	2,9	15,0	3,2	1,2
Kool	2,6	10,7	2,5	1,1
Erwt	1,6	9,1	1,9	0,7
Appel	4,7	5,9	1,2	3,9
Pruim	6,0	10,2	1,6	5,8

Volgens Belitz et al. [20] bestaat de droge stof van peulvruchten uit ongeveer 25% eiwit, 2% vet, 50% koolhydraten en 3,5% mineralen. Van die koolhydraten is 75-80% zetmeel. Dezelfde auteurs geven voor 24 soorten fruit waarden voor o.a. droge stof, pectine en mineralen. Gemiddeld bevat fruit ongeveer 16% droge stof, 0,7% pectine en 0,5% mineralen (van natgewicht). Tevens worden van 39 soorten groenten de gehalten van diverse hoofdcomponenten gegeven. Een selectie is weergegeven in Tabel A-7. Hierbij zijn 'beschikbare koolhydraten' door de mens verteerbare vormen zoals zetmeel en suiker. Vezels bestaan uit cellulose, pectine, hemicellulose, inuline en lignine. N-verbindingen (N x 6,25) zullen voornamelijk uit eiwit bestaan.

Tabel A-7 Samenstelling groentes op basis van percentage t.o.v. natgewicht.

	Droge stof	N-verbindingen (N x 6,25)	Beschikbare koolhydraten	Vetten	Vezels	Mineralen
Champignon	9,0	4,1	0,6	0,3	2,0	1,0
Wortel	11,8	1,1	4,8	0,2	3,6	0,8
Radijs	7,0	1,0	2,4	0,2	2,5	0,8
Aardappel	22,2	2,0	14,8	0,1	2,1	1,1
Koolraap	8,4	2,0	3,7	0,2	1,4	1,0
Rode biet	13,8	1,6	8,4	0,1	2,5	1,1
Ui	11,4	1,2	4,9	0,3	1,8	0,6
Prei	12,1	2,2	3,3	0,3	2,3	0,9
Asperge	6,5	1,9	2,0	0,2	1,3	0,6
Andijvie	5,6	1,3	2,3	0,2	1,3	0,8
Boerenkool	14,1	4,3	2,5	0,9	4,2	1,5
Sla	5,1	1,2	1,1	0,2	1,4	0,9
Witlof	15,0	4,5	3,3	0,3	4,4	1,2
Rode kool	9,0	1,5	3,5	0,2	2,5	0,7
Spinazie	8,5	2,6	0,6	0,3	2,6	1,5
Bloemkool	9,0	2,5	2,3	0,3	2,9	0,9
Broccoli	10,9	3,6	3,6	0,2	3,0	1,1
Sperciebonen	10,5	2,4	5,1	0,2	1,9	0,7
Erwten	24,8	6,6	12,4	0,5	4,3	0,9
Gr. paprika	7,7	1,1	2,9	0,2	3,6	0,4
Komkommer	4,0	0,6	1,8	0,2	0,5	0,5
Tomaat	5,8	1,0	2,6	0,2	1,0	0,5