

Succesfactoren kleine schaal

Pps kleinschalige bioraffinage WP6, tussentijdse rapportage 2013



M.E. Bruins
K.P.H. Meesters
E.L. Scott
R.C. Kolfschoten
T. Haer

Rapport nr. BCH 2014/001

Colofon

Titel	Succesfactoren kleine schaal
Auteur(s)	Bruins, Meesters, Scott, Kolfschoten, Haer
BCH Nummer	BCH 2014/001
Publicatiedatum	6-2-2014
Vertrouwelijk	Nee

Wageningen UR
P.O. Box 17
NL-6700 AA Wageningen

E-mail: marieke.bruins@wur.nl
Internet: www.wur.nl

© Wageningen UR

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.

Abstract

Onze maatschappij ondergaat momenteel de transitie van een op aardolie gebaseerde economie naar een biobased economy. Hiervoor worden vele nieuwe bioraffinage processen ontwikkeld. Kleine schaal bioraffinage kan voordelen hebben, niet alleen vanuit een sociaal een duurzaam oogpunt, maar ook puur economisch. Succesvolle voorbeelden zijn in dit rapport geanalyseerd en de drijfveren voor kleinschalige bioraffinage zijn verder uitgewerkt.

Daarnaast is er gezocht naar een eenduidige definitie voor kleinschalige bioraffinage. Hier zijn specifieke getallen uitgekomen, maar nog geen generieke beschrijving. Daarom zal hier ook in het komend jaar nog aandacht voor zijn.

Bioraffinage technieken en processen zijn geanalyseerd op hun schaalbaarheid. Uit de geanalyseerde processen en technieken bleek duidelijk dat er niet enkel naar units, maar naar het hele proces, en zelfs de hele keten gekeken moet worden voor een goed vergelijk. Ook dit zal in het komende jaar nog verder uitgewerkt worden, te beginnen met een analyse voor biogas productie en voor chemicaliën. Dit kan uitgebreid worden met een analyse van processen uit de werkpakketten of andere processen, mits deze voldoende concreet zijn.

Inhoudsopgave

Abstract	5
1 Motivatie kleinschalige bioraffinage	7
1.1 Kleine schaal bioraffinage verslaat economy of scale	7
1.2 Processen uit de werkpakketten	9
1.3 Kleinschalige bioraffinage voorbeelden	9
1.4 De drijfveren op een rij: MKB	11
1.5 Van grote naar kleine schaal: de suikerbietencase	11
2 Definitie	15
2.1 Decentrale lokale bio-raffinaderij	15
2.2 Mobiel	15
2.3 Andere overwegingen	15
3 Technologieën en schaalgrootte	17
3.1 Ethanol-water scheiding als voorbeeld	17
3.2 Kosten van warmte	20
4 Conclusies en verder onderzoek	23

1 Motivatie kleinschalige bioraffinage

Door centralisatie en schaalvergroting zijn de laatste decennia de kosten voor de verwerking van primaire landbouwproducten omlaag gebracht. Veranderde uitgangspunten, zoals verhoogde transportkosten, de wens tot voorwaartse integratie en de noodzaak van (her)gebruik van alle processtromen, zullen er nu toe leiden dat (gedeeltelijke) decentralisatie van sommige bioraffinage processen aantrekkelijker wordt. Binnen dit werkpakket van de TKI kleinschalige bioraffinage wordt gekeken naar de technologische en economische haalbaarheid en de duurzaamheid van decentrale (voor)behandeling.

Binnen WP6 wordt gekeken naar het algemene concept van kleinschalige bioraffinage, en worden voorbeelden uit de praktijk gebruikt voor onderzoek en de onderbouwing. Allereerst wordt er een voorlopige definitie van kleinschalige bioraffinage opgesteld, die later steeds concreter zal moeten worden. Vervolgens worden als voorbeeld voor kleinschalige bioraffinage processen de cases uit de andere werkpakketten genomen, aangevuld met enkele interessante andere, meest Nederlandse voorbeelden. Van deze processen worden de redenen onderzocht voor een kleinschalige toepassing. Vervolgens wordt er in meer detail gekeken naar bepaalde processen en technologieën en naar hun (on)geschiktheid voor kleine schaal. Uiteindelijk zal dit onderzoek leiden naar algemene ontwerpregels voor kleinschalige bioraffinage.

1.1 Kleine schaal bioraffinage verslaat economy of scale

In de afgelopen decennia is er in veel processen aanzienlijke schaalvergroting opgetreden. Dankzij “economy of scale” zijn deze processen goedkoper. Een belangrijk voorbeeld hierbij is de petrochemische industrie. Voor processen die gebaseerd zijn op biomassa is economy of scale wellicht minder belangrijk.

Belangrijkste reden voor lokale behandeling: vermindering transport

De meest voor de hand liggende reden voor lokale (voor)bewerking van biomassa is afname van het transportvolume. De meeste biomassa bevat namelijk voor een groot deel water. Tezamen met mineralen en andere delen van de plant die niet waardevol genoeg zijn voor (dure) centrale verwerking, kunnen ze beter terplekke gebruikt of hergebruikt worden (figuur 1). Dit voorkomt transportkosten en extra verwerkingskosten voor “afval”, zoals een minerale reststroom.

Hergebruik van afval

De water en mineralen reststroom kan direct naar het land teruggevoerd worden. Dit is immers een goede bron van bemesting. Overig organisch afval kan vergist worden in een biogasinstallatie. Dit kan vervolgens, via een warmte-kracht koppeling (WKK) energie, warmte en CO₂ opleveren. Bij decentrale biomassa verwerking kan dit rechtstreeks ingezet worden voor verdere processen.

Verbeterde houdbaarheid

Ontwateren is een belangrijke stap in biomassa bewerking. Behalve dat dit, zoals al genoemd, de transportkosten verlaagt, zorgt het ook voor een verlenging van de houdbaarheid van het product. Dit heeft als voordeel dat de verwerkingstijd van de biomassa aanzienlijk verlengd wordt. Seizoensgebonden verwerking kan zo vervallen en opvolgende centrale verwerking kan het hele jaar plaatsvinden, i.p.v. maar gedurende enkele maanden. Als het extreem kort houdbare producten betreft, zal het de positie van de boer versterken als ze houdbaarder zijn. Dit geeft de boer een stevigere positie en meer afzetmogelijkheden.

Andere voordelen

Lokale verwerking op kleine schaal kan plaatsvinden bij de boer. Dit genereert aanvullend inkomen en werkgelegenheid, wat positief kan werken op de plattelandsontwikkeling.

Verder is het gemakkelijker om investeerders te vinden voor kleinere projecten en kan er sneller ingesprongen worden op nieuwe, technologische, ontwikkelingen. Ook neemt soms de veiligheid van processen toe, doordat bepaalde producten niet meer getransporteerd hoeven te worden, maar lokaal geproduceerd zijn.

Tabel 1 Kenmerken van kleine schaal bioraffinage met de voor en nadelen in vergelijking met grote schaal. K: voordeel op Kleine schaal; G: voordeel op Grote schaal.

Klein versus Groot	People	Planet	Profit
Minder transport (water, tarra)	K	K	K
Hergebruik van “afval” zoals CO ₂ , warmte, mineralen		K	K
Verbeterde houdbaarheid			K
Voordeel voor de boer	K		K
Meer ruimte voor innovatie/ risico investeringen			K
Veiligheid	K	K	
Economy of scale: Overhead			G
Economy of scale: Energie en technologie			G
Economy of scale: Kapitaal			G

Economy of scale

De ervaring leert dat de kostprijs van apparaten (C) niet lineair toeneemt met de schaal (S). Nagenoeg altijd zullen de kosten dalen. Dit wordt economy of scale genoemd. De economy of scale wordt weergegeven in vergelijking 1, waar de schaalfactor s_f een getal is dat meestal ligt tussen 0.3 en 1.

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

Bij een lage schaalfactor is de economy of scale zeer sterk, bij een hoge schaalfactor (1), stijgen de kosten lineair en is er dus geen sprake van economy of scale. Uiteindelijk wordt voor elk apparaat

op zeker moment een schaal bereikt waar de economy of scale steeds zwakker wordt of uiteindelijk geheel verdwijnt. Op dat moment worden vaak meerdere identieke units parallel gebouwd. Dit zie je vaak bij centrifuges en chromatografiekolommen. Als de schaal maar groot genoeg is, dan treedt dit effect op voor alle apparatuur (denk aan opslagtanks in de haven van Rotterdam). Meestal wordt al eerder over gegaan op meerdere parallelle apparaten omdat hierdoor flexibiliteit ontstaat en omdat hierdoor onderhoud kan worden gepleegd zonder de hele fabriek stil te zetten.

Succesfactoren kleine schaal: een eerste aanzet

Kleine schaal processen moeten op een andere manier worden ontworpen dan hun grote schaal equivalent. Het blijkt dat investeringskosten relatief hard drukken op het totale budget en kosten voor apparatuur moeten dan ook zo laag mogelijk gehouden worden.

Verder kan een proces ook maar ten dele decentraal uitgevoerd worden. Het is belangrijk om de decentrale-centrale “knip” op de juiste plek te maken. Technisch moeilijke en daardoor vaak dure processen kunnen beter centraal uitgevoerd worden. Terwijl meer simpele processen, die voor volumereductie en daardoor een vermindering in transportkosten zorgen, decentraal uitgevoerd kunnen worden.

De reststromen die lokaal gebruikt worden, kunnen worden ingezet voor de generatie van warmte en energie, die terplekke gebruikt worden.

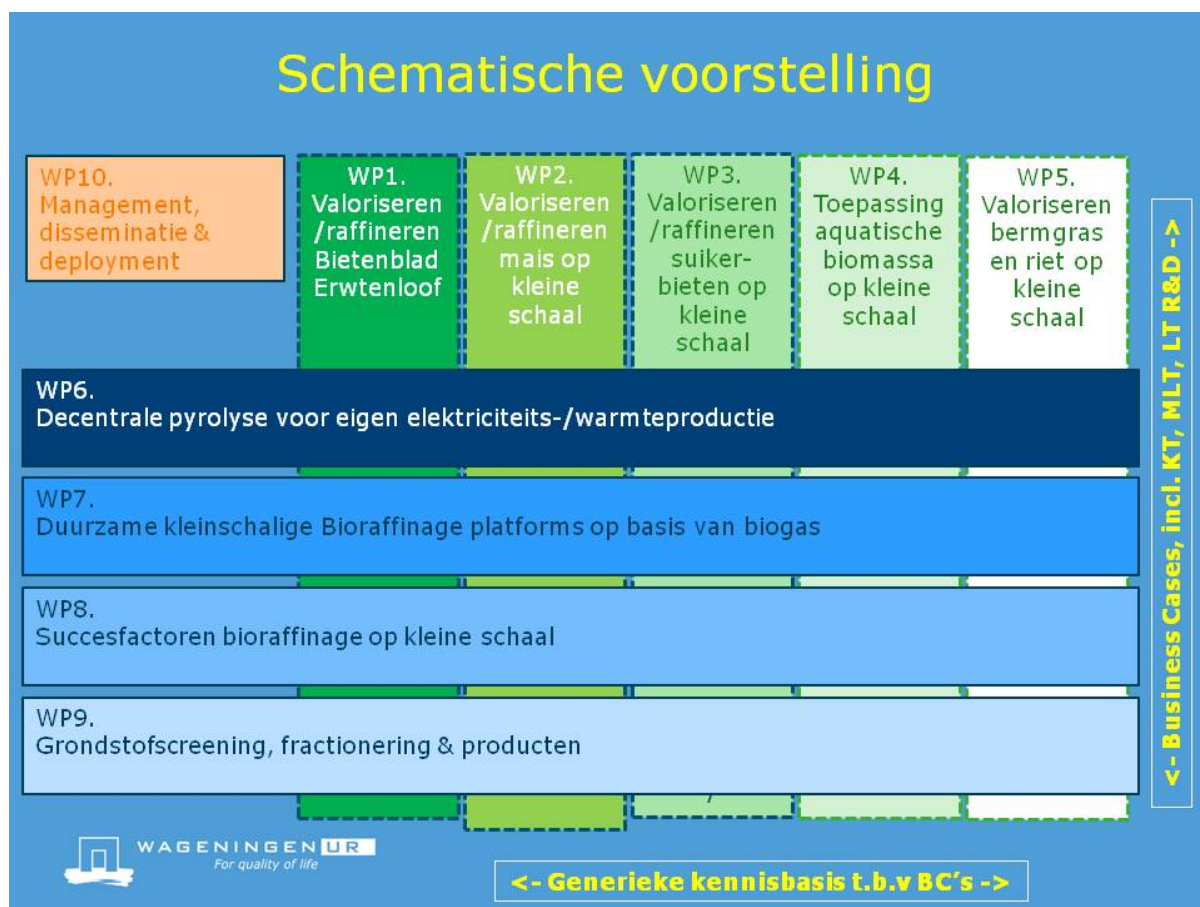
1.2 Processen uit de werkpakketten

Binnen de andere werkpakketten wordt gekeken naar de kleinschalige verwerking van verschillende biomassa'stromen, namelijk blad (WP1), mais (WP2), suikerbiet (wp3), algen (WP4) en gras en riet (WP5). Ook wordt er apart gekeken naar een toepassing: biogas (WP7). Binnen het eerste jaar van de TKI worden nog niet al deze processen in detail bekeken. Allereerst volgen hier nog enkele andere bekende kleinschalige initiatieven, die wellicht ook interessant kunnen zijn om verder te bestuderen, en vervolgens een uitgebreide analyse van de redenen voor kleine schaal, geïllustreerd aan de hand van de suikerbieten case.

1.3 Kleinschalige bioraffinage voorbeelden

Cassave

De mobiele units van Dadtco in Nigeria zijn een goed voorbeeld van waar *verbeterde houdbaarheid* van het product cruciaal is in het procesontwerp. Cassave wordt veel verbouwd in de (sub) tropische regio, en heeft daar een soortgelijke functie als de aardappel hier. De cassave wortel is echter slechts beperkt houdbaar na oogsten, en moet binnen 24 uur verwerkt worden. Dit bepaalt direct de maximale transportafstand, en dus indirect de fabrieksgrootte. Ook maakt de beperkte houdbaarheid 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



Figuur 1 Schematische voorstelling van de werkpakketten, zoals gedefinieerd in januari 2013.

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. Het zetmeel mengsel kan direct gebruikt worden om mee te bakken of als basis voor ethanol productie. Verdere behandeling geeft houdbaar cassave meel. Door het verbeteren van de houdbaarheid kan het zetmeel op elk gewenst moment aan de centrale fabriek aangeboden worden, waardoor de *positie van de boer verbetert*. Houdbaar zetmeel kan ook getransporteerd worden naar de aardappelverwerkende industrie in Europa, om daar verder verwerkt te worden buiten het aardappelseizoen. Dit zonder extra capaciteit investering of afvalwaterbehandeling.

Belangrijke verschillen van deze specifieke case, met de Nederlandse aardappel case:

- de al aanwezige sproeitoren
- maken van een ander product, namelijk perskoek i.p.v. meel
- boeren hebben meer macht in Nederland

Mestverwerking

Mestverwerking is klein gestart (36000 ton per jaar, 500 kWe). Deze kleine schaal was met name aantrekkelijk omdat voor dergelijke projecten *geen MER (Milieu Effect Rapportage) plicht* gold. Toch

is er een trend naar steeds grotere installaties. 2 MW_e is nu normaal. Nog groter waarschijnlijk niet omdat de transportafstanden steeds groter worden.

Containers CTEgofour

Dit bedrijf werkt aan de Bio Product Processor (BPP). De BPP zet (oliehoudende) gewassen op milieuvriendelijke wijze om in waardevolle (half)fabricaten. De processor maakt gebruik van enzymen en kan op een agrarisch bedrijf (on-farm) geplaatst worden. In eerste instantie ligt de focus op de verwerking van het wisselgewas koolzaad. De BPP zet koolzaad om in hoogwaardige ingrediënten voor de voedingsmiddelindustrie en farmaceutische industrie en hoogwaardige eiwitten en lignocellulose voor de diervoeding. De elektriciteit en warmte die wordt opgewekt kan weer worden gebruikt op het agrarisch bedrijf. Het bijproduct olie kan als biofuel worden verkocht. Dit soort modules, die in een container geleverd worden, voorzien in de behoefte tot *voorwaartse integratie van de boer*, waarbij deze meer waarde kan halen uit zijn eigen producten.

1.4 De drijfveren op een rij: MKB

Deze drie extra cases, gecombineerd met korte gesprekken met deelnemers aan het consortium, leverde een aardige lijst met drijfveren voor kleinschalige bioraffinage. Er bleken wel nog wat verschillen te zijn tussen MKBers die nieuwe business willen opstarten en de grote bedrijven die business willen uitbreiden. In de volgende paragraaf geven we het suikerbietenvoorbeeld, waar overwogen wordt om de uitbreiding met kleinschalige units te gaan doen. Hiervoor is een uitgebreide analyse gedaan. Hieronder de drijfveren van de kleine schaal MKB consortium deelnemers, die vaak erg praktisch zijn:

- Vergunning technisch (MER plicht)
- Lokale acceptatie
- Minder startkapitaal nodig
- Niet afhankelijk van grote verwerkers
- Niet afhankelijk van duizenden collega's (Cooperatie)

1.5 Van grote naar kleine schaal: de suikerbietencase

Suikerbieten worden in Nederland op grote schaal verwerkt in twee bestaande suikerverwerkende fabrieken. Deze fabrieken produceren momenteel maximaal. Als er in de toekomst meer suikerbieten verwerkt zouden (kunnen) worden, is uitbreiding middels kleinschalige decentrale units een optie. In onderstaande tabellen staan mogelijke kansen voor de kleinschalige verwerking van suikerbieten. De kansen zijn verdeeld over kansen voor de boer (tabel 2), kansen voor transportvermindering (tabel 3), en kansen voor procesverbetering (tabel 4) (Kolfshoten et al., 2014).

Table 2. Opportunities for farmers – create more added value locally

Type	Issue	Opportunity
Forward integration	Farmers and sugar producers use different criteria for yield optimisation. The farmer aims for the highest amount of sugar per hectare, the producer aims for highest percentage of sugar in the beet.	Avoid the dilemma of choosing between sugar per hectare yield and sugar in beet yield, which exists due to long distance transportation, by producing locally.
	Sugar obtains additional value after being brought by and transported to a factory for further processing. This added-value is non-existing for the farmer.	Make the farmers the producer. Create redistribution of money within the value chain.
	Farmers get little revenues for extra production outside quotas so there is no driver for increasing production.	Make other products, e.g. ferment sugar to ethanol. Abolish production quota (recent developments indicate that this probably will happen as of 2017).
Soil fertility	Valuable nutrients are removed from the fields. Returning them involves processing and transportation costs.	Process sugar beets locally so that nutrients and water do not need to be transported, isolated and/or concentrated and distributed (back) to the fields.
	Lime sludge is transported back to the fields and releases phosphate.	Avoid carbonation then the lime sludge is not produced as by-product.
Cultivation and harvesting	Timing of harvesting is inflexible and can be unfavourable with respect to sugar beet yield.	Timing of harvesting according to best yield not predetermined schedule. The later the beets can be harvested, the more yield of sugar per hectare can be obtained. Harvest and produce in an economic optimum of product yield and plant capacity
	Sugar beets deteriorate slowly during storage. They need to be protected against freezing.	Raw material losses can be limited by short transportation lines and maximising the farmers economic responsibility for the raw material quality.
	Seasonality effects limit operations of factory to harvesting months.	Process immediately with little energy input and capital requirements to obtain stable intermediate or raw product. This can be used directly or after central recrystallisation, which can in such a case be done year-round.

Table 3. Opportunities for transport – from linear to circular

Type	Issue	Opportunity
Farm to Factory	Sugar beets are transported from the field to storage clamp, via remote storage to factory storage over long distances to the central processing plant. Reloading is cumbersome and long distance transport of whole beets including water is inefficient.	Create biorefinery close to farming area and process to intermediate locally.
Additional raw materials	Limestone is harvested at remote locations and needs long distance transport to sugar factory.	Avoid or reduce the purification step by using another method for high purity crystallisation or producing a sugar with lower product purity.
	Coke is harvested at remote locations, transported over long distance to cokes producing factory, and transported from cokes plant to sugar factory.	
Residue from sugar production	Tare is transported away from the fields and needs storage (regulations) at factory site. After processing, tare needs new destinations.	Recycle tare locally by producing it locally. Next to avoiding transportation this extends the possibilities for re-use. Due to Dutch regulations, recycling is not allowed from a central location when the residue has left the farm.
	Beet pellets undergo long distance transport to animal feed or biogas. Large-scale biogas fermenters are now considered as a solution.	Beet pulp still contains valuable components that may be used for the production of other substances. After that it may be used for biogas.
	Lime sludge is transported back to the fields and contains high amounts of phosphate.	Recycle phosphate locally. Because it is soluble in water, recycling in the water fraction can be an option.
By-product	Molasses undergo transport to either baker's yeast production facilities or to ethanol plant.	Minimise formation of molasses and/or use directly for ethanol fermentation on-site or fermentation to other products at the same factory.
Residue from ethanol production	Vinasse, which contains remaining minerals, is concentrated and recycled.	Use vinasse for anaerobic fermentation to products or biogas and recycle digestate locally.
Products	Sugar undergoes long distance transport to buyers.	Distribute along local market. Deliver directly to sugar processing industry.
	Ethanol undergoes long distance transport to buyers.	

Table 4. Opportunities for processing – alternatives and cutting on unit operations

Type	Issue	Opportunity
Operations	Thermal treatment for extraction of sugar by diffusion uses much energy (and releases impurities into raw beet juice).	Use alternative extraction methods such as pulsed electric fields and pressing.
	Crystallisation occurs in viscous medium requiring much energy for mixing and reduces crystallisation rate.	Use different medium and/or addition of solvents to decrease viscosity of the mixture. Obtain less sugar and direct more massecuite/molasses to fermentation (to make other products).
	Centrifugation of viscous medium requires much electrical energy (50% of electrical power use in factory).	Accept lower yield and use massecuite as by-product or use different medium with lower viscosity.
	Sugar yield is limited by viscous massecuite and melassigenic compounds.	Use different medium and/or addition of solvents to decrease viscosity of the mixture and reduce the effect of melassigenic compounds.
Purification	Beet juice is clarified with non-renewable coke and limestone and has a high CO ₂ footprint.	Use other method for high purity crystallisation or produce raw product, e.g. avoid carbonation process.
	Lime preparation, purification and filtration are energy intensive.	
	Extraction and purification often require additional chemicals (soda ash (Na ₂ CO ₃), caustic soda (NaOH), magnesium oxide (MgO)).	Use different medium to decrease requirements of chemical additions.
By-products	To reduce transport, many residues are now pretreated to reduce water content and get a stable product. Examples: beet pulp, lime sludge and vinasse.	Use residues for product formation, such as ethanol and biogas. Recycle water and minerals directly to the field to avoid investment, transport and labour for handling these streams.
	Energy intensive three-step crystallisation for molasses exhaustion.	Use molasses after one step for producing other products to obtain more favourable energy input versus revenues ratio.
	Focus on one primary product does not allow for whole crop valorisation.	Integral economic use of all parts of a plant, both its primary and secondary metabolites.
Capital	High initial investment required for increasing production capacity (i.e.. approximately 500 million € per factory).	Sequential construction of small-scale biorefineries in order to reduce investment risk and enable more smooth growth according to market demand.

2 Definitie

“Bioenergy Task 42 on Biorefineries” binnen het International Energy Agency (IEA) heeft bioraffinage als volgt gedefinieerd: ‘De duurzame verwerking van biomassa in een spectrum van verkmarktbaar producten en energie’. Deze definitie kan nog steeds leiden tot onduidelijkheid, immers is ontwateren bioraffinage? Toch is het een goede weergave van het huidige beeld van bioraffinage en zullen ook wij deze definitie hanteren.

De definitie van kleinschaligheid binnen de bioraffinage is ook nog nooit eenduidig weergegeven. We denken dat er twee specifieke gevallen zijn:

- De decentrale lokale bio-raffinaderij, die producten voor de lokale verkoop, of precursors voor centrale verwerking maakt.
- De mobiele bioraffinage, die verplaatsbaar is naar de locatie waar de biomassa is, vaak in een container.

2.1 Decentrale lokale bio-raffinaderij

Bij bioraffinage in een decentrale lokale bio-raffinaderij lijkt het zinvol om te schalen naar de zwakste schakel. Sommige apparaten kunnen namelijk niet opgeschaald in grootte, maar schaling kan enkel door dezelfde apparaten parallel te schakelen. Dit treedt bij relatief kleine schaal al op voor persen, extrusie, centrifugatie, kolomchromatografie. Bijvoorbeeld bij gras bioraffinage zijn de pers en de beperkte houdbaarheid van het gras van doorslaggevend belang. Hierbij moet je denken aan een doorvoer van 8 ton droge stof per uur. Bij suikerbieten, zal de rooimachine met ongeveer 60 ton (natte) bieten per uur limiterend zijn. Beide getallen zijn in dezelfde orde grootte, namelijk een invoer van 50-100 ton biomassa per uur.

2.2 Mobiel

Bij mobiele bioraffinage kan de grootte van de container als maat worden genomen. De hoeveelheid apparatuur die erin past is niet alleen fysiek gelimiteerd, maar kan ook door andere oorzaken, zoals bv warmteontwikkeling in het proces, begrenst zijn. Hierbij is de invoer van biomassa ongeveer 1-4 ton/uur.

2.3 Andere overwegingen

Aangezien kleinschalige bioraffinage als één van de grote voordelen, lokale recycle van water en mineralen heeft, valt er ook te denken aan definities die gaan over volume reductie (bijvoorbeeld minimaal 70%).

Ook kan afstand (bv 1 km van de boerderij) of oppervlak (bv 50 ha) als maat genomen worden. Deze beide methodes worden volgend jaar verder onderzocht, om wellicht tot een meer generieke definitie te komen.

Blijft verder nog de kleinschalige productie van chemicaliën. Dit zou de deur open zetten naar een hoogwaardigere verwaarding van biomassa op kleine schaal. Ook deze optie wordt volgend jaar nader bekeken.

3 Technologieën en schaalgrootte

Om keuze voor geschikte technologieën op kleine schaal te vergemakkelijken, hebben we verschillende apparaten met elkaar vergeleken in tabel 5. Hier zie je dat bv. een vacuumpomp een hele lage schaalfactor (zie vergelijking 1 in de inleiding) heeft en dus minder geschikt zou kunnen zijn op kleine schaal, waar centrifuges en membranen een schaalfactor van 1 hebben en dus geschaald worden door meerdere units naast elkaar te zetten. Om het meer concreet te maken, hebben we verschillende technieken vergeleken voor de scheiding van ethanol en water.

Tabel 5 Lijst met apparatuur en parameters die hun schaalbaarheid weergeven.

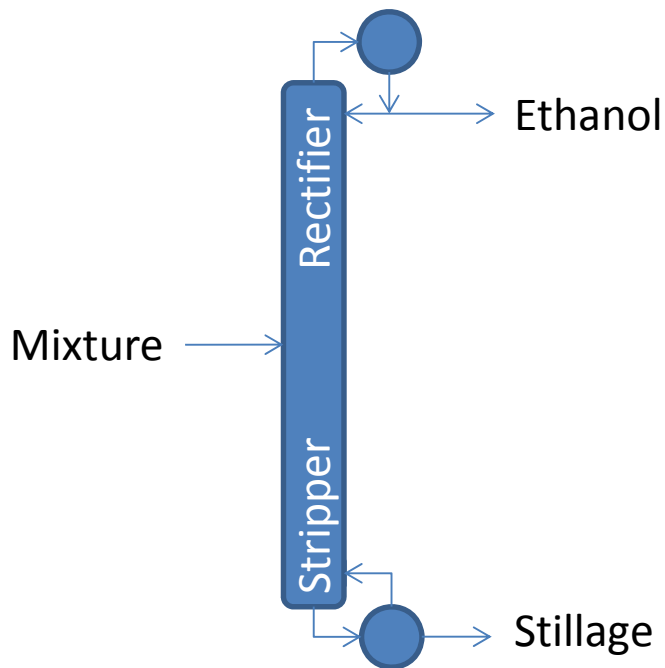
Equipment type	Scale Factor	Max scale	Unit	Remark
Vacuum pump	0.36			
Filters	0.50	100	m ²	Vacuüm trommelfilter
Tanks	0.51	53000	m ³	Verticale opslagtank
Settlers	0.58			
Distillation Towers	0.60			
Compressors	0.62	8800	m ³ /hr	Eentraps schroefcompressor
Wastewater treatment	0.64			
Centrifugal pumps	0.70	9000	m ³ /hr	
Heat Exchanger (S&T)	0.85	1000	m ²	Tube in shell
Centrifuges	1.00	200	m ³ /hr	
Reverse osmosis	1.00			

3.1 Ethanol-water scheiding als voorbeeld

Voor scheiding van ethanol uit water wordt bijna altijd destillatie toegepast. Het is een robuust proces waarmee zeer veel ervaring is. Bij destillatie van ethanol is sprake van azeotropie. Bij een concentratie van 95.6% ethanol in water zal de dampdruk van ethanol en water boven het mengsel gelijk zijn en is dus geen verdere scheiding mogelijk. Bij het benaderen van deze azeotroop zijn steeds meer evenwichtstrappen nodig. Verdere concentratie kan via destillatie (door het toevoegen van een derde component, door het 'breken' van de azeotroop) of via andere scheidingsmethoden zoals moleculaire zeven en pervaporatie.

Destillatie

Destillatie wordt meestal uitgevoerd in een kolom met twee secties. In de onderste sectie (de stripper) wordt zoveel mogelijk ethanol uit het water/ethanol mengsel verwijderd. In de bovenste sectie (de rectifier) wordt de ethanol verder geconcentreerd (zie figuur 2).



Figuur 2: Ethanol destillatie

Als de ethanolconcentratie van de feed erg laag is ($<7\%$), dan neemt het energieverbruik voor nagenoeg volledige winning van ethanol sterk toe (bij een feed van 7% kost de destillatie 4 MJ/kg ethanol, bij een feed van 2% is dit al toegenomen tot 12 MJ/kg ethanol bij een recovery van 80% (Vane, 2008)). Aangezien de meeste commerciële fermentaties wel kunnen komen tot 7% is dit niet een groot probleem. Concentreren boven de azeotroop is wel een probleem. Bij het breken van de azeotroop moet ook de hulpstof weer worden teruggewonnen. Er komt dus nog een kolom bij. Ook de andere opties leiden tot extra apparatuur. Met gewone destillatie kan gemakkelijk gekomen worden tot een mengsel van 70% ethanol. Het watergehalte is dan zo laag dat transportkosten geen probleem meer zijn en dat ook geen bederf op kan treden. Het ligt voor de hand om dit mengsel af te voeren naar een centrale plaats voor verdere opwerking.

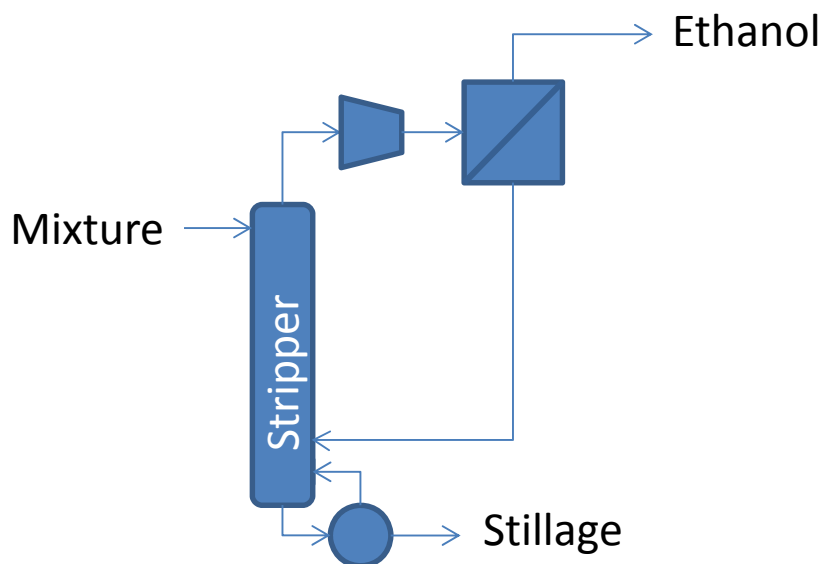
Pervaporatie

Scheiding met membranen (pervaporatie) kan in theorie het energieverbruik van de scheiding verlagen. Met name bij lage feed concentraties is dit interessant (van 12 naar 4 MJ/kg bij 2%), maar ook bij 7% kan het energieverbruik worden gehalveerd (van 4 naar 2 MJ/kg). Daarbij is het essentieel dat het membraan in hoge mate selectief is voor ethanol. Er zijn echter nog geen membraanmaterialen op de markt met een dergelijke scheidingsfactor die voldoende stabiel zijn voor toepassing in een fermentatiesysteem (Vane, 2008).

Damppermeatie

Scheiding met membranen kan ook plaatsvinden volgens het principe van damppermeatie. Dan wordt eerst de ethanol uit het water gedampt in een stripper (destillatie), om de verkregen damp vervolgens verder te zuiveren met damppermeatie (Figuur 3). Door toepassing van een membraan dat selectief water doorlaat, kan een zuivere ethanol damp worden verkregen (Vane,

2009). Dit systeem is efficiënter dan destillatie vooral voor wat betreft het energieverbruik. De verkregen ethanolconcentratie is ook hoger (99.5%). Een deel van de winst komt doordat de toepassing van een compressor het mogelijk maakt om de condensatiewarmte van het gevormde ethanol toe te passen voor verwarming in de reboiler. Een dergelijke warmte-integratie kan ook bij gewone destillatie worden toegepast.



Figuur 3: Ethanol destillatie gevolgd door damppermeatie

Tabel 6: Overzicht van enkele technieken voor ethanol-water scheiding, met de maximaal te behalen ethanol concentratie (C_{max}).

	C_{max}	Voordelen	Nadelen
Destillatie	95.6%	Simpel, robuust	Hogere energiekosten
Pervaporatie	99.5%	Winning uit verdunde stromen mogelijk	Fouling, membranen met hoge scheidingsfactor niet beschikbaar
Destillatie-damppermeatie	99.5%	Laag energieverbruik	Complex systeem

Schaling van units op procesniveau

De opschaling van destillatie kolommen gaat in de breedte van de kolom. In een smalle kolom is relatief meer materiaal nodig voor de wand en isolatie dan in een brede kolom. Scale factors variëren van 0.53 tot 0.81.

De opschaling van membranen gaat vaak modulegewijs. Hoe groter de stroom, hoe meer modules geïnstalleerd worden. De schaalfactor is dus 1. Toch kan er bij membranen een aanzienlijk schaafeffect optreden. De modules hangen vaak in standaard rekken. Als sprake is van een zeer klein oppervlak zal niet het gehele rek gevuld zijn. Membranen moeten regelmatig

gereinigd worden. Reiniging vindt meestal plaats door spoelen met zuur, base, oxidatiemiddelen en/of zeep in een zogenaamde CIP (Cleaning In Place) procedure. Voor al deze vloeistoffen moeten voorraadvaten, pompen, kleppen en besturingssystemen worden aangelegd. Meerdere membraanmodules kunnen na elkaar gereinigd worden en daardoor kan met één CIP unit een groot aantal membraanmodules worden gereinigd. Tijdens de CIP procedure is steeds één module buiten bedrijf. Er moet dus een reserve module zijn om toch de gewenste productie te kunnen halen. Grootschalige membraaninstallaties hebben dus wel voordelen boven kleinschalige membraaninstallaties, die zitten in andere apparatuur die ook nodig is om het gehele proces te draaien.

3.2 Kosten van warmte

Hoewel warmtewisselaars relatief weinig schaalvoordeel hebben, wordt toch vaak gezegd dat processen met warmteuitwisseling gebaat zijn bij grootschaligheid. Om dit te onderzoeken is gekeken naar de hele keten van proceswarmte:

- 1 productie van warmte uit aardgas
- 2 warmtewisseling in het proces
- 3 lozen van warmte in koeltoren

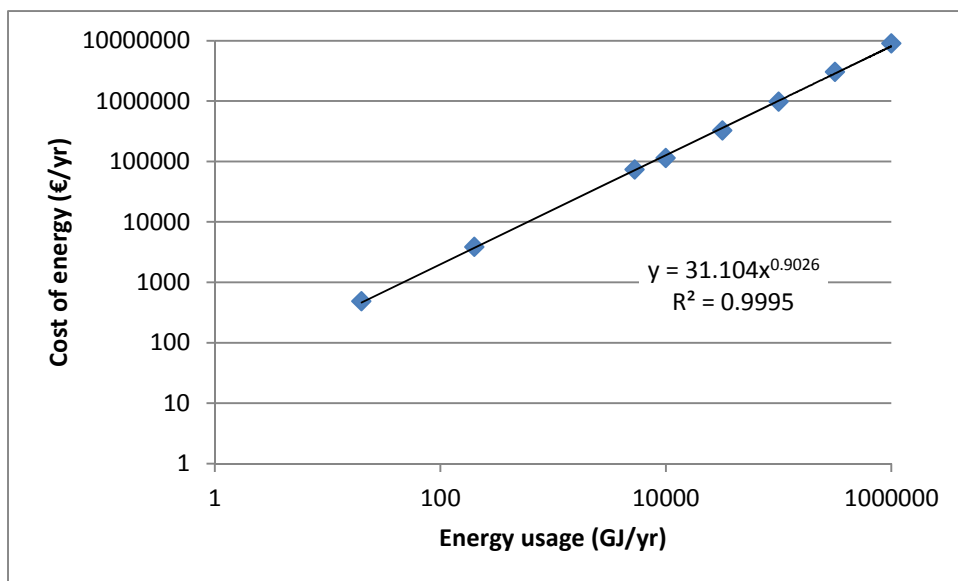
Productie van warmte uit aardgas

Bij de productie van warmte zit de grootste kostenpost in het aardgasgebruik. Op basis van diverse documenten is onderstaande tabel opgesteld (Tabel 7). Hieruit blijkt dat zowel de aardgasprijs als de Opslag Energie Belasting (OEB) sterk dalen bij toenemende schaal. Met name huishoudens (<200 GJ/jaar) betalen relatief hoge prijzen, maar ook voor de middelgrote verbruiker is de prijs al snel 40% hoger dan voor de grootverbruikers. De kosten voor aardgas zijn grafisch weergegeven in Figuur 4. Hieruit blijkt dat de kosten voor aardgas gevat kunnen worden in eenzelfde vergelijking als gebruikelijk is voor kapitaalkosten. In de figuur zijn de kosten voor aardgas uitgezet en is ook de fit opgenomen. De fit heeft een schaalfactor van 0.9. Op basis van deze fit zijn ook de kosten van aardgas per GJ uitgezet in een grafiek (Figuur 5)

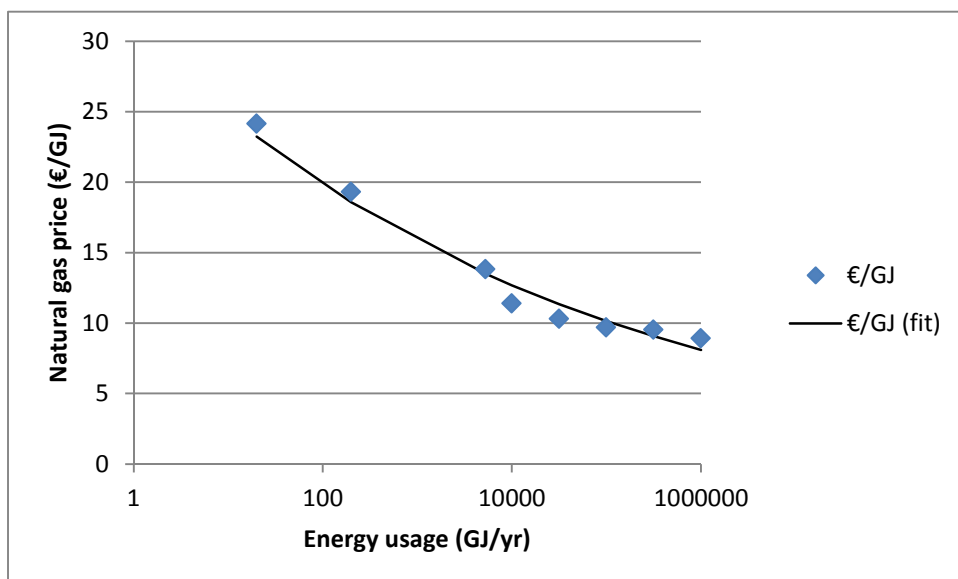
Tabel 7: Kosten voor aardgas als functie van verbruik.

Ondergrens	Bovengrens	Prijs	OEB*	BTW	Totaal
GJ/jaar	GJ/jaar	€/GJ	€/GJ	€/GJ	€/GJ
20	200	14.00	5.95	4.19	24.14
200	5389	10.01	5.95	3.35	19.30
5289	10000	10.01	1.41	2.40	13.82
10000	31700	8.00	1.41	1.98	11.39
31700	100000	8.00	0.51	1.79	10.30
100000	317000	7.50	0.51	1.68	9.70
317000	1000000	7.50	0.37	1.65	9.52
1000000		7.00	0.37	1.55	8.92

*Opslag Energie Belasting



Figuur 4: Absolute kosten van aardgasverbruik.



Figuur 5: Relatieve kosten aardgas afhankelijk van verbruik.

Van kleiner belang zijn de kosten voor bijvoorbeeld een stoomketel. Voor grote schaal zijn de kosten voor een stoomketel 0.841 €/GJ. Veel kleiner dus dan de kosten voor aardgas.

Naast de schaalbaarheid van energie, laten deze berekeningen zien dat aardgas een ongelukkige keuze is voor decentrale bioraffinage. De kosten voor het lokaal zelf produceren van biogas zouden heel anders kunnen uitpakken, omdat je dan geen afnemer, maar producent bent. Hier heb je dus schaalvoordeel als je lokaal op kleine schaal produceert voor iemand die aardgas op kleine schaal afneemt. Dit verdient nader onderzoek.

Warmteoverdracht

Om de kosten van warmteoverdracht te bepalen op kleine schaal en op grote schaal is gekozen voor 3 schalen: 10m², 100m² en 1000 m² (Tabel 8). Voor het omrekenen van investeringskosten naar jaarlijkse kosten is gerekend met een Lang factor van 4 en een ROI van 20%. Er is vanuit gegaan dat de warmtewisselaar het gehele jaar in gebruik is.

Het valt op dat de kosten voor warmte-uitwisseling aanzienlijk kleiner zijn dan de kosten voor aardgas. Het valt ook op dat de kosten bij opschalen eerst snel dalen, en daarna veel minder snel. De schaalfactor is dus niet gelijk voor alle schalen.

Tabel 8: Kosten voor warmteoverdracht als functie schaalgrootte

Schaal	Inv	Warmte	Kosten
m ²	€	GJ/jaar	€/GJ
10	21000	4730	3.55
100	38000	47300	0.64
1000	262000	473000	0.44

Koeling

Voor koeling kon alleen een getal gevonden worden voor grootschalige koeling. Hieruit blijkt dat ook koeling relatief goedkoop is: 0.228 €/GJ.

4 Conclusies en verder onderzoek

Voorafgaande aan dit onderzoek waren er al meerdere goede redenen bekend voor kleinschalige bioraffinage. De meest voor de hand liggende reden voor lokale (voor)bewerking van biomassa is afname van het transportvolume/gewicht. Daarnaast kan er een lokale recycle van water en mineralen plaatsvinden, als bron van bemesting. Overig organisch afval kan vergist worden in een biogasinstallatie om elektriciteit en warmte op te leveren, die rechtstreeks ingezet kan worden voor verdere bioraffinage processen.

Analyse van de grootschalige suikerbieten raffinage en gesprekken met MKBers hebben tot extra inzichten geleid, waarbij naast voornoemde voordelen, er ook duidelijk winst is te behalen voor kleine ondernemers, die met relatief lage investeringen en versimpelde wetgeving zelfstandig een business kunnen starten. Voor grote verwerkers is het additionele voordeel, dat ze relatief goedkoop uit kunnen breiden op locaties die relatief afgelegen zijn, en dus hoge transportkosten hebben. Verder kunnen ze een houdbare grondstof voor hun proces verkrijgen, die ook buiten het seizoen verwerkt kan worden.

Op wat voor schaal bioraffinage nog kleinschalig genoemd kan worden is niet exacte te zeggen. We denken momenteel aan een orde grootte van 100 ton/uur voor kleinschalige fabrieken, en 1 ton/uur voor mobiele units. Er wordt nog gekeken of het meer generiek te omschrijven is. Uit de voorlopige analyse van apparatuur en technologieën is gebleken dat het onvoldoende is om alleen de schaalbaarheid van losse units bekijken. Processen moeten allereerst op fabrieksniveau, en daarna ook op keten niveau, vergeleken worden. Dit omdat kleine schaalprocessen vooral interessant zijn als er ook kostenposten zijn met een “diseconomy of scale”, zoals toenemende transportkosten.

Wel bleek ook duidelijk dat er een heel nieuw ontwerp nodig is voor een kleinschalige fabriek. De kosten voor aardgas zijn bijvoorbeeld schaalafhankelijk met schaalfactor 0.9 en daardoor minder aantrekkelijk. In vervolgonderzoek zal dan ook aardgas inkoop vergeleken worden met zelf biogas maken.

Als laatste werd er tijdens workshops vaak de vraag gesteld of bioraffinage voor chemicaliën ook kleinschalig kan. Deze vraag gaat meegenomen worden in verder onderzoek, waar gekeken wordt welke chemicaliën eventueel geschikt kunnen zijn.

