FOOD & BIOBASED RESEARCH
WAGENINGEN UR

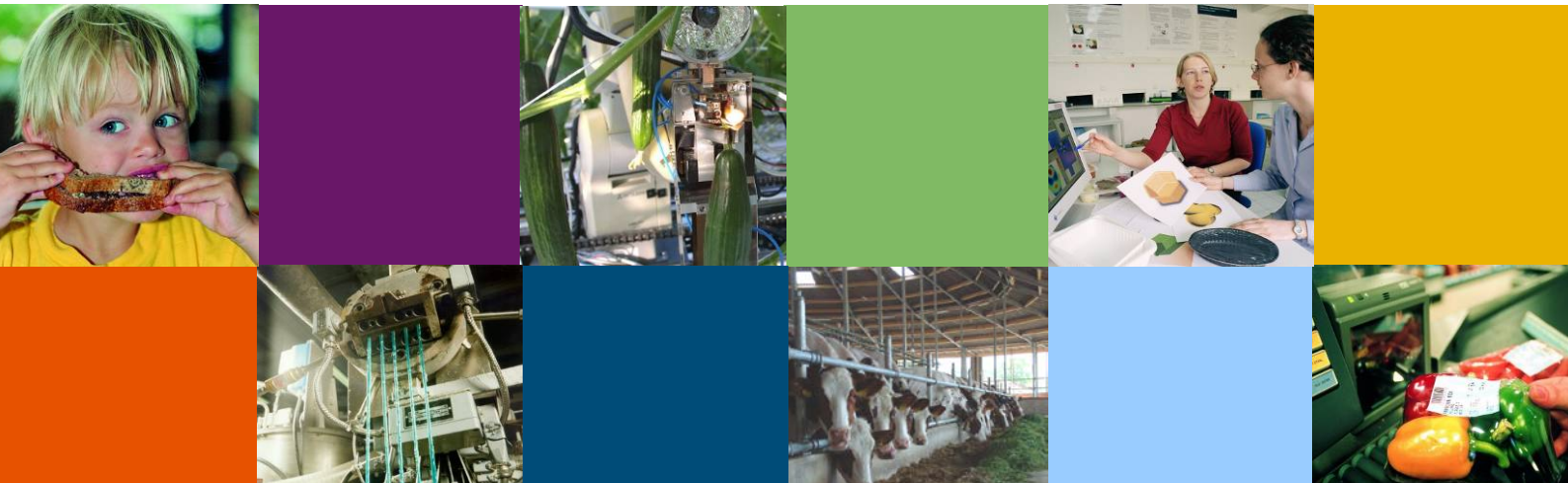
Succesfactoren kleinschalige bioraffinage

Tussentijdse rapportage 2014



M.E. Bruins
K.A. Togtema
K.P.H. Meesters

Rapport nr. 1543



Colofon

Titel	Succesfactoren kleinschalige bioraffinage
Auteur(s)	M.E. Bruins, K.A. Togtema en K.P.H. Meesters
Nummer	1543
ISBN-nummer	978-94-6257-401-4
Publicatiedatum	3 maart 2015
Vertrouwelijk	Nee
OPD-code	OPD-code
Goedgekeurd door	Ben Langelaan

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

© Wageningen UR Food & Biobased Research, instituut binnen de rechtspersoon Stichting Dienst Landbouwkundig Onderzoek
Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand of openbaar gemaakt in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, hetzij mechanisch, door fotokopieën, opnamen of enige andere manier, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de uitgever. De uitgever aanvaardt geen aansprakelijkheid voor eventuele fouten of onvolkomenheden.
All rights reserved. No part of this publication may be reproduced, stored in a retrieval system of any nature, or transmitted, in any form or by any means, electronic, mechanical, photocopying, recording or otherwise, without the prior permission of the publisher. The publisher does not accept any liability for inaccuracies in this report.

Foto cover: Grasvezels na mechanische verwijdering van water

Samenvatting

Economies of scale zijn een belangrijke belemmering voor de implementatie van kleinschalige processen. Dit wordt bijvoorbeeld geïllustreerd met schaalfactoren voor apparatuur en menskracht. Als er echter naar hele ketens wordt gekeken, zijn er wel duidelijke situaties waarin kleinschaligheid voordelen biedt. Dit wordt in dit rapport geïllustreerd aan de hand van voorbeeldcases, zowel uit de literatuur of aan de hand van informatie binnen de "PPS Kleinschalige Bioraffinage" (voor meer informatie over de PPS zie: http://www.kleinschaligebioraffinage.nl/nl/kbr.htm)

Omdat kleine schaal processen op een andere manier ontworpen moeten worden dan hun grote schaal equivalent wordt er binnen dit project gewerkt aan de definitie van ontwerpregels voor kleinschalige bioraffinage processen. Al eerder opgestelde ontwerpregels zijn gecomplementeerd met nieuwe ontwerpregels na analyse van de voorbeeldcases. Deze ontwerpregels kunnen als volgt worden samengevat:

- Houd investeringskosten voor apparatuur, en in het bijzonder warmtewisseling, zo laag mogelijk.
- Ontwateren is wel en drogen niet een optie op kleine schaal.
- Maak de decentrale-centrale "knip" op de juiste plek.
- Gebruik lokale reststromen voor de generatie van warmte en energie, die ter plekke gebruikt worden.
- Produceer voor een lokale of eigen markt.
- Gebruik het verschil tussen verkoopprijs en inkoopwaarde binnen je eigen proces.
- Werk met zo min mogelijk mensuren en zorg voor automatisering en centrale ondersteuning.
- Gebruik modulaire units als het proces op meerdere plaatsen toe te passen is.

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

Inhoudsopgave

Samenvatting **3**

1 Inleiding **5**

2 Economies of scale **6**
2.1 Algemeen 6

3 Ontwateren en drogen **7**

4 Studie van voorbeeld cases **12**
4.1 Maaidorser 12
4.2 Vliegveld 13
4.2.1 Diseconomies of scale 13
4.2.2 Populariteit van de zeer grote luchthaven 13
4.3 Elektriciteitssnoertjes 14
4.4 Veiligheid en chloorfabrieken 15

5 Cases vanuit de werkpakketten **16**
5.1 Ethanol 16
5.2 Biogas 18
5.3 Vergelijk ethanol en biogas 19

6 Discussie **21**
6.1 Voordelen kleine schaal 21
6.2 Bekende ontwerpregels en verdere interpretatie 21
6.3 Nieuwe ontwerp regels 23

Literatuur **25**

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

1 Inleiding

Langzaamaan begint kleinschalige bioraffinage een begrip te worden. Naast lokale bedrijfsinitiatieven zoals we die binnen onze eigen PPS Kleinschalige Bioraffinage zien, is het bijvoorbeeld ook een onderwerp dat binnen FP7 een plek heeft gekregen. Een recent voorbeeld is de 1ste ERANet-LAC Call, met als één van de onderwerpen "Small-scale self-sustainable biorefineries for multi-feedstock processing of agro-industrial and urban wastes for advanced biofuels, biobased chemicals and biomaterials". Ook congressen besteden steeds meer aandacht aan het onderwerp en het is ook onderdeel van de sessie "business concepts" bij BFFM2015 dat komend jaar in Montpellier, Frankrijk wordt gehouden.

Vaak besteden dit soort initiatieven slechts aandacht aan enkele aspecten van de kleinschalige bioraffinage. De Latijns-Amerikaanse (LA) call uit bovenstaande paragraaf richt zich voornamelijk op plattelandsontwikkeling, terwijl Europese voorbeelden zich meestal focussen op transportreductie. Een integrale aanpak waarbij zowel sociale, economische, technische en duurzaamheid (PPP) aspecten bekeken worden, wordt zelden toegepast. Binnen de PPS kleinschalige bioraffinage wordt nu gekeken of we al deze aspecten samen kunnen vatten en zoveel mogelijk met voorbeelden kunnen illustreren. Waar mogelijk wordt een begin gemaakt om kwalitatieve conclusies verder uit te werken en te kwantificeren.

Omdat ook processen met een relatief slechte economies of scale al baat hebben bij grootschalige uitvoering, moet er een aanzienlijk voordeel van kleinschalig verwerken zijn om concurrerend met een grootschalig proces te zijn. Het onderzoek richt zich nu op de vraag waar de specifieke kleinschaligheidsvoordelen zitten en of we op voorhand kunnen aangeven welke processen zich specifiek lenen voor kleinschaligheid. Dit leidt tot aanvullende ontwerpregels voor kleinschalige bioraffinageprocessen.

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

2 Economies of scale

Economies of scale wordt vaak als reden genoemd waarom kleinschaligheid niet haalbaar is. De ervaring leert namelijk dat de kostprijs van apparaten (C) niet lineair toeneemt met de schaal (S). Nagenoeg altijd zullen bij toenemende schaal de kosten per eenheid product dalen. Deze economies of scale wordt weergegeven in vergelijking 1, waarin sf de schaalfactor is.

$C=C_0 \times (S/S_0)^{sf}$ vergelijking 1

Bij een lage schaalfactor (sf<1) is er economies of scale. Dit leidt al snel tot aanzienlijke voordelen. Bij 100 keer grotere schaal is, ook bij een relatief hoge schaalfactor van 0.9, de besparing toch 37%. Bij een meer gemiddelde schaalfactor van 0.7 is de besparing al 75%.

Bij een schaalfactor van 1 stijgen de kosten lineair en is er dus geen sprake van economies of scale. Bij een hogere sf (sf>1) spreken we van diseconomies of scale. In dit hoofdstuk kijken we in hoeverre dit opgaat voor specifieke apparaten, maar ook voor complete systemen en ketens.

2.1 Algemeen

Een literatuurstudie van Remer en Chai (1990) naar schaalfactoren van procesapparatuur laat zien dat van de 230 apparaten die zij onderzocht hebben, er 210 een schaalfactor hebben van onder de 1 en dus economies of scale. Tien apparaten hebben een schaalfactor van 1, en 10 anderen hebben een schaalfactor van boven de 1. Hieronder vallen:

- Sommige centrifuges 1.00-1.25
- Crushers 1.20
- Extruders 1.09-2.60
- Sediment drogers (sludge drying beds) 1.35
- Beluchte meren/vijvers 1.13

Het valt op dat milieu-gerelateerde apparatuur, zoals b.v. gebruikt in de afvalwaterzuivering, een schaalfactor heeft van 0.82. Dit is duidelijk hoger dan het gemiddelde (0.68). Dit is ook wel logisch, omdat deze apparatuur vaak al erg groot is. Vergelijking 1 is vaak enkel geldig voor een bepaalde range. Buiten deze range zal de schaalfactor niet langer een constante zijn. Meestal neemt de schaalfactor toe met de grootte van het apparaat. Uiteindelijk wordt voor elk apparaat op zeker moment een schaal bereikt waar de economies of scale steeds zwakker wordt of uiteindelijk geheel verdwijnt. Op dat moment worden vaak meerdere identieke units parallel gebouwd ("opschaling in eenheden"). Apparaten met (snel) bewegende delen (compressors, centrifuges) zijn vaak veel minder schaalbaar dan apparaten zonder bewegende delen (destillatiekolommen, voorraadvaten).

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

3 Ontwateren en drogen

Het concept van kleinschalige bioraffinage lijkt met name toepasbaar op natte producten. Door het verwijderen van water nemen transportkosten van dit soort materialen af, kunnen mineralen hergebruikt worden en kan bederf van het product worden voorkomen. Daarmee is ontwateren een zeer belangrijke stap in kleinschalige bioraffinage.

In dit werkpakket wordt een overzicht gemaakt van ontwateringsmethoden en de toepasbaarheid daarvan op kleine schaal. Tabel 1 vat enkele kenmerken van de verschillende technieken samen.

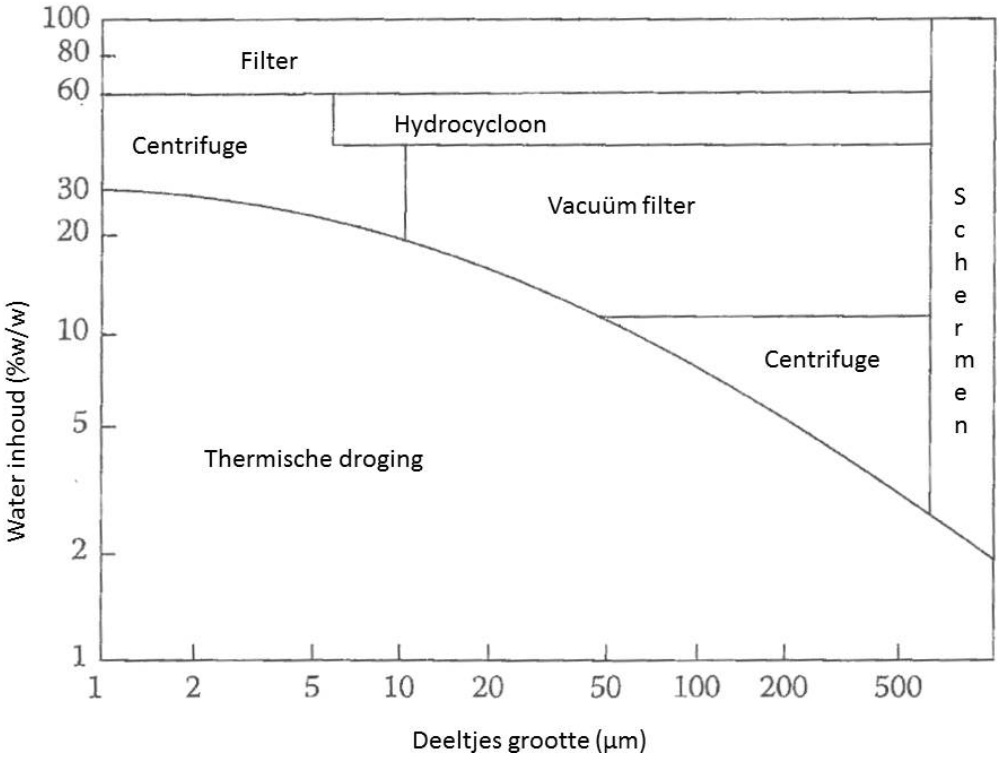
Tabel 1: Technieken voor waterverwijdering met enkele eigenschappen die belangrijk zijn voor toepassingen binnen een kleinschalig concept.

Technologie	*Energie*	*Ontwateren*	*Conserveren*	*Schaal voordeel*	*Hergebruik mineralen*	*Water Kwaliteit/zuiverheid*
Indampen*	0.5 GJ/ton	Volledig	Goed	Hoog	Niet mogelijk	Damp
Drogen*	4 GJ/ton	Volledig	Goed	Hoog	Niet mogelijk	Damp
Persen	Gunstig	Beperkt	Nadrogen noodzakelijk	Matig	Goed	Matig
Filtreren	Gunstig	Beperkt	Nadrogen noodzakelijk	Matig	Goed	Matig
Centrifuge	Gunstig	Beperkt	Nadrogen noodzakelijk	Matig	Goed	Matig
Microfiltratie	0.6 MJ/ton	Beperkt	Nadrogen noodzakelijk	Matig	Goed	Matig
Reverse Osmose	7 MJ/ton	Beperkt	Slecht (retentaat)	Matig	Niet mogelijk	Zeer goed

* Drogen is thermisch drogen d.m.v. convectie, indampen is drogen d.m.v. conductie, bijvoorbeeld met een meertrapsverdamper, waarbij restwarmte beter hergebruikt kan worden.

Er zijn zeer veel ontwateringsmethoden beschikbaar zoals: drogen, indampen, persen, filtreren, centrifugeren, membraanfiltratie, bezinken, hydrocycloon, precipitatie, flotatie, elektrodialyse en chromatografie (tabel 1). Deze methoden zullen zeker niet allemaal even geschikt zijn voor toepassing op kleine schaal. Maar een eerste selectiemethode voor technologie is universeel, ongeacht de schaalgrootte en hangt af van de deeltjesgrootte van het te ontwateren product, en de hoeveelheid water die verwijderd moet worden. Dit is geïllustreerd in figuur 1, waarin zichtbaar is, dat er over het algemeen eerst ontwaterd wordt, omdat dit veel energie zuiniger is. Pas bij hogere droge stof gehaltes wordt gedroogd. Niet-thermische, mechanische, ontwatering is typisch een ordegrootte zuiniger dan (meertraps) verdamping middels conductie, dat op zijn beurt energiezuiniger is dan thermische droging. Veel industriële processen hebben dan ook

minimaal twee verschillende ontwateringsstappen na elkaar. Het lijkt logisch om voor bijvoorbeeld kleinschalige voorbehandeling vooral te kijken naar de eerste stap.



Figuur 1: Selectie van onwateringsmethoden gebaseerd op waterinhoud en deeltjesgrootte. (aangepast uit: Advanced Drying Technologies)

Tabel 2: Technologieën die gebaseerd zijn op verdamping (uit: Handbook of industrial drying, chapter 1: Principles, Classification, and Selection of Dryers), schaalfactoren uit Remer en Chai (1990).

Droger type	*Verdampingscapaciteit*		*Typische energy consumptie***	*schaalfactor*
Impingement dryer	50	kg $H_2O/h{\cdot}m^2$	5-7	
Rotary dryer	30-80	kg $H_2O/h{\cdot}m^3$	4.6-9.2	0.55
Fluid bed dryer			4-6	
Flash dryer	5–100*	kg $H_2O/h{\cdot}m^3$	4.5-9	
Spray dryer	1–30	kg $H_2O/h{\cdot}m^3$	4.5-11.5	0.22-0.71
Drum dryer (for pastes)	6–20	kg $H_2O/h{\cdot}m^2$	3.2-6.5	0.38-0.76

* verdampingscapaciteit afhankelijk van deeltjesgrootte

** energie consumptie in GJ/ton verdampt H_2O

Dat drogen geen energiezuinig proces is, wordt ook geïllustreerd in tabel 2. Hierin staat het kenmerkende hoge energieverbruik van deze technologieën (ter referentie: de verdampingsenthalpie van water is 2.7GJ/ton). Er komt schoon water uit en een droog product,

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

dat daardoor lang houdbaar is. Selectie van de juiste methode is vaak een afweging tussen productkwaliteit en kosten. De schalingsfactor voor dit soort technieken is vaak laag, typisch tussen de 0.5 en 0.7 en recycle van mineralen is niet mogelijk omdat die mee worden ingedroogd. Hierdoor ligt het voor de hand om deze technieken niet kleinschalig in te zetten en ze waar nodig eventueel als tweede nadroging centraal uit te voeren.

Een mooi voorbeeld is de ontwatering en droging van cassave door Dadtco in Afrika. Hier was verbeterde houdbaarheid van het product cruciaal in het procesontwerp. De cassavewortel is namelijk slechts beperkt houdbaar na oogsten, en moet binnen 24 uur verwerkt worden. Dit bepaalt direct de maximale transportafstand, en dus indirect de fabrieksgrootte. Ook zorgt de beperkte houdbaarheid ervoor dat de boeren erg afhankelijk zijn van de verwerkende industrie. De container die ontwikkeld is door Wageningen UR en Dadtco is mobiel en kan ter plekke de cassave wassen, snijden en drogen. Tarra, mineralen en overtollig water worden rechtstreeks naar het land teruggevoerd, wat bijdraagt aan de grondverbetering. Dit in tegenstelling tot de grote schaal fabriek, die de reststroom op de rivier loost. De perskoek kan direct gebruikt worden om mee te bakken of kan als basis dienen voor ethanolproductie. Verdere behandeling geeft houdbaar cassavemeel. Deze behandeling vindt grootschaliger en meer centraal plaats dicht bij de benodigde energiebron voor het drogen.

Het ontwateren van biomassa is echter niet altijd los van praktisch problemen en kan tot op bepaalde hoogte worden uitgevoerd. Bij mechanisch drogen, zoals centrifugeren, kan het vochtgehalte in een product teruggebracht worden tot maximaal 65% (Handbook of industrial drying). Binnen de PPS Kleinschalige Bioraffinage zijn een viertal gebruikte grondstoffen gekozen: Gras, Mais, Algen & Eendenkroos. In tabel 3 staat een overzicht van deze grondstoffen met hun samenstelling tijdens de oogst.

Tabel 3: Gangbare samenstelling van gras, mais, algen & eendenkroos, met hoogste en laagste waardes tussen haakjes erachter.

%	*Gras (vers)*	*Mais*	*Algen*	*Eendenkroos*
Droge Stof (DS)	18.2 (12.5-29.3)	33.3	0.3 (0.1-0.5)	4.9
Op Droge Stof:				
Eiwit	23 (12-35)	8.2	51 (13-70)	29.9
Vet		2.8		5.3
Koolhydraten	11.5 (1.4-23.2)	48.6	24 (11-49)	9.6
As		4.9		15
Overig				42.7
% DS bij inkuilen	±35	30-35	-	-
Dichtheid (kg / m^3)	250	750	1050	laag

Om de impact te bekijken van ontwateren op deze grondstoffen is de samenstelling tijdens de oogst uit tabel 3, vergeleken met de samenstelling na de huidige verdere verwerkingsmethode (base case) en mogelijke alternatieve behandelingen. Hierbij is getracht zowel de impact op de samenstelling, massa (of volume) en eventuele beperkingen weer te geven. In Tabel 4 staat dit weergegeven voor gras.

Tabel 4: Impact ontwateren op de verdere verwerking van vers gras. Base case: huidig proces van maaien, 2-3x schudden & inkuilen. Het drogen en persen is geschaald naar de snelheid van de maaier.

	Base Case	*Drogen*	*Persen*
Oogstsnelheid (maaien)	5 (ha/uur): boer: 2-6; loonwerker 5-15		
Opbrengst	4 – 20 (ton DS/ha per jaar)		
Opbrengst per maai gang (±3/ jaar)	3.1(ton DS/ha per maai gang)		
%DS na 2-3x schudden	35		
Ton vers gras/uur (5 ha/uur, 18,2% DS)		85	85
Ton droog of uitgeperst gras /uur		44 (35% ds)	34 (45% ds)
Ton te verwijderen water /uur		41 (water)	51 (perssap)
Hoeveelheid eiwit in water fractie (ton; ±50% eiwit gaat naar perssap)		0	3.6
Rest volume t.o.v. startvolume (%)		Onbekend (hooi)	25-40 (perskoek)
Eiwitconcentratie in water fractie (%)		0	7

Uit het overzicht in tabel 4 blijkt dat een directe waterverwijdering tijdens maaien energetisch een behoorlijke uitdaging zal geven. 40 ton water verdampen (=1 uur = 5 ha) kost onder geoptimaliseerde omstandigheden 200 GJ (zie tabel 2), wat ruwweg overeenkomt met de energie inhoud van 1 ha gewas. Persen lijkt meer voor de hand te liggen. Helaas zal echter een deel (tot 50%) van de eiwitten aanwezig in het gras in de perssap-stroom belanden. Deze verwijderde eiwitten verlagen de voerderwaarde van de resterende grasperskoek drastisch. Voorkomen dat de eiwitten verwijderd worden met het persen of het winnen van de eiwitten uit de grassapstroom is dus interessant. De vraag is of teruggewonnen eiwit door de perskoek mengen en deze vervolgens inkuilen meerwaarde heeft ten opzicht van het traditionele inkuilproces. Interessanter zal het worden als er verdere bioraffinage van het gras plaatsvindt waarbij er efficiënt meerdere waardevolle componenten gewonnen kunnen worden.

Voor mais geldt dat het drogestofgehalte tijdens oogst nagenoeg vergelijkbaar is met wat benodigd is voor het inkuilen. Verdere ontwatering / volumereductie is hier niet van toepassing.

Algen kenmerken zich door de zeer verdunde biomassa concentratie. Efficiënt ontwateren – en de keuze op welke manier is daarbij afhankelijk van het type alg. Generiek kunnen een aantal

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

energetische karakteristieken van verschillende ontwateringsmethoden worden weergegeven die geschikt zijn voor algen. De methodes staan vermeld in tabel 5 met een indicatie van hun specifieke energieverbruik. Vaak worden verschillende combinaties van technieken gebruikt om tot een zo goed mogelijk resultaat te komen. Met de meeste van deze technieken is het mogelijk om tot een droge stof gehalte van 10-40% te komen. Vaak is de consistentie van dit verkregen materiaal vergelijkbaar met een pasta. Een verdere verhoging van het droge stof gehalte is dan enkel nog met drogen te verkrijgen. Aan droogtechnieken valt te denken aan bijvoorbeeld sproeidrogen, plaatdrogen, wals drogen of sproeidrogen.

Tabel 5: Energetische data voor ontwateren van algen (illustratief).

Methode	*Energiegebruik*	
Centrifugeren	12	MJ/m^3 inlet
Persfilter	2	MJ/m^3 inlet
Vacuum filtratie	4.4	MJ/m^3 inlet
Flocculeren	0.36	MJ/m^3 inlet

Bij eendenkroos is het droge stof gehalte ongeveer 5%. Als ontwateringsalternatief zou hier persen mogelijk zijn.

4 Studie van voorbeeld cases

Om een beter inzicht te krijgen in de economie van grootschalige en kleinschalige processen is een aantal cases bestudeerd. Deze cases hebben niet altijd met bioraffinage van doen, maar helpen wel bij het verkrijgen van inzicht in de aspecten die relevant zijn voor de haalbaarheid van kleinschaligheid. Het eerste voorbeeld betreft de maaidorser, een belangrijke sleutel in de agrarische keten. Vervolgens bespreken we vliegvelden, waar diseconomies of scale optreedt en toch een trend zichtbaar is van steeds groter wordende schaal. Daarna kijken we naar een desktop studie van elektriciteitssnoertjes, die recent binnen ISPT is uitgevoerd. Tot slot bespreken we de motivatie van AKZO om kleinschalige chloorfabriekjes te gaan bouwen.

4.1 Maaidorser

Omdat de oogstsnelheid van gewassen voor een deel de minimale schaal van het erop volgende proces bepaalt, is er als voorbeeld gekeken naar de maaidorser. Een maaidorser kan ongeveer 1 ha/uur oogsten. Bij een opbrengst van 12 ton/ha verwerkt het apparaat dus 12 ton/uur (Persoonlijke communicatie A'Campo, 2014). Als wordt uitgegaan van een bedrijfstijd van 70 dagen per jaar en 8 uur oogsttijd per dag, dan komt dit op 450 ha/jaar. Een gemiddelde akkerbouwer heeft ongeveer 40 hectare, dus de maaidorser kan per jaar het volledige land van 11 akkerbouwers verwerken. Meestal wordt graan geteeld in wisselteelt. Als we uitgaan van 4 teeltgangen, dan gaat het dus al om 44 akkerbouwers. Het is dus direct duidelijk dat een maaidorser grootschaliger is dan de boerderijschaal. Om de output van 1 maaidorser te verwerken moeten 44 akkerbouwers samen één verwerkingsunit beheren.
Om een maaidorser efficiënt aan het werk te houden zijn minimaal 2 fte's nodig: 1 bestuurder van de maaidorser, en 1 bestuurder van de vrachtwagen om het gedorste graan op te vangen. Dan wordt het transport van graan naar de fabriek niet meegenomen. Maaidorsen is dus, ondanks de enorme mechanisatie en schaalvergroting, nog steeds een arbeidsintensief proces. Dit is een reden waarom het niet snel weer kleinschalig zal worden. Voor suikerbieten gelden soortgelijke getallen: er zijn 13 slechts rooiers nodig om een full scale suikerfabriek in bedrijf te houden. Omdat dit een maat is voor de minimale meest efficiënte aanvoer, zal de minimale schaal voor kleinschalige suiker productie in de orde grootte van 10% van de huidige capaciteit (1000 ton bieten per uur) liggen.

Een maaidorser die 2 mensen nodig heeft om te functioneren blijkt een aanzienlijke doorzet te hebben die veel groter is dan boerderijschaal. Omdat arbeidskosten een belangrijk deel zijn van de variabele kosten zullen mobiele installaties in het algemeen een gelijksoortige doorzet moeten hebben omdat anders de arbeidskosten te hoog worden (mobiele installaties hebben per definitie 1 fte nodig om het apparaat te besturen).

Conclusie:
Maaidorser overstijgt de schaal van 1 boerderij aanzienlijk; vervolgstappen op geoogste producten moeten liefst ook op deze toch tamelijk grote schaal plaatsvinden omdat er anders een probleem ontstaat als gevolg van de discontinue

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

aanvoer (de maaidorser is maar 1 dag aanwezig bij de boerderij; dat kan in het begin van het oogstseizoen zijn (dan heeft de boer tijd zat om alles te verwerken), maar ook aan het einde van het seizoen (dan heeft de boer dus helemaal geen tijd om het gewas te verwerken).
Kleinschalige processen, zoals processen op boerderijschaal kunnen enkel bestaan als ze 24 uur per dag nagenoeg volautomatisch kunnen draaien, zoals bijvoorbeeld bij mestvergisters het geval is, die doorloopt zonder dat daar personeel toezicht voor nodig is.

4.2 Vliegveld

Er zijn zowel grote (Schiphol 437000 vliegbewegingen per jaar) als relatief kleine (Eindhoven Airport 25000 vliegbewegingen per jaar) vliegvelden. Heel kleine vliegvelden worden vaak sterk gesubsidieerd en zijn daarom niet in deze vergelijking meegenomen. De zeer grote vliegvelden zijn aanmerkelijk duurder dan de kleine vliegvelden. De aanleg van vliegvelden vertoont een duidelijke diseconomies of scale (referentie). Toch zijn de grote vliegvelden zeer populair bij de reiziger die ook bereid is om extra te betalen. Beide observaties zijn nader bekeken.

4.2.1 Diseconomies of scale

Bij de opschaling van een vliegveld zal voor zeer kleine vliegvelden een sterke economies of scale gelden. Er moet hoe dan ook een landingsbaan zijn en het is dus efficiënter als die intensief gebruikt wordt. Dit zal ook gelden voor de bagage afhandeling, de ticket service, de douane etc. Als het vliegveld groter wordt, zijn meerdere landingsbanen nodig (nu 6 op Schiphol). Bij de overgang van 1 naar 2 banen zijn er nog voordelen te behalen, omdat de tweede baan in een andere windrichting gelegd kan worden, zodat bij zeer sterke zijwind niet uitgeweken hoeft te worden naar een andere luchthaven. Bij meer dan 2 landingsbanen komen ook de nadelen in zicht. Schiphol heeft 2 landingsbanen aan de andere kant van de snelweg. Hierdoor moesten snelweg en spoorlijnen in een tunnel, een flinke investering. Ook het taxiën gaat steeds meer tijd kosten.
De infrastructuur van een luchthaven bestaat doorgaans uit een gebouw met daaraan pieren. Als het vliegveld groter wordt, worden de pieren steeds langer. Het aantal aanlegplaatsen is lineair met de lengte van de pier, dus de investering gaat hier ook lineair toenemen met de schaal (sf=1). Bij nog grotere vliegvelden zijn er vaak meerdere terminals (Heathrow), waartussen transport noodzakelijk is (via bijvoorbeeld een ondergrondse trein). Hier treedt een diseconomie of scale op (sf>1). Het is daarom goed te begrijpen dat de investeringen van een luchthaven bij het overschrijden van een bepaalde schaal steeds duurder worden (sf>1).

4.2.2 Populariteit van de zeer grote luchthaven

Als een grote luchthaven duurder is dan een kleine luchthaven, waarom zijn grote luchthavens dan toch zo populair? Dit kan vooral verklaard worden uit het feit dat een grote luchthaven een

betere en meer uitgebreide service kan leveren. De grote luchthaven concurreert dus niet op prijs, maar op service. De betere service bestaat uit de volgende aspecten:

- Veel mogelijke bestemmingen (geen overstap nodig)
- Voor veel bestemmingen meerdere vluchten per dag (meer keuze en als je je vliegtuig mist, meestal een herkansing op dezelfde dag)
- Veel mogelijkheden tot overstappen
- Goede aansluitingen via weg en spoor
- Uitgebreid assortiment aan winkels, restaurants, kapsalons etc. om wachten draaglijk te maken

Conclusie: Ondanks een diseconomies of scale, kan een grote luchthaven toch heel goed concurreren met een kleine luchthaven. De passagier is bereid extra te betalen voor betere service. Dit is voor kleinschalige bioraffinage hier het belangrijkste leerpunt. Als je proces duurder is dan een grootschalig proces, moet je zorgen voor een beter product of service, zodat je de extra kosten in je productprijs kunt doorberekenen.

4.3 Elektriciteitssnoertjes

Een recent project "Economy of chains" van TUDelft, DSM, BearingPoint, Dutch Institute World Class Maintenance (DI-WCM), Erasmus Universiteit, Tebodin en Tri-Vizor heeft gekeken naar een geïntegreerde decentrale keten. Ze hebben een model gemaakt n.a.v. business case van de kunststofproductie voor de omhulling van elektriciteitssnoertjes. Op basis van data aangeleverd door DSM, modelleerde promovendus Gerben Bas eerst de bestaande keten van monomeer tot eindproduct. Vervolgens werd daarin het business concept economy of chain geïntroduceerd. Het model voorspelde marktdynamiek, transportstromen en prijsontwikkelingen. Volgens de makers van het model blijkt dat de gemodelleerde kleinschalige case bij een investering tot 2.5 keer die voor traditionele grootschalige installaties nog te renderen. Helaas is het model nog niet gepubliceerd en is het ons nog niet duidelijk waarom dit het geval is. Binnen dit project zien de makers vooral kansen in complexe, gedistribueerde productieketens en in markten met sterke regionale schommelingen. Daar zijn de voordelen maximaal; vanuit het oogpunt van kostenreductie, en door de mogelijkheid om de fabriek te verplaatsen, in plaats van het product. Verder kan het eindproduct sneller bij de afnemer zijn, wat beter is voor de kwaliteit.

Conclusie: Dit voorbeeld laat zien dat de voordelen van kleinschaligheid voldoende groot kunnen zijn in de gehele keten om een op lokaal niveau ongunstige situatie te kunnen compenseren.

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

4.4 Veiligheid en chloorfabrieken



Figuur 2: Kleinschalige chloorfabriek (http://www.uhdenora.com/skid_mounted_plants.asp)

Chloortreinen moeten definitief overbodig worden dankzij kleinschalige chloorfabriekjes met afstandsbesturing (figuur 2). AkzoNobel Industrial Chemicals in Amersfoort, de Duitse apparatenbouwer Uhde en diens Italiaanse elektrolyse-halfdochter Uhdenora hebben gezamenlijk een kleinschalige chloorfabriek ontwikkeld waarin de processtappen op zodanige wijze worden ontwikkeld dat de operationele verkleining economisch haalbaar wordt. (AKZO sociaal jaarverslag 2010)

De nieuwe kleinschalige installaties staan op het terrein van de afnemer en leveren maximaal 15.000 ton chloor per jaar. Voor de meeste individuele afnemers is dit ruim voldoende. Alle componenten worden kant en klaar op verplaatsbare 'skids' aangeleverd en hoeven ter plekke alleen op elkaar te worden aangesloten. De installaties nemen 36 bij 46 meter in beslag en worden op afstand bediend vanuit een centrale regelkamer bij AkzoNobel. Op deze manier kan één ploeg operators verschillende chloorfabriekjes tegelijk in de gaten kan houden. Zo worden de personeelskosten binnen de perken gehouden. AkzoNobel kan verder de benodigde grondstof (keukenzout) aanleveren en de bijproducten natronloog en waterstof af voeren. (C2W, Arjen Dijkgraaf, feb 2010) Het zou helemaal mooi zijn als deze vervolgens ook weer lokaal verder gebruikt kunnen worden.

De technische standaardisatie speelt een belangrijke rol in het verminderen van de kosten van het project en zorgt voor een snelle realisatie omdat skid inkoop en civiele activiteiten op de site parallel lopen.

Conclusie: Verbeterde veiligheid kan ook een drijfveer voor kleinschaligheid zijn. Door te werken met standaard modules zijn productie kosten lager en kan er sneller geleverd worden. Verbeterde veiligheid op kleine schaal valt te extrapoleren naar biotechnologische processen, waar kleinere batchgroottes het economisch risico bij besmetting verkleinen en latere identificatie en traceerbaarheid van producten vergroten.
Monitoring op afstand maakt kleinschalig beter haalbaar, de service is dan gecentraliseerd. De goedkope automatisering en goede verbindingen van tegenwoordig maken dat dit wezenlijk is veranderd t.o.v. 20 jaar geleden).

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

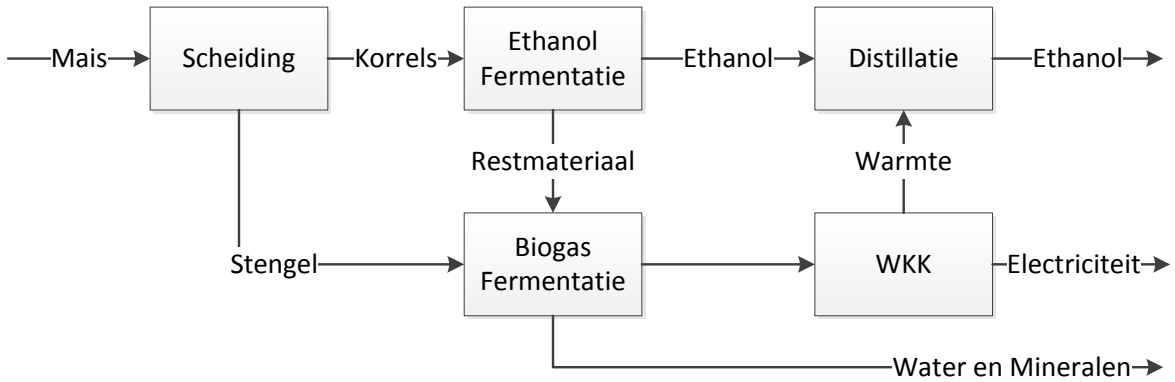
5 Cases vanuit de werkpakketten

Vanuit de werkpakketten worden hier twee cases behandeld om tot aanvullende ontwerpregels voor kleinschalige productie te komen. Allereerst de ethanol-casus, die al enige tijd loopt bij bv Byosis en destijds gebruikt is om tot sommige ontwerpregels te komen (zie ook verslag over 2013). De huidige status van dit proces wordt verder geëvalueerd en vergeleken het met alternatieve productie van ethanol uit suikerbiet. Daarna wordt de productie van biogas behandeld, waar ook meerdere deelnemers binnen de PPS mee bezig zijn.

5.1 Ethanol

Binnen de PPS Kleinschalige Bioraffinage zijn er meerdere partijen die naar ethanolproductie kijken.

Een aantal jaar geleden is het (toen nog) Zeafuels proces geëvalueerd als voorbeeld proces van een bioethanol proces voor kleine schaal (EP 2098596). Het processchema van de pilot-plant in Lelystad staat weergegeven in figuur 3.



Figuur 3: Schematische weergave van mais bioraffinage naar ethanol zoals oorspronkelijk ontworpen door Byosis.

Het proces was zo ontworpen dat de investeringskosten voor apparatuur, en speciaal voor warmtewisselaars, zo laag mogelijk zijn. Het grootste deel van de warmtewisseling wordt voorkomen door de rechtstreekse recycle van water, mineralen en andere restmaterialen naar het land. Hierdoor is het proces duurzamer en worden veel kosten voor indampen en transport voorkomen. Verder wordt de geproduceerde ethanol slechts gedestilleerd tot een concentratie van 70%. Dit verlaagt de investeringskosten voor deze stap aanzienlijk, terwijl de ethanol toch voldoende geconcentreerd is om vervoerd te worden voor verdere, centrale, verwerking. De laatste maatregel die genomen is om de investeringskosten voor apparatuur te verlagen, is het gebruik van een amylase, die ook natief zetmeel in de korrel af kan breken, waardoor volledige gelering niet noodzakelijk is en de viscositeit laag blijft. Ook was het hierdoor niet nodig om een jet cooker aan te schaffen. Uiteindelijk is het proces ook gecombineerd met een biogasinstallatie

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

en WKK, zodat het in zijn eigen energie kan voorzien. Momenteel verricht Byosis (het voormalige Zeafuels) nog steeds onderzoek om naar meer waardevollere componenten te komen, zoals zeïne of veevoer. De business case op enkel ethanol is (nog) niet succesvol uitgerold.

DSD heeft ook gekeken naar een ethanol case. Dit betreft een nieuwe methode, direct vanaf suikerbiet met het Betaprocess als methode van ontsluiting. De ontsluiting lijkt een mooi proces voor kleine schaal toepassing. DSD heeft als streven dat een boer meer toegevoegde waarde verkrijgt van de gewassen die hij teelt. Dit kan door meer verwerking dicht bij het erf te gaan doen. Dit kan per onafhankelijke boer, maar ook per cluster boeren (nieuw soort coöperatie). In het midden moet dan een verwerkingsunit komen waar bijvoorbeeld een halffabricaat geproduceerd kan gaan worden en eventueel opgeslagen. Dit product moet dan in een later stadium naar een verdere verwerker getransporteerd worden. Een boer of cluster boeren wordt dan eigendom van dit halffabricaat en zal daaraan kunnen verdienen. DSD heeft zich in eerste instantie gefocust op wassen, crushen, behandeling door Betaprocess en scheiden op het erf. Uit de proeven tot nu toe blijkt dat het product onvoldoende stabiel is en vanzelf gaat fermenteren. Daarom moet de fermentatiestap gekoppeld blijven aan het Betaprocess. Destillatie kosten zijn relatief hoog op kleine schaal. Economische haalbaarheid hiervan wordt in 2015 nader geanalyseerd. Er wordt nu gerekend met doorzetten die variëren van 750-10.000 ton bieten input per dag. Een ordegrootte van enkele duizenden tonnen per dag, brengt de berekende (99%) ethanol kostprijs rond de 40 cent per liter. Hierbij zijn echter de inkomsten uit reststromen, voor bv feed of biogas, niet meegenomen. Als alle suikerbieten in dit geval decentraal verwerkt zouden worden, zou dit landelijk neerkomen op 30 tot 40 ethanol fabriekjes, wat lijkt op de oude situatie aan het begin van de vorige eeuw, van voor de schaalvergrotingen. Berekeningen hiervoor zouden echter verfijnd moeten worden omdat er nog geen goede afweging is tussen afgenomen transportkosten en schaalvoordelen.

Met Cosun is er ook gekeken naar decentrale suikerverwerking. Hierbij werd in eerste instantie gekeken naar een gecombineerde productie van ruwe suiker en ethanol. Uit nader onderzoek is echter gebleken dat er ook gestuurd kan worden op een decentrale opbrengst van meer dan 90% ruwe suiker, waardoor de extra investering voor ethanol fermentatie onlogisch is geworden.

Conclusie: Net als op grote schaal lijkt een business case op uitsluitend ethanol voorlopig niet haalbaar, omdat de verkoopprijs van het product zo laag is. Verder is het extra moeilijk op kleine schaal rond te rekenen als de hele keten lokaal uitgevoerd wordt, i.p.v. alleen een voorbehandeling. Wellicht geldt deze conclusie voor meer commodities.
Commodities hebben weinig lokale extra toegevoegde waarde.

5.2 Biogas

Biogas kan uit zeer veel verschillende grondstoffen geproduceerd worden. We analyseren hier verschillende processen. Allereerst een voorbeeld dat deel uitmaakt van de PPS. Dit betreft de biogasproductie door ROVA uit groente-, fruit- en tuinafval (GFT). Andere voorbeelden zijn de kleinschalige case van biogaswinning uit restaurant afval en een andere case uit bermgras.

De grootste doorvoer van biomassa van de drie voorbeelden vindt plaats bij de ROVA en bedraagt 45.000 ton/jaar. ROVA vergist GFT, dat na een grove mechanische scheiding op niet-biologisch materiaal (b.v. verongelukte groenbakken) gelijk verwerkt wordt. Door hun grootte kunnen ze niet (uitsluitend) lokaal afzetten. Ze halen hun inkomsten uit (gesubsidieerd) groen gas en krijgen een vergoeding voor de GFT-verwerking. Duidelijk probleem is de aanzienlijke productie van digestaat en de (on)mogelijkheid om deze te drogen. Veel grotere verwerkers maken ook compost. Hier wordt dan het digestaat doorgemengd, waardoor passief gedroogd kan worden en gemakkelijker kan worden afgezet.

Erk Energy BV is actief op het gebied van het produceren van duurzame energie en het drogen van biomassa. Erk energy heeft 5.000 m^3 aan vergisters staan, met een vermogen van 800 kWe en een drooginstallatie voor het drogen van bijvoorbeeld dikke fractie, houtchips en maïs. Deze wordt ook gebruikt om het digestaat te drogen tot pellets. Verder gebruiken ze voor de voorbehandeling een machine voor het verkleinen van het gras tot stukken van ongeveer een halve centimeter. De biogasinstallatie is eind 2010-begin 2011 gerealiseerd en sinds 2 mei 2011 wordt er groene stroom geleverd aan het elektriciteitsnet. Ze hebben voldoende aanvoer van goedkope/gratis grondstof, maar zien de afzetmogelijkheden van het digestaat als de belangrijkste belemmering. Ook is er nog veel te winnen wanneer de huidige berminrichting en de wetgeving rond het maaien wordt geoptimaliseerd voor de verwerking. Nu wordt daar door de overheid nog niets aan gedaan.

Een uitermate kleinschalige vergister is de Swillgasser van Enki Energy, die in samenwerking met Huisman Innovations is gebouwd. Dit zijn geautomatiseerde modulaire bioreactoren vanaf 5 m^3 in een container. Ze zijn bedoeld voor restaurants, hotels en grootkeukens (ca. 50-500 kilo organisch afval/dag) die normaliter kosten maken om hun etensresten af te voeren. Etensresten zijn echter makkelijk te fermenteren, omdat ze vaak al gekookt zijn. De containers zijn geheel afgesloten en daardoor veilig, maar ook vooral geurvrij. Het doel is hier niet biogasproductie, maar afvalverwerking. Hetzelfde bedrijf levert ook iets grotere geautomatiseerde bioreactoren voor specifieke toepassingen vanaf 15 m^3 tot 200 m^3. Deze zijn bedoeld voor groente- en fruitkwekers, en de voedselverwerkende industrie. Hier wordt wel biogas geproduceerd, bestemd voor lokaal gebruik.

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



Figuur 4: Swillgasser bij Van der Valk in Cuijck. (http://www.enki-energy.com/img/Swillgasser%20home.jpg)

Conclusie: De business cases op biogas lopen vooral op de aanvoer van gratis grondstof voor verwerking, het "ontzorgen" van derden die van die grondstof af willen en eventueel op subsidies voor groen gas. De productopbrengsten an-sich zijn hierbij van secundair belang.

5.3 Vergelijk ethanol en biogas

De voorbeelden uit de twee voorgaande paragrafen illustreren dat kleinschalige biogasproductie veel vaker voorkomt dan kleinschalige ethanolproductie. Door de verschillen te analyseren kunnen de ontwerpregels voor kleinschaligheid verder gedefinieerd en aangescherpt worden.

Allereerst is het gebruik van grondstoffen verschillend. Waar de Biogas-keten gebruik maakt van gratis grondstoffen, die aangeleverd worden omdat verwerking op een andere manier geld kost, zijn de ethanol-cases gebaseerd op een agrarisch product waarvoor betaald moet worden. Dit een zeer belangrijk verschil, omdat de grondstofprijs vaak een aanzienlijk deel is van de totale proceskosten.

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

Een ander belangrijk verschil is dat er voor de ethanol geen lokale markt is, waar die er wel is voor biogas. Dit geeft duidelijke voordelen aan de verkoopkant van de keten. De producent is meer eigen baas met lokale partners en minder afhankelijk van grote partijen. Ook kan hij soms zijn eigen product afnemen en daardoor het prijsverschil tussen verkoop en inkoop als winst meepakken.
Ook is er een verschil in productvolume en -kwaliteit, speciaal als je elektriciteit uit de biogas maakt. Daarmee is dit wel een unieke case. Elektriciteit behoeft geen kwaliteitscheck meer en kan "gewoon" aan het net geleverd worden. Daarnaast heeft het ook geen transport volume meer.

Deze voordelen maken hele grote verschillen in de business case tussen de (kleinschalige) productie van ethanol en biogas en zullen in het volgende hoofdstuk gebruikt worden om de ontwerpregels voor kleinschalige bioraffinage verder te definiëren.

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

6 Discussie

6.1 Voordelen kleine schaal

Bekende voordelen van kleine schaal zijn: de vermindering van transport, hergebruik van reststromen waaronder water, mineralen en organisch afval (bv. via vergisting), verbeterde houdbaarheid van het product, en aanvullend inkomen en werkgelegenheid voor de boer. Verder is het mogelijk gemakkelijker om investeerders te vinden, kan innovatie sneller plaatsvinden en is er in sommige gevallen verhoogde veiligheid doordat bepaalde (tussen) producten niet meer getransporteerd hoeven te worden, maar lokaal geproduceerd zijn. (Bruins en Sanders, 2012)

Vorig jaar zijn er uit het MKB-consortium van dit project al extra voordelen genoemd, zoals geen MER (Milieu Effect Rapportage) plicht, betere lokale acceptatie, niet afhankelijk van grote verwerkers en niet afhankelijk van duizenden collega's (coöperatie). Verder zijn de specifieke voordelen voor kleinschalige suikerbieten raffinage tot in detail uitgewerkt (Bruins et al., 2013).

Dit jaar kwam uit de discussies naar voren dat als er een onderbezetting van mensen of apparatuur op een bepaalde plek is, dit ook een drijfveer voor kleinschalige bioraffinage kan zijn. Gebruik van (al betaalde) onderbezetting zou een methode kunnen zijn om toch mensuren beschikbaar te hebben voor het kleinschalige proces.

Een ander voordeel dat ook naar voren kwam, is snellere levering en een betere kwaliteit. Dit zijn voordelen die kunnen optreden als het product ook lokaal afgezet wordt.

Verder kunnen kleinschalige processen voor elke locatie op meer detailniveau ingeregeld worden, zodat er met lokale batchverschillen rekening gehouden wordt, in plaats van dat er grote gemengde biomassa stromen binnenkomen, zoals op grotere schaal.

Soms zitten wetten grootschalige processen in de weg. Als agrarische reststoffen het bedrijf van de boer verlaten en ze komen later weer terug, dan tellen ze als inkomende mest. Als de boer ze ter plekke verwerkt, kan hij de reststromen op eigen land uitrijden.

6.2 Bekende ontwerpregels en verdere interpretatie

Kleine schaal processen moeten op een andere manier ontworpen worden dan hun grote schaal equivalent. Al eerder beschreven regels zijn:

Houd *investeringskosten voor apparatuur, en in het bijzonder warmtewisseling, zo laag mogelijk*. Deze getallen zijn direct gekoppeld aan schaal grootte en Jean-Paul Lange heeft veel olie-gebaseerde processen vergeleken op dit gebied. Dit staat verder uitgelegd in het "Intermezzo".

INTERMEZZO: (Petro)chemie en procesoptimalisatie

Bestaande grootschalige fabrieksprocessen kunnen enerzijds geoptimaliseerd worden door het verbeteren van de algehele opbrengst, bijvoorbeeld door een reductie van verliezen en een verbeterde selectiviteit en anderzijds door een verhoging van de productiviteit door bijvoorbeeld een verbetering in katalysator en andere proces aanpassingen. Dit leidt tot kostenreducties. Echter, bij de ontwikkeling van nieuwe fabrieken bestaat opeens de mogelijkheid om nieuwe technologieën toe te passen, die tot aanzienlijk grotere kostenreducties kunnen leiden. Dit is zeker het geval voor kleinschalige processen, waar een fabriek veel vaker gebouwd wordt en de ruimte voor innovaties groter is.
Als je kijkt naar de grootste kostenposten voor de productie van bulkchemicaliën staan de grondstoffen vaak op de eerste plaats, gevolgd door de investeringskosten. Kosten voor katalysatoren en recycling dragen ook, maar in mindere mate bij in het gehele plaatje. Omdat de grondstofkosten zo overheersend zijn in de algehele balans, is het voor de hand liggend om hierop te besparen en te zoeken naar goedkope varianten. Azijnzuur, dat vroeger uit kool geproduceerd werd, wordt nu uit gas gemaakt. Dit soort grondstofveranderingen gingen voorheen vaak hand in hand met een verlaging van de reactiewarmte, wat daardoor ook zorgde voor een vermindering in warmteverlies en dus verminderde investeringskosten (voor warmtewisseling). Echter, momenteel wordt ook veel onderzoek gedaan naar grondstoffen, die wel goedkoper zijn, maar een toename in de reactiewarmte hebben, waardoor de winst die je op grondstofgebied maakt, tenietgedaan wordt door verhoogde investeringskosten. Een voorbeeld hiervan is etheen uit biogas.

Waar Lange echter uitgaat van sterk gereduceerde grondstoffen, kun je door uit te gaan van meer geoxideerde substraten, zoals glucose, meer energie neutraal werken. Dit toont aan dat voor biobased processen kleinschaligheid haalbaarder is dan bij processen uit fossiele grondstoffen.

Verder laat Lange zien dat voor de fossiele processen lagere investeringskosten kunnen verwezenlijkt worden door een minimalisatie van het warmtewisselend oppervlak. Het netwerk van warmtewisseling bepaalt namelijk voor een groot deel de investeringskosten en zijn de reden voor schaalvergroting (sf=0.55). Het gaat hier om het totale aantal warmtewisselaars, dus inclusief alle tussenstappen. Als je enkel de begin en eind energie waardes (=energieverlies) neemt zie je wel de correlatie met de investeringskosten, maar een kleiner schaaleffect (sf=0.84). Echter, bij kleine fabrieken krijgen andere kosten meer invloed en is warmteoverdracht niet langer een goede maat voor de investeringskosten.

Gebaseerd op: Fuels and chemicals manufacturing: guidelines for understanding and minimising the production cost J.-P. Lange, CatTech, 2001, 5(2), 82-95

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

Maak de ***decentrale-centrale "knip" op de juiste plek***, zodat technisch moeilijke en daardoor vaak dure processen centraal en meer simpele processen, die voor volumereductie en daardoor een vermindering in transportkosten zorgen, decentraal uitgevoerd worden. Deze ontwerpregel is in dit rapport geïllustreerd met de voorbeelden over ontwateren en drogen.

Gebruik verder de ***lokale reststromen voor de generatie van warmte en energie***, die terplekke gebruikt worden. Deze ontwerpregel blijkt bijvoorbeeld wederom in de verwerking van het bermgras door Erk Energy.

6.3 Nieuwe ontwerp regels

Naar aanleiding van de cases die bestudeerd zijn, zijn er extra ontwerpregels geformuleerd. Opvallend was het aantal mensuren dat gebruikt kan worden. Zeer kleinschalige installaties, zoals biogas fermentoren en de AKZO Chloor fabriekjes worden met veel minder dan 1 FTE bedreven. Vaak zijn ze stand-alone, volledig geautomatiseerd en zelfs op afstand bestuurbaar. Bij problemen komt er hulp van extern. Een groter apparaat, zoals de maaidorser gebruikt al 2 FTE, en een grootschalige fabriek een veelvoud daarvan. Deze observatie klopt met de schaalfactor voor mensuren, zoals die gerapporteerd is door Remer en Chai (tabel 6), van 0.25. ***Voor kleinschalige processen zal dus gewerkt moeten worden met zo min mogelijk mensuren en zal zoveel mogelijk centrale ondersteuning moeten worden geregeld.***

Tabel 6 Schaalfactoren van verschillende aspecten van een proces. (Remer en Chai, 1990)

Item	*schaalfactor*
Apparatuur	0.68
Chemicaliën	1.00
Mensuren	0.25
Service	0.38

Verder blijkt uit de nieuwe voorbeelden van de cases van de chloorfabriekjes en Swillgasser dat een stand-alone, volledig geautomatiseerde (<1FTE) unit leidt tot verminderde kosten voor ontwerp en ontwikkeling, een snellere realisatie en snellere innovatie. Het gebruik van identieke ***modulaire units*** is daarom een goed concept, als het proces op meerdere plaatsen toe te passen is.

Uit de uitgewerkte voorbeelden in hoofdstuk 3 blijkt verder dat ***drogen niet en ontwateren wel*** een optie is op kleine schaal. De mineralen kunnen dan lokaal afgezet worden, wat daar een voordeel is en kosten verderop in een (centraal) proces bespaart. Lokaal ontwateren is een goede eerste stap om houdbaarheid te verhogen, en het productgewicht te verlagen. Hierdoor vermindert de afhankelijkheid van de seizoenen en worden transportkosten verlaagd. Grondstoffen die hiervoor in aanmerking komen zijn waterrijke grondstoffen zoals groen blad,

gras, aardappels, suikerbiet en algen. Mais komt bijvoorbeeld niet in aanmerking voor ontwateren.

Een al eerder genoemde ontwerpregel: "Gebruik verder de lokale reststromen voor de generatie van warmte en energie, die ter plekke gebruikt worden" kan verder veralgemeniseerd worden naar: Produceer voor een ***lokale of eigen markt***. Gebruik dus niet enkel een lokaal startmateriaal (grondstof, maar ook water en energie), maar produceer ook een lokaal product. Dit geeft ten eerste een dubbel voordeel op bij transport. Een voorbeeld is hier olie uit oliehoudende zaden (niet behandeld in dit rapport) of natte feed. Door lokaal te verkopen, of zelf te gebruiken genereer je ook een veel betere startsituatie dan bij verkoop voor de inkoopprijs van een groothandel/industrie. Wederom kan feed hier als goed voorbeeld dienen als je die zelf afneemt of lokaal afzet. Dit geldt ook voor de gasprijzen (zie rapportage van vorig jaar). Het ***verschil tussen verkoopprijs en inkoopwaarde*** is over het algemeen aanzienlijk.

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

Literatuur

Bruins, M.E., Sanders, J.P.M. (2012) Small-scale processing of biomass for biorefinery *Biofuels, Bioproducts and Biorefining* 6(2): 135-145

Bramsiepe, C., Sievers, S., Seifert, T., Stefanidis, G.D., Vlachos, D.G., Schnitzer, H., Muster, B., Brunner, C., Sanders, J.P.M., Bruins, M.E., Schembecker, G. (2012) Low-cost small scale processing technologies for production applications in various environments-Mass produced factories *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification* 51: 32-52

Sanders, J.P.M., Bruins, M.E., van Bon J.J.C.F. (2012) Process for the crystallisation of a water-soluble compound, WO2012/128624

Kolfschoten, R.C., Bruins, M.E., Sanders, J.P.M. (2014) Opportunities for small-scale biorefinery for production of sugar and ethanol in the Netherlands *Biofuels, Bioproducts and Biorefining* 8(4): 475-486

Remer, D.S. and Chai L.H. (1990) Design cost factors for scaling-up engineering equipment. *Chemical Engineering Progress* 86(8): 77-82

Kudra, T. and Mujumdar, A.S. (2009) Advanced Drying Technologies, CRC Press, Second Edition, Chapter 29: Combined filtration and drying

Mujumdar, A.S. (2006) Handbook of industrial drying, CRC Press, Third Edition, Chapter 1: Principles, classification, and selection of dryers

Bruins, M.E., Meesters, K.P.H., Scott, E.L., Kolfschoten, R.C., Haer, T. (2013) Succesfactoren kleine schaal. Rapportage PPS kleinschalige bioraffinage WP6.

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