Efficiënter gebruik van raapzaad

Gerrit Kasper, Hajo Rijgersberg

Rapport 1125

WAGENINGEN
UNIVERSITY & RESEARCH

Efficiënter gebruik van raapzaad

Mogelijkheden van raapzaad als grondstof voor de Biobased Economy

Gerrit Kasper¹
Hajo Rijgersberg²

¹ Wageningen Livestock Research

² Agrotechnology & Food Sciences Group

Dit onderzoek is uitgevoerd door Wageningen Livestock Research, in samenwerking met Wageningen Food & Biobased Research, en gefinancierd door het Ministerie van LNV, in het kader van het Kennisbasis onderzoek. (KB-30-003-012)

Wageningen Livestock Research
Wageningen, oktober 2018

Rapport 1125

Kasper, G.J. & H. Rijgersberg, 2018. *Efficiënter gebruik van raapzaad. Mogelijkheden van raapzaad als grondstof voor de Biobased Economy*. Wageningen Livestock Research, Rapport 1125.

Samenvatting NL

In dit onderzoek is nagegaan of er mogelijkheden zijn om door inzet van bioraffinage, raapzaad op een efficiëntere wijze te gebruiken. Bioraffinage opent mogelijkheden om componenten vrij te maken uit een grondstof. Resultaat van deze studie was dat een laag-eiwit component mogelijk gebruikt kan worden voor diervoeder, een hoog-eiwitcomponent toepasbaar is in petfood, voor jonge dieren of in de materialenindustrie en chemische sector, en glucosinolaat als derde component voor toepassing als biofumigant tegen nematoden.

Dit rapport is gratis te downloaden op <https://doi.org/10.18174/460340> of op www.wur.nl/livestock-research (onder Wageningen Livestock Research publicaties).

© 2018 Wageningen Livestock Research

Postbus 338, 6700 AH Wageningen, T 0317 48 39 53, E info.livestockresearch@wur.nl, www.wur.nl/livestock-research. Wageningen Livestock Research is onderdeel van Wageningen University & Research.

Wageningen Livestock Research aanvaardt geen aansprakelijkheid voor eventuele schade voortvloeiend uit het gebruik van de resultaten van dit onderzoek of de toepassing van de adviezen.

Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden vermenigvuldigd en/of openbaar gemaakt worden door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke wijze dan ook zonder voorafgaande toestemming van de uitgever of auteur.

Wageningen Livestock Research is NEN-EN-ISO 9001:2015 gecertificeerd.

Op al onze onderzoeksopdrachten zijn de Algemene Voorwaarden van de Animal Sciences Group van toepassing. Deze zijn gedeponeerd bij de Arrondissementsrechtbank Zwolle.

Wageningen Livestock Research Rapport 1125

Inhoud

	Samenvatting	5
1	Inleiding	7
	1.1 Groeiende behoefte aan voedsel en grondstoffen	7
	1.2 Probleemstelling	7
	1.3 Doelstelling	7
	1.4 Leeswijzer	7
2	Huidig gebruik raapzaad	9
	2.1 Volumes raapzaad(producten)	9
	2.2 Bedrijven in de keten	9
	2.3 Reguliere verwerking raapzaad	10
	2.4 Praktijk case: verwerking raapzaad in Nederland	11
	2.4.1 Huidige situatie	11
	2.4.2 Toekomstige situatie	11
	2.4.3 Duurzaamheid	12
	2.5 Economie	12
3	Alternatieve gebruiksmogelijkheden	14
	3.1 Toepassingen buiten diervoedersector	14
	3.2 Economie	16
	3.3 Beoordeling op duurzaamheid	18
4	Conclusies en aanbevelingen	19
	4.1 Conclusies	19
	4.2 Aanbevelingen	19
	Literatuur	20
	Bijlage 1 Raapzaad en modelbibliotheek	21

Samenvatting

De wereldbevolking zal vanaf 2015 tot 2050 met bijna 2 miljard groeien tot ongeveer 9 miljard mensen. Dit vraagt voor de opkomende economieën in met name Azië en Afrika meer grondstoffen en een hogere kwaliteit van het voedsel. Daarnaast zal in de meest ontwikkelde landen de vraag naar hernieuwbare grondstoffen voor de biobased-sectoren toenemen. Deze toenemende vraag zal doorgaans leiden tot stijgende grondstofprijzen en toenemende schaarste aan landbouwgrond en water om aan de grondstofvraag te kunnen voldoen. Dit vergroot de noodzaak om de biobased economy meer circulair te maken en biedt economische aanknopingspunten om door bioraffinage grondstoffen te scheiden in componenten die per component tegen zo hoog mogelijke waarde vermarkt kunnen worden (cascadering; vierkantsverwaarding).

De doelstelling in dit onderzoek is het geven van een theoretische beschouwing over het bioraffineren van raapzaad in componenten, waarbij voor elke component wordt nagegaan of deze techniek perspectieven biedt qua rentabiliteit en duurzaamheid. Daarbij wordt nauwkeurig bijgehouden welke processtappen er zijn, wat de proceskosten zijn, welke componenten er vrijvallen, hoe groot de omvang van de componenten is (in ton) en welke verkoopprijzen gehanteerd worden.

Europa produceert jaarlijks 20 miljoen ton raapzaad en ruim 13 miljoen ton raapzaadschroot. Nederland importeert jaarlijks 800.000 ton raapzaadschroot, dat grotendeels gebruikt wordt in de diervoedersector. Het Nederlandse bedrijfsleven in de olie- en vetketen heeft al langere tijd een vooraanstaande positie in Europa: het raffineren en opslaan van olie (nr 1 in Europa), en verder in de verwerking van volumes tot biodiesel (nr 3) en het crushen (nr 4). Enkele grote verwerkers van oliehoudende zaden in Nederland hebben hun verwerkingslijnen voor sojabonen aangepast, zodat ze ook toepasbaar zijn voor het verwerken van raapzaad. Een reden was in eerste instantie de toenemende vraag naar biodiesel vanuit raapzaad, maar momenteel ook voor toepassingen van olie (als hoofdproduct) voor voedings- en genotsmiddelenindustrie. Het restproduct van raapzaad gaat grotendeels als raapzaadschroot naar de veevoederindustrie. Het is een gewaardeerd voeder voor rundvee, varkens en pluimvee. Nadelen zijn vooral het relatief hoge ruwe celstof- en glucosinolaatgehalte.

In dit onderzoek is verkend of er mogelijkheden zijn om door inzet van bioraffinage raapzaad op een efficiëntere wijze te gebruiken. Bioraffinage opent mogelijkheden om componenten vrij te maken uit een grondstof. Een component met een relatief laag eiwit- en glucosinolaatgehalte kan gebruikt worden voor diervoeder, de andere component (hoog eiwitgehalte) is toepasbaar in de petfood, voor jonge dieren of in de materialenindustrie en chemische sector. De component met een hoog gehalte ruwe celstof kan dienen als grondstof voor warmte-opwekking of als vezelfractie voor de voeding van herkauwers, de component met glucosinolaten lijkt middels biofumigatie een chemisch bestrijdingsmiddel tegen aaltjes te kunnen vervangen. Aan de hand van bestaande productieschema's van raapzaadverwerking is een aantal optionele concepten van bioraffinage doorgerekend en vergeleken met de reguliere raapzaadverwerking. Daaruit blijkt dat de bruto winstmarge van geraffineerd raapzaad met de producten huls, dieselolie, eiwitarm en eiwitrijk raapzaadschroot op dit moment vaak nog lager is dan de bruto winstmarge van producten uit reguliere verwerking van raapzaad. Een reden hiervoor is dat de raffinagetechniek nog in ontwikkeling is, dat hoogwaardige producten die uit raffinage ontstaan vaak nog een laag volume kennen, en als laatste reden dat de proceskosten van het raffineren relatief hoog zijn in vergelijking met die van regulier verwerken van raapzaad.

1 Inleiding

1.1 Groeiende behoefte aan voedsel en grondstoffen

De wereldbevolking zal vanaf 2015 tot 2050 met bijna 2 miljard groeien tot ongeveer 9 miljard mensen. Dit vraagt voor de opkomende economieën in met name Azië en Afrika meer grondstoffen en een hogere kwaliteit van het voedsel. Daarnaast zal in de meest ontwikkelde landen de vraag naar hernieuwbare grondstoffen voor de biobased-sectoren toenemen. Deze toenemende vraag zal doorgaans leiden tot stijgende grondstofprijzen en toenemende schaarste aan landbouwgrond en water om aan de grondstofvraag te kunnen voldoen. Dit vergroot de noodzaak om de biobased economy meer circulair te maken en biedt economische aanknopingspunten om door bioraffinage grondstoffen te scheiden in componenten die per component tegen zo hoog mogelijke waarde vermarkt kunnen worden (cascadering; vierkantsverwaardiging).

1.2 Probleemstelling

Wereldwijd worden oliehoudende gewassen als soja, raapzaad, zonnebloemzaad en palmpit geteeld. De benutting van olie en restproducten gebeurt via lineaire productieketens. De olie wordt gewonnen uit het zaad (raapzaad, zonnebloemzaad en palmpitzaad) of uit de bonen (sojaboon). Het restproduct – de perskoek of het schroot – is erg gewild in de diervoedersector vanwege het hoge eiwitgehalte, de doorgaans goede aminozuursamenstelling en de gunstige prijs. Echter, de transitie naar een circulaire bio-economie vereist niet alleen optimalisatie van de economische prestaties van productieketens, maar vraagt steeds meer 1) een optimale balans tussen de gebruikte grondstofstromen en bijproductstromen (restproducten), en 2) het effectieve gebruik van de middelen die schaars zijn of schaars zullen zijn in de nabije toekomst. Dit betekent dat de huidige lineaire biomassaketens binnen één sector zullen overgaan in kortere ketens over sectoren heen. Bij de lineaire keten raapzaad komt dat tot uiting in olie die gebruikt kan worden voor de humane sector of de chemiesector, terwijl in de oude situatie de olie gebruikt werd als grondstof voor de dieselindustrie. De eiwitrijke fractie kan als belangrijke grondstof ingezet worden als specifiek diervoeder (petfood, jonge dieren) of als grondstof voor de materialenindustrie. Bijproducten van raapzaad – bijvoorbeeld celwanden – kunnen tot waarde worden gebracht als ruwvezelcomponent in diervoeders of als grondstof voor energie-opwekking. De circulaire bio-economie kan alleen ontwikkeld worden wanneer gebruik wordt gemaakt van andere – meer specifieke – technieken, bv. bioraffinage. In dit onderzoek zal daarom ingegaan worden op stapsgewijze inzet van deze bioraffinagetechnieken.

1.3 Doelstelling

Dit onderzoek is een verkenning van mogelijkheden om raapzaad te raffineren in componenten. Voor elke component wordt nagegaan of deze techniek perspectieven biedt qua economische haalbaarheid en duurzaamheid. Daarbij wordt nauwkeurig bijgehouden welke processtappen er zijn, wat de proceskosten zijn, welke componenten er vrijvallen, hoe groot de componenten zijn (in ton) en voor welke prijs ze vermarkt worden.

1.4 Leeswijzer

In hoofdstuk 2 wordt ingegaan op de reguliere verwerking van raapzaad. Dit is schematisch weergegeven inclusief een beschrijving van de praktijk van enkele grote verwerkingsbedrijven. Alternatieve gebruiksmogelijkheden zijn genoemd en inzichtelijk gemaakt met schema's in hoofdstuk 3, o.a. met conceptuele bioraffinagetechnieken, waarbij bruto winstmarges zijn bepaald. Hiermee wordt afgestapt van de gebruikelijke lineaire ketens en overgegaan op Biobased ketens met

(tussen)producten zoals hoog en laag eiwitrijk diervoeder, en specifieke eindproducten (petfood, biomaterialen, olie voor humane toepassingen). Hoofdstuk 4 geeft de conclusies en aanbevelingen weer.

2 Huidig gebruik raapzaad

2.1 Volumes raapzaad(producten)

De volumes raapzaad en raapzaadschroot (mondiaal, EU en NL) zijn weergegeven in tabel 1.

Tabel 1 Opbrengsten, consumptie en import van raapzaad(schroot) op wereld-, EU- en NL-niveau (in kton). (bron: Foreign Agricultural Service/USDA, 2017).

		Raapzaad	Raapolie	Raapzaadschroot
Wereld*	Productie	72.855	28.450	40.188
EU		22.100	10.450	14.250
NL		7.4**	3.0	4.4
Wereld	Import	16.680	4.514	6.149
EU		4.200	150	300
NL		1.598***	320***	800****
Wereld	Consumptie	72.355	29.218	40.086
EU		25.900	10.300	14.000
NL		onbekend	onbekend	onbekend

* Dit zijn hoofdzakelijk de landen China, India, Canada, Japan, EU; ** CBS, 2016; *** MVO, 2014; **** Kasper et al., 2016

Europa produceert bijna 30% van de wereldproductie aan raapzaad(olie) en 35% aan raapzaadschroot. Het Europese raapzaadschrootverbruik is 35% van het raapzaadschrootverbruik op wereldniveau, terwijl de Europese import van raapzaadschroot 5% is van die op wereldschaal. De Nederlandse productie van koolzaad (het gewas is sterk verwant aan raapzaad) is maar een fractie van de Europese productie. Naast de import van raapzaadschroot, wordt 1.598 kton raapzaad en 320 kton raapolie geïmporteerd in Nederland (MVO, 2014). De verwerking van het geïmporteerde raapzaad gebeurt grotendeels in Nederland (MVO, 2014; zie ook paragraaf 2.2). Het totale Nederlandse verbruik van raapzaadschroot, waarvan 88% wordt gebruikt in de diersector, wordt voor 100% geïmporteerd (Kasper et al, 2016).

2.2 Bedrijven in de keten

Oliën- en vetketen

Nederland is sterk in het verwerken van oliën en vetten. Alle schakels van de oliën en vetketen bevinden zich in ons land. De keten omvat onder andere importeurs, gespecialiseerde op- en overslagbedrijven, crush- en raffinagebedrijven, dierlijk-vet bedrijven, vet-compounders (produceren samengestelde vetten) en transportbedrijven (weg en binnenvaart). Bovendien worden de olie- en vetproducten verder verwerkt in voedingsmiddelenbedrijven, diervoederbedrijven, producenten van was- en schoonmaakmiddelen, cosmetica, verf, en biobrandstoffen. Niet onbelangrijke schakels in deze keten zijn gespecialiseerde dienstverleners, controleurs, laboratoria en kennisinstellingen. Nederland heeft een leidende positie in de EU (28 lidstaten) wat betreft het importvolume van oliehoudende gewassen, oliën en dierlijke vetten (nummer 2 in EU) en het exportvolume van verwerkte oliën en vetten (nummer 1 in EU; MVO, 2014). Wat betreft de verwerkte volumes met de technieken 'raffinage' en 'opslag' staat Nederland in de EU op nummer 1, voor verwerking van volumes tot 'biodiesel' en 'crushen' staat Nederland op de 3^e respectievelijk de 4^e plaats.

Bedrijven

Er is een klein aantal bedrijven dat zich bezighoudt met de invoer en verwerking van oliehoudende gewassen. Recent hebben grote crushing-bedrijven in Frankrijk en Nederland een deel van de verwerkingscapaciteit van sojabonen vervangen voor de verwerking van raapzaad. Ook is het mogelijk om 100% sojabonen of 100% raapzaad te verwerken (Kennisgevingsdossier, 2014). Cefetra is een ander belangrijk bedrijf in de veevoedersector. Het is een samenwerkingsverband van negen Nederlandse coöperatieve mengvoederbedrijven waarin ForFarmers en Agrifirm samen een aandeel hebben van bijna 80%. Het bedrijf levert een heel scala van veevoedergrondstoffen aan de mengvoederindustrie, die nodig zijn voor de productie van mengvoerders. Het bedrijf is, behalve in Nederland, ook actief in Centraal-Europa en Oost-Europa.

De reden dat bedrijven de verwerking van sojabonen gedeeltelijk door raapzaad hebben vervangen, is de toenemende vraag naar biodiesel en de vraag naar raapzaadolie door de voedings- en genotmiddelenindustrie. Echter in 2015 daalde het totale volume verwerkt raapzaad met 50% (De Ligt, 2016). Dit is het gevolg van het bereiken van een compromis door de EU over het voorstel rond Indirect Land Use Change (ILUC). In genoemd jaar heeft de EU besloten om een plafond van 7% in te stellen op het gebruik van biobrandstoffen op basis van gewassen die ook voor voedsel kunnen worden gebruikt. De groei van het aandeel biobrandstoffen op basis van plantaardige olie is daarmee beperkt. Tot begin 2018 hadden lidstaten de mogelijkheid de richtlijn te implementeren. Het is nog niet duidelijk wat de consequenties zijn voor de verwerkende industrie van oliezaden – met name koolzaad en raapzaad – tot 2020 (De Ligt, 2016).

2.3 Reguliere verwerking raapzaad

Raap- en koolzaad (en ook zonnebloemzaad) worden vooral gebruikt voor de winning van olie, waarbij door persen van de zaden met een schroefpers (crusher) een eiwitrijke perskoek als restproduct ontstaat. De perskoek bevat nog een fractie olie en wordt gewoonlijk raapzaadschilfers genoemd. De raapzaadschilfers kunnen rechtstreeks aan rundvee gevoerd worden als eiwitrijke component van het rantsoen (Figuur 1, route a). Wanneer de restfractie aan olie er nog grotendeels wordt uitgehaald m.b.v. hexaanextractie – doel is de olieopbrengst te verhogen – resteert een perskoek met minder olie, het zogenaamde raapzaadschroot (Figuur 1, route b). Ook het raapzaadschroot wordt momenteel vrijwel alleen gebruikt in de diervoedersector. Het gebruik van raapzaadschroot in voeding voor pluimvee en biggen wordt echter belemmerd door de aanwezigheid van glucosinolaten, vezels afkomstig van de vliezen en door het hoge gehalte aan fenolische verbindingen.

Figuur 1 De verwerking van raapzaad via de koude persmethode (bron: Mulder et al., 2016)

2.4 Praktijk case: verwerking raapzaad in Nederland

2.4.1 Huidige situatie

Als voorbeeld van verwerking van raapzaad in de praktijk wordt de productiewijze van Cargill genomen. Het bedrijf heeft eind 2014 in Gent (België, zie ook paragraaf 2.3) één nieuwe lijn voor de verwerking van sojabonen en raapzaad in gebruik genomen, waarbij afhankelijk van vraag en aanbod, en prijzen meer of minder raapzaad verwerkt kan worden of zelfs maar één van beide producten (Enviro, 2014). De verwerking is complexer dan alleen persen, zoals weergegeven in figuur 1. Eerst wordt raapzaad voorverwarmd tot ongeveer 60°C in een pre-conditioner, die werkt op stoom en teruggewonnen warmte. Daarna wordt het product verwerkt in gladwalsen om alle zaadjes te pletten. Vervolgens worden de zaden in een conditioner met stoom verder opgewarmd tot 100 à 105°C, waardoor het materiaal wordt gedroogd tot ca. 4,5% vocht. Het gevormde vocht wordt gecondenseerd en de warmte wordt teruggewonnen. Daarna worden de geplette zaden mechanisch geperst met behulp van persen (wringers, expellers). De geplette zaden bevatten ongeveer 40% beschikbare olie en ongeveer 2/3 van deze beschikbare olie wordt op deze manier uit het koolzaad geperst. De koek (cake), die op het einde de pers verlaat, bevat dan nog ongeveer 18 à 20% olie en is klaar voor verdere behandeling in het extractieproces. Olie uit de persen bevat nog veel onzuiverheden (stukjes raapzaad). In een bezinkingstank worden de eerste grove onzuiverheden verwijderd. De onzuiverheden gaan terug naar het begin van het proces, terwijl de olie naar de decanters wordt geleid. Deze horizontale centrifuges zuiveren de olie verder van fysische onzuiverheden. In de extractor wordt de raapzaadkoek (raapzaadschilfers) in tegenstroom gewassen met hexaan, een vetoplossend product, om de resterende olie op te lossen. Bij de uitgang van de extractor wordt de ontvette koek met nog een restant hexaan geproduceerd die naar de toaster gaat, en olie met hexaan (miscella) die naar de destillatie gaat. Na de destillatie is de olie vrij van vrije vetzuren, lecithine (slijmen, gums) en vocht. Meestal draait de semiraffinage in lijn met de crush-afdeling, d.w.z. de geproduceerde olie wordt onmiddellijk verwerkt. Na de destillatie is de olie hexaanvrij en wordt ze ofwel rechtstreeks ofwel uit de tussentijdse ruwe niet-ontslijmde opslagtank naar de zuurontslijming gepompt. In deze stap wordt de hoofdmoot van de fosfolipiden verwijderd door zuurtoevoeging (fosforzuur) en gedemineraliseerd water. De wateroplosbare fosfolipiden worden van de olie gescheiden door een centrifuge.

2.4.2 Toekomstige situatie

Cargill zal afhankelijk van vraag en aanbod de ruwe olie gebruiken als grondstof voor de voedings- of voederindustrie (Enviro, 2014). Bijproducten zijn vetzuren en emulsies van vetten (ca. 2-3%) die gebruikt kunnen worden in de mengvoederindustrie of voor technische toepassingen. Voor de food-industrie zal in eerste instantie alleen maar gebruik gemaakt worden van koolzaadolie. Op basis van de verwachte vraag op dit moment zal de installatie voor de food-afdeling een capaciteit hebben van maximaal 1.200 ton/dag (gemiddeld 1.000 ton/dag). De verwachting is dat op termijn de jaarlijkse productie 330.000 ton zal zijn. Om de nieuw te bouwen food-grade raffinaderij voor voedingsmiddelen van grondstof te voorzien heeft Cargill de capaciteit van de semi-raffinage-unit uitgebreid van max. 450.000 ton/jaar naar maximaal 760.000 ton/jaar ruwe sojaolie of koolzaadolie. Vanwege de grote vraag naar producten in de voedingsindustrie wordt veelal de verhouding 90/10 voor raapzaad/sojabonen aangehouden. Dit betekent dat maximaal 1.740.000 ton raapzaad per jaar kan worden verwerkt.

ADM te Rotterdam (Mainport) verwerkt eveneens sojabonen en raapzaad. Het gaat om ca. 2 miljoen ton oliezaden op jaarbasis (Van der Zande, 2011). Door crushing ontstaat 0,6 miljoen ton olie en 1,4 miljoen schroot, waarvan 30% schroot bestemd is voor de veehouders in Nederland. De rest wordt doorgevoerd naar andere ADM-locaties in Europa. De raapzaadolie wordt de laatste jaren steeds meer opgewaardeerd tot een hoger segment dan de bestemming voor de biodieselindustrie. Raffinage in de Mainport vindt plaats door bedrijven als IOI Loders Croklaan, Cargill, Wilmar en Maasrefinery. Deze geraffineerde plantaardige oliën worden in de voedingsmiddelen- en cosmetica-industrie gebruikt, bij bedrijven als Unilever. De totale invoer van

plantaardige oliën in Rotterdamse haven (4,7 miljoen ton) omvat maar 4% raapzaadolie en meer dan 50% palmolie of daarmee verwant (Van der Zande, 2011).

2.4.3 Duurzaamheid

Recent is op Europees niveau besloten dat palmolie met ingang van 2021 niet meer mag worden gebruikt als biobrandstof vanwege ontbossing in de landen waar het geteeld wordt (o.a. Indonesië) met alle gevolgen van dien, zoals afname van biodiversiteit door monocultuur van dit oliegewas, erosie, afname bodemvruchtbaarheid, hogere broeikasgasemissies en niet het minst belangrijk verhoging van voedselprijzen (Straver, 2017). Een totaalverbod van alle oliegewassen is vanaf 2021 niet haalbaar. Raapzaadolie zal dan niet alleen procentueel toenemen, maar ook neemt de kans toe op grotere volumes van raapzaadverwerking en raapzaadolie.

2.5 Economie

De kosten en opbrengsten van het crushen van raapzaad met alleen koude persing (figuur 1, route a) en met een aanvullende hexaanextractie (figuur 1, route b) zijn weergegeven in respectievelijk de tabellen 2 en 3. Zonder extractie zal ca. 32,5% olie (gewichtspcenten) gewonnen worden, met extractie 42,5% olie, met respectievelijk raapzaadschilfers (67,5%) en raapzaadschroot (57,5%) als perskoek (MER Cargill Gent, 2014. P.69, tabel 3.8). Beide perskoeken bevatten ca. 35% eiwit en zijn geschikt voor diervoeding.

Tabel 2 Kosten, opbrengsten en bruto winstmarge per ton raapzaad bij koude persing zonder extractie (bron: Mulder et al., 2016; figuur 1, route a). De producten zijn olie en raapzaadschilfers. De proceskosten zijn exclusief de kosten van: rente gemiddeld geïnvesteerd vermogen, afschrijving en onderhoud van gebouwen en apparatuur.

proceskosten per originele ton raapzaad	in €	opbrengsten per originele ton raapzaad	in €
Prijs per ton raapzaad in fabriek ¹	355	Olie voor biodiesel ³	259
Persen ²	10	Perskoek voor diervoeding (35% eiwit) ⁴	160
Totale kosten	365	Totale opbrengsten	419
		Marge bij huidige proceskosten ⁵	54
		Bruto winstmarge ⁶	12,9%

¹ <https://derivatives.euronext.com/en/products/commodities-options/OCO-DPAR>, 4 januari 2018, levering af fabriek;

² Croezen en Kampman, 2005; ³ 10-jarig prijsgemiddelde (jaren 2007 t/m 2017) bij AMD Rotterdam = € 796/ton raapolie;

⁴ € 238/ton raapzaadschilfers, Fouragehandel Van den Berg, Doornspijk (december 2017); ⁵ totale opbrengsten – (kosten per ton raapzaad + persen); ⁶ (marge/totale opbrengsten) *100%.

Tabel 3 Kosten, opbrengsten en bruto winstmarge per ton raapzaad bij koude persing met extractie (bron: Mulder et al., 2016; figuur 1, route b). De producten zijn olie en raapzaadschroot. De proceskosten zijn exclusief de kosten van: rente gemiddeld geïnvesteerd vermogen, afschrijving en onderhoud van gebouwen en apparatuur.

proceskosten per originele ton raapzaad	in €	opbrengsten per originele ton raapzaad	in €
Prijs per ton raapzaad in fabriek ¹	355	Olie voor biodiesel ³	338,30
Persen en extractie met hexaan ²	15	Perskoek voor diervoeding (35% eiwit) ⁴	115,00
Totale kosten	370	Totale opbrengsten	453,30
		Marge bij huidige kosten ⁵	83,30
		Bruto winstmarge ⁶	18,4%

¹ <https://derivatives.euronext.com/en/products/commodities-options/OCO-DPAR>, 4 januari 2018. Inclusief transportkosten € 10/ton; ² Croezen en Kampman, 2005; ³ 10-jarig prijsgemiddelde (jaren 2007 t/m 2017) bij AMD Rotterdam = € 796/ton raapolie; ⁴ € 200/ton raapzaadschroot, Fouragehandel Berg, Doornspijk (december 2017); ⁵ totale opbrengsten – (kosten per ton raapzaad + persen en extractie); ⁶ (marge/totale opbrengsten) *100%.

In tabel 3 is uitgegaan van de bestemming van raapzaadschroot (de perskoek) voor diervoeding (melkvee en zeugen). Verdere uitgangspunten zijn dat eventuele betalingsrechten/ha¹ van ca. € 280/ha/jaar (www.dlvadvies.nl/nieuws/waarde-betalingsrechten-verhoogd) tot de opbrengsten van de akkerbouwer gerekend moeten worden en niet als opbrengstenpost in de rendementsberekening van een crushingtechniek.

¹ Betalingsrechten geven recht op uitbetaling van subsidie aan agrarische ondernemers. Deze rechten zijn verhandelbaar. Heeft u betalingsrechten, dan kunt u deze verhuren of verkopen. Heeft u te weinig of géén betalingsrechten, dan kunt u ze van iemand kopen of huren.

3 Alternatieve gebruiksmogelijkheden

3.1 Toepassingen buiten diervoedersector

Raapzaadschroot heeft potentieel een groter toepassingsbereik dan alleen in diervoeding. Technologisch onderzoek laat zien dat door verwijdering van vliezen, glucosinolaten en componenten met een hoog aandeel fenolische verbindingen van raapzaad de voederwaarde van het schroot wordt verhoogd. Daarnaast beschikt raapzaad over twee eiwitten, globuline en albumine, met aantrekkelijke functionele en nutritionele eigenschappen voor toepassing in levensmiddelen. Het verder fractioneren van raapzaad via bioraffinageconcept A biedt vooral voor de albuminefractie uitzicht op toepassing in het hoogste segment van de humane voeding en medische sector (figuur 2, protein 2). Figuur 2 laat verder zien dat in de eerste stap vliezen worden verwijderd (dehulling) voordat een hexaanbehandeling of persen plaatsvindt, maar dat er ook een vezelrijke fractie wordt afgescheiden bij de isolatie van eiwitten. Beide fracties – vliezen en vezels – zijn te gebruiken in de Biobased Economy (BBE). Zo is de ligninefractie uit deze vezelfracties te verwaarden tot hoogwaardige producten als lijmen, harsen en chemicaliën (bio-aromaten). Een ander conceptueel ontwerp van een bioraffinageproces B van raapzaad is weergegeven in figuur 3. Hierin zijn ten opzichte van figuur 2 extra (optionele) processen opgenomen die leiden tot nieuwe Biobased producten. Een voorbeeld is het toasting-proces voorafgaand aan het persen van raapzaad, waardoor olie voor humane voeding ontstaat. Een ander voorbeeld is het opnemen van extra extractiestappen bij de bewerking van de perskoek met als belangrijkste producten een hoogwaardig isolaat met veel eiwit (85%) en een laag glucosinolaatgehalte en een perskoek met een laag glucosinolaatgehalte (dit gehalte verlaagt de opname door het vee vanwege de scherpe smaak/geur). Het lage glucosinolaatgehalte in het eiwitisolaat maakt dat er veel nieuwe toepassingen in de diervoeder- en in de Biobased Economy sector ontstaan. De bewerkte perskoek wordt zo geschikt voor meer diersoorten in de diervoedersector en de glucosinolaten kunnen worden toegepast in de gewasbescherming van planten, o.a. ter bestrijding van aaltjes (Hanse, 2013). In dit bioraffinageconcept zijn voor de vezelfractie (hulls) de toepassingen 'feed additives' en 'energie' gekozen. Fermentatie als optioneel proces levert BBE-producten en water.

Figuur 2 Fractionering van raapzaad via bioraffinageconcept A (bron: Vereijken et al., 2013)

Figuur 3 Conceptueel procesontwerp van bioraffinageconcept B (bron: Teekens et al., 2016)

Figuur 3 toont dat rapzaadschroot met bioraffinageconcept B in grote lijnen kan worden geraffineerd in drie grote fracties – eiwitconcentraat, lignocellulose en hoogwaardig diervoeder – en een kleine fractie (mineralen). Het grootste deel wordt nog bestemd voor diervoeder (52,5%), een kleiner deel (42,5%) kan worden toegepast in de BBE en 5% kan dienen als bemesting in de landbouw of elders. Op korte termijn kan toepassing in de BBE nog vergroot worden door een deel van het eiwitconcentraat te bestemmen voor petfood en materiaaltoepassingen. Op deze materiaaltoepassingen is ook het door Mulder (2016) beschreven 'advanced oil crop refinery model' gebaseerd (figuur 4).

Figuur 4 Geavanceerde olieraffieraffinage [Wageningen UR]; bron: Mulder et al., 2016

3.2 Economie

Om een indruk te krijgen van het rendement van het verkrijgen van de nieuwe (tussen)producten m.b.v. bioraffinage is het nodig om van elk (tussen)product de proceskosten en de opbrengsten te kennen (of: te kunnen schatten). Dit is geprobeerd voor de (tussen)producten van figuur 3 naar analogie van de berekeningen in de tabellen 2 en 3 (paragraaf 2.5).

De achtergrond van figuur 2 is beschreven in het onderzoek van Carré et al. (2015). In dit onderzoek zijn het volume en de samenstelling, die door de 'dehulling-techniek' ontstaan, beschreven. De volumes van de producten die ontstaan bij wel of geen gebruikmaking van deze techniek, zijn weergegeven in tabel 4.

Tabel 4 Massabalans van producten ontstaan uit bio-raffinage van non-dehulled (= regulier raapzaadverwerking) en dehulled raapzaad; bron: Carré et al., 2015).

materiaal	Non-dehulled (kg/100 kg zaad)	Dehulled (kg/100 kg zaad)
Raapzaadolie (= RZO)	42.8	41.2
Raapzaadschroot (= RZS)	56.0	37.6
Waterverlies	1.2	1.5
Raffinage hulls		19.7
Totaalproduct	100	100
Raffinage raapzaadkern (= RZO+RZS+water)		80.3
Olie in hulls		2.1
Olie in raapzaadschroot	1.3	0.8

Daarnaast zijn uit gegevens van tabel 4 de opbrengsten en winstmarges van deze techniek berekend (tabel 5; Carré et al., 2015).

Tabel 5 Vergelijking bruto winstmarges tussen crushen regulier raapzaad en raapzaad dat eerst ontdaan is van het kaf (= dehulled raapzaad); prijzen april 2014; bron: Carré et al., 2015 (gewijzigd).

Materiaal (per 1 ton raapzaad)	Regulier raapzaad (€/ton zaad)	Dehulled raapzaad (€/ton zaad)
Aankoop raapzaad	409.0	409.0
Totale kosten	409.0	409.0
Opbrengst aandeel olie	315.5	304.1
Opbrengst aandeel raapz.schr.	159.0	160.4
Opbrengst aandeel hulls ¹		27.0
Totale opbrengsten	474.5	464.5
Marge (= tot. opbr. – tot. kosten)	65.5	55.5
Bruto winstmarge ²	13.8%	11.9%

Olieprijs (€/ton)	738	738
Prijs raapzaadschroot (€/ton)	284	427
Hulls (€/ton)		135

¹ De verkoopprijs voor hulls (in €/ton) is berekend uit de prijs van raapzaadschroot (=RZS) met de formule: $Hulls_p = RZS_p \times 0.57 - 27.30$ (bron: Carré et al., 2015); ² (marge/totale opbrengsten) *100%

Het blijkt dat de winstmarge van dehulled raapzaad lager is dan van regulier raapzaad. Dit wordt – ondanks de hogere prijs voor het eiwitrijkere raapzaadschroot – veroorzaakt door het lagere aandeel raapzaadschroot en het relatief hoge aandeel hulls met een lage verkoopprijs. Een probleem bij dehulling is verder dat een deel van de dure olie in de hulls-fractie zit. Bij een aandeel van 200 g/kg ds hulls zal het aandeel olie in de droge stof 12,0% zijn van het totale volume olie, en daarnaast 15,2% ruw eiwit en 32,3% ruwe celstof (Carré et al., 2015). Verhoging van de olieprijs met 8,4% – de olieprijs is dan € 800/ton – blijkt nog steeds een lagere bruto winstmarge te leveren dan de reguliere verwerking van raapzaad (16,5% vs 18,4%). Zelfs een verhoging van de olieprijs met 62,6 % tot € 1.200/ton geeft nog steeds een lagere winstmarge voor dehulled t.o.v. reguliere verwerking (37,5% vs 39,1%). Dit betekent dat verhoging van de winstmarge van dehulled-

verwerking gezocht moet worden in het beter vermarkten van de restproducten van raapzaad t.o.v. het raapzaadschroot bij reguliere verwerking. Deze methode van dehulling is uitgevoerd op kleine schaal. Het is nog onzeker hoe de winstmarges liggen bij schaalvergroting van de dehulling methode. De studie van Carré et al. (2015) geeft geen inzicht in de proceskosten van zowel regulier als dehulled verwerken van raapzaad; de enige kosten zijn de aankoop van raapzaad, die gelijk zijn voor beide verwerkingsroutes. Op praktijkschaal zal bij reguliere mechanische dehulling de hulls-fractie waarschijnlijk 20% olie bevatten (Carré et al., 2015; Sosulski et al., 1981). Een logische stap zou dan zijn om deze oliefractie er alsnog uit te halen. Echter, de slecht gereinigde hulls en het nogmaals mechanisch bewerken van de hulls geeft een lage oliekwiteit. De verwijderde olie bevat hogere zuurwaardes en lagere organische vetzuren. Bovendien heeft deze olie een verminderde oxidatieve stabiliteit. Het is daarom de vraag of het zinvol is de olie te verwijderen uit de hulls-fractie. Onderzoek van Sosulski et al. (1981) toont aan dat een grote fractie restolie te vermijden is door eerst het raapzaad te vermalen, vervolgens dit meel in contact te brengen met hexaan om daarna een separatiestap uit te voeren met een hydrocycloon. Deze methode gaf twee fracties raapzaadschroot, een eiwitarme (26% in droge stof) en een eiwitrijke (45% in droge stof). De methode gaf wel een kleine restfractie olie, maar ook een relatief grote fractie eiwitarm raapzaadschroot (34% van het initiële raapzaadschroot). De twee fracties raapzaadschroot (Sosulski et al., 1981) zijn doorgerekend met de rekenmethode Carré et al. (2015) voor raapzaadschroot met 1% olie en 11,1% water met hoog- en laag eiwitfracties van respectievelijk 40,5 en 23,3 %. Dit is weergegeven in tabel 6.

Tabel 6 Vergelijking bruto winstmarges waarbij de methode van Sosulski et al. (1981) werd gebruikt; bron: Carré et al., 2015 (gewijzigd).

Materiaal (per 1 ton raapzaad)	Regulier raapzaad (€/ton zaad)	methode Sosulski (€/ton zaad)
Aankoop raapzaad	378.0	378.0
<i>Totale kosten</i>	<i>378.0</i>	<i>378.0</i>
Verkoopprijs olie	320.7	326.0
Opbrengst raapz.schr. (40.5% eiwit)*	138.0	124.9
Opbrengst raapz.schr. (23.3% eiwit)		17.7
<i>Totale opbrengsten</i>	<i>458.7</i>	<i>468.6</i>
Marge (tot. opbrengst – tot. kosten)	80.8	90.5
Bruto winstmarge	17.6%	19.3%
<hr/>		
<i>Olieprijs (€/ton)</i>	<i>750</i>	<i>750</i>
<i>Prijs hoog eiwitdeel (€/ton)</i>	<i>284</i>	<i>345</i>
<i>Prijs laag eiwitdeel (€/ton)</i>		<i>91</i>

* bij regulier raapzaad 35% eiwit, bij dehulled raapzaad 40.5% eiwit

De methode van Sosulski et al. (1981) levert de grootste bruto winstmarge die grotendeels is toe te schrijven aan de terugwinning van olie door extractie als gevolg van het tweede contact van het schroot met het oplosmiddel. Met de kennis dat de teruggewonnen olie van lagere kwaliteit is, die daardoor de uiteindelijke geraffineerde olie negatief kan beïnvloeden en daarbij gevoegd de additionele kosten van hexaanbewerking, is het niet geheel duidelijk of de extra bruto winstmarge (19,3% vs 17,6%) ook vertaald wordt in echte winst ten opzichte van de reguliere raapzaadverwerking. Voor de genoemde bruto winstmarges zijn dezelfde opmerkingen te maken als genoemd bij tabel 5.

Uit figuur 3 is een deel van het schema – de witte blokken inclusief pijlen van de processen 'dehulling', 'toasting', 'pressing' en 'extraction' – gebruikt om berekeningen te maken over kosten en opbrengsten. Verder wordt in de tabellen 4 en 5 gesproken over ontvetting van hulls (zie term 'olie in hulls'). Dit proces wordt 'degreasing' genoemd en kost ca. € 4/ton raapzaad bij een fractie van 20% hulls in raapzaad (Carré et al., 2015). De basis voor deze berekeningen is in de vorm van afzonderlijke procesmodellen - overigens is in het model het proces 'pressing' als onderdeel van het proces 'extraction' opgenomen - opgeslagen in een modelbibliotheek (Top, 2017) en vermeld in bijlage 1. Elk proces levert op basis van bepaalde grondstoffen (inputs) een aantal (nieuwe) producten (outputs) met een bepaald volume en kwaliteit (van olie of raapzaadmeel/-schroot), waarbij kosten en

opbrengsten horen. Een product van een bepaald proces is vaak weer de grondstof voor een volgend proces. De kosten en opbrengsten van alle processen leveren samen een bruto winstmarge van een beschreven bioraffinageproces. Deze winstmarge is te vergelijken met de bruto winstmarge van de reguliere raapzaadverwerking. Voor de berekening zijn de huidige verkoopprijzen voor olie en raapzaadschroot gebruikt i.p.v. de prijzen van figuur 3, gebaseerd op Teekens et al. (2016). In bepaalde processen is met aangepaste volumes gerekend, bijvoorbeeld voor hulls en raapzaadolie, of met aangepaste kostprijzen omdat een aantal van de in Teekens et al. (2016) vermelde volumes of kostprijzen onjuist (bijvoorbeeld: het volume olie is veel te laag!) of niet beargumenteerd zijn (o.a. tabel 2). De berekende bruto winstmarges van regulier verwerken van raapzaad zijn weergegeven in tabel 3 en de bruto winstmarges van het raffineren van raapzaad in tabel 7.

Tabel 7 Vergelijking bruto winstmarges van geraffineerd raapzaad. De proceskosten zijn exclusief de kosten van: rente gemiddeld geïnvesteerd vermogen, afschrijving en onderhoud van gebouwen en apparatuur.

Proceskosten per ton raapzaad	€/ton	Opbrengsten per ton raapzaad	€/ton
Aankoopprijs raapzaad ¹	355	Raapzaadolie ⁴	331,53
Dehulling ²	5	Raapzaadolie (uit degreasing) ^{4a}	3,38
Persen ³	10	Raapzaadschroot (>85% eiwit) ⁵	87,16
Toasting ³	10	Raapzaadschroot (20% eiwit) ⁶	33,64
Extractie: NaOH, HCl, water ²	15	Hulls ⁷	16,43
Degreasing ²	4		
Totale kosten	399	Totale opbrengsten	472,14
		Marge bij huidige kosten ⁸	73,14
		Bruto winstmarge ⁹	15,5%

¹ <https://derivatives.euronext.com/en/products/commodities-options/OCO-DPAR>, 4 januari 2018, geleverd aan fabriek Rotterdam of Amsterdam; ² Carré et al., 2015; ³ Croezen et al., 2005; ⁴ 10-jarig prijsgemiddelde (jaren dec. 2007 t/m dec. 2017) bij AMD Rotterdam = € 796/ton raapolie, volume (in ton): $(425 - (0,02 \cdot 425)/1000) \cdot € 796$, bron: Carré et al., 2015; ^{4a} ⁵ volume raapzaadschroot (in ton): $(1000 - 416,5 - 189,5 - 15)/1000 \cdot (0,29)$; prijs: € 793/ton, bron: Carré et al, 2015 en Bruins, 2018; ⁶ volume raapzaadschroot (in ton): $(1000 - 416,5 - 189,5 - 15)/1000 \cdot (0,71)$; prijs: € 125/ton, afgeleid van RZSp van noot 7; ⁷ volume (in ton): $\text{droge/ontvette hulls} = (198 - 8,5)/1000$; Hullsprijs = RZSp $\times 0,57 - 27,30$ (€/ton), bron: Carré et al. 2013), RZSp = € 200/ton, Fouragehandel Berg, Doornspijk, december 2017; ⁸ Totale opbrengsten – totale kosten; ⁹ (marge/totale opbrengsten) $\cdot 100\%$.

Uit de tabellen 3 en 7 blijkt dat – bij de gegeven volumes, kostprijzen en verkoopprijzen – het crushen van regulier raapzaad een hogere bruto winstmarge geeft dan het raffineren van raapzaad met de extra bewerkingen dehulling, degreasing, persen, toasting en uitgebreide extractie: 18,4% versus 15,5%. Dit wordt – ondanks de hogere totaalopbrengsten van geraffineerd raapzaad – veroorzaakt door de hogere kosten van extra bewerkingen en daardoor relatief hogere totaalkosten van het geraffineerde raapzaad.

3.3 Beoordeling op duurzaamheid

Nieuwe (tussen)producten zouden ook beoordeeld moeten worden op duurzaamheid. Dit om de maatschappij (en consument) te laten zien dat het raapzaad – en dus ook de componenten van raapzaad – op een duurzame wijze zijn geteeld en verwerkt tot nieuwe producten. Te denken valt in eerste instantie aan het toetsen op de indicatoren energieverbruik, CO₂-uitstoot (carbon-footprint), waterverbruik, afvalproductie (waste-footprint) en edible oil index. Op dit moment is het niet mogelijk om het duurzaamheidsaspect van de verschillende deelprocessen met (tussen)producten te berekenen (zie paragraaf 3.2) vanwege onvolledige gegevens over kosten van gebouwen, apparatuur en energieverbruik. De duurzaamheid van de gehele keten is daarom nog niet te kwantificeren.

4 Conclusies en aanbevelingen

4.1 Conclusies

- Europa produceert jaarlijks 20.1 miljoen ton raapzaad.
- De Europese productie op jaarbasis van raapzaad, raapzaadolie en raapzaadschroot is nagenoeg gelijk aan de Europese consumptie van raapzaad, raapzaadolie en raapzaadschroot. Dit geldt ook voor de productie en consumptie van raapzaad en zijn producten op wereldniveau; dit betreffen overwegend China, India, Canada, Japan en EU.
- In Nederland wordt het raapzaad hoofdzakelijk verwerkt door Cargill (Amsterdam) en ADM (Rotterdam). In Nederland wordt per jaar 800.000 ton raapzaadschroot en 320.000 ton raapzaadolie geïmporteerd.
- De reguliere raapzaadketen met het bijproduct raapzaadschroot (crushen) levert een hogere bruto winstmarge dan de keten met raapzaadschilfers (18% vs 13%). De bruto winstmarges voor bioraffinage met de componenten hulls, eiwitarm en eiwitrijk raapzaadschroot zijn lager tot gelijk aan die van regulier verwerken van raapzaad (crushen). Echter, onduidelijk is wat de werkelijke proceskosten van beide verwerkingslijnen (regulier en dehulled) zijn, waardoor de netto winstmarges niet bekend zijn.
- Optionele mogelijkheden van innovatieve raapzaadverwerking zijn schematisch weergegeven. Hierbij blijft het hoofdproduct raap(zaad)olie nog steeds belangrijk vanwege het relatief hoge aandeel (ruim 40% van het raapzaadvolume in gewichtsprocenten) en de relatief hoge prijs (ca. € 800/ton olie) bestemd voor de biodieselindustrie. Echter, bij opwaardering van de oliekwiteit t.b.v. sectoren feed / food / chemie zal de verkoopprijs van olie nog aanzienlijk kunnen toenemen.
- Toepassing van raffinagetechnieken op raapzaad leidt tot nieuwe (tussen)producten met een hogere verkoopprijs. Het gaat bijvoorbeeld om feed voor jonge dieren, of grondstof voor petfood, biomaterialen, chemische industrie, of bijproducten uit de ruwe celfractie als grondstof voor energie en biologische gewasbeschermingsmiddelen. De vraag is echter of de verkoopprijs van de afzonderlijke componenten opweegt tegen de productiekosten ervan. Het inzicht hierin is momenteel nog onvoldoende.

4.2 Aanbevelingen

- Voortgaand onderzoek naar bioraffinage van raapzaad is gewenst niet alleen vanuit het oogpunt van opwaardering van de oliekwiteit, maar ook vanuit de mogelijkheden van kwaliteitsverhoging en toepassingsgebieden van de restfractie van raapzaad na olieverwijdering.
- Aandacht voor het verder ontwikkelen van raffinagetechnieken is wenselijk. Het gaat hierbij om zowel efficiëntie en effectiviteit van processen als om het aanboren van nieuwe producten die zich hoog in de waardepiramide bevinden.
- Aandacht voor duurzaamheidsaspecten van nieuwe producten ontstaan uit bioraffinage van raapzaad is gewenst. Daarbij gaat het o.a. om CO₂-footprint, waterverbruik, energiegebruik, afvalproductie en human edible oil index.

Literatuur

- Broekhoven, G., and H. Savenije. 2012. Moving forward with forest governance, ETFRN news; issue no. 53. Wageningen: Tropenbos International.
- Bruins, M., 2018. Persoonlijke mededeling.
- Carré, P., A. Qiunsac, M. Citeau, and F. Fine, 2015. A re-examination of the technical feasibility and economic viability of rapeseed dehulling.. *Oilseeds & fats Crops and Lipids*, 22 (3), D304.
- CBS, 2016: <https://opendata.cbs.nl/statline/#/CBS/nl/dataset/7100oogs/table?ts=1515678635204>.
- Croezen, H., B. Campman, 2005. Op (de) weg met pure plantenolie? De technische, milieu-hygiënische en kostengerelateerde aspecten van plantenolie als voertuigbrandstof. Report 2GAVE-05.05, Delft, 96 pp.
- De Graaf, L. 2012. "Communication about medications for better patient transition. Needed: Format for switching." *Pharmaceutisch Weekblad* no. 147 (8):14-15.
- De Ligt, T., 2016. MJA-Sectorrapport 2015. Margarine-, vetten- en oliënindustrie. Rijdsdienst Voor Ondernemend Nederland, Arcadis Nederland B.V., Utrecht, 15 pp.
- Enviro, 2014. Definitief MER. NV Cargill Gent. Uitbreiding van de huidige milieuvergunningen, 307 pp.
- Fernandes, A.A.A., A.J.G. Gray, and K. Belhajjame, 2011. *Advances in Databases: 28th British National Conference on Databases, BNCOD 28, Manchester, UK, July 12-14, 2011, Revised Selected Papers*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- Foreign Agricultural Service/USDA, 2017. <http://uga.ua/wp-content/uploads/USDA-2.pdf>, Table 12.
- Hanse, L., 2013. Biofimumagatie werkt echt tegen nematoden. *Aardappelwereld magazine*, 2013 (5): 15-16.
- Kasper, G.J., G. van Duinkerken, M.M. van Krimpen, C.P.A. van Wagenberg, J. Kals, J.P.M. Sanders, en C.L.M. de Visser, 2016. Efficiënter gebruik van voedermiddelen en (geïmporteerde) diervoedergrondstoffen. Wageningen, Wageningen UR (University & Research centre) Livestock Research, Livestock Research Rapport 946, 63 pp.
- Mulder, W., C. van der Peet-Schwering, N.-P. Hua, and R. van Ree, 2016. Proteins for food, feed and biobased applications. Biorefining of protein containing biomass. Wageningen University & Research, with input from the NTLs of IEA Bioenergy Task 42.
- MVO, 2014. De Nederlands oliën- en vettenindustrie. Een internationale en duurzame keten, Louis Braillelaan 80 Zoetermeer, 27 pp.
- Smit, P., 2016. Cargill verkoopt sojaraffinaderij in Amsterdam. *Nieuwe Oogst*, Veehouderij, 8 aug. 2016.
- Sosulski, F. and R. Zadernowski, 1981. Fractionation of Rapeseed Meal into Flour and Hull Components. *JAOCs*: 96-98.
- Straver, F. 2017. Pleidooi voor verbod op voedselgewas als 'groene' brandstof, *Trouw*, 2 december 2017.
- Teekens, A.M., M.E. Bruins, J.M.N. van Kasteren, W.H. Hendriks, and J.P.M. Sanders, 2016. Synergy between bio-based industry and the feed industry through biorefinery. *J Sci Food Agric* 2016; 96: 2603-2612.
- Top, J., 2017. Persoonlijke mededeling. WUR Food & Biobased Research.
- Van der Zande et al., 2011. Groeien naar een Growport. Zoektocht naar de agrobasis van het Zuid-Hollandse Mainport – Greenport complex, 66 pp.
- Vereijken, P. Bikker, G. van Duinkerken, en M. Minor, 2013. Opwaardering van oliehoudende zaden. WUR Food & Biobased Research en WUR Livestock Research, Intern document.

Bijlage 1 Raapzaad en modelbibliotheek

Rapeseed models as intended for the model library

In this Annex 1 three “rapeseed” models, that calculate the masses, costs, and revenues of the processing of rapeseed to oil. First the rapeseed is dehulled, then the dehulled rapeseed kernels are extracted and the hulls can be degreased. This latter model is optional; it represents one of the newest techniques to obtain oil from rest material of rapeseed.

The three models can be connected as follows:

For describing the models, a document format is used as developed in an earlier project about model reuse, TIFN RE002.

Contents:

- Dehulling
- Hulls degreasing
- Extraction

Dehulling

Functionality

Calculates the masses of dehulled rapeseed kernel and hulls, e.g. in tonnes, based on the mass of rapeseed. Costs and revenues (euros) of the process are also calculated.

Structure

(Masses)

m_r [t] = (input)

m_{drk} [t] = $w_{drk,r}$ [kg/kg] · m_r [t]

$w_{drk,r}$ [kg/kg] = 0.802 kg/kg

m_h [t] = $w_{h,r}$ [kg/kg] · m_r [t]

$w_{h,r}$ [kg/kg] = 0.198 kg/kg

(Costs)

C [€] = c_r [€/t] · m_r [t] + $c_{d,r}$ [€/t] · m_r [t]

c_r [€/t] = 355 €/t

$c_{d,r}$ [€/t] = 5 €/t

(Revenues)

R [€] = $r_{drk,r}$ [€] · m_r [t] + $r_{h,r}$ [€/t] · m_r [t]

$r_{drk,r}$ [€/t] = 452.33 €/t

$r_{h,r}$ [€/t] = 19.81 €/t

Where m_r is rapeseed mass, m_{drk} is dehulled rapeseed kernel mass, m_h is hulls mass, C is cost, R is revenue, $w_{drk,r}$ is the mass fraction of dehulled rapeseed kernel in rapeseed, $w_{h,r}$ is the mass fraction of hulls in rapeseed, c_r is specific rapeseed cost, $c_{d,r}$ is rapeseed-specific dehulling process cost, $r_{drk,r}$ is rapeseed-specific dehulled rapeseed kernel revenue and $r_{h,r}$ is rapeseed-specific hulls revenue.

Interfaces

Port	Type	Name	Example
input		rapeseed mass (m_r)	1 t
output		dehulled rapeseed kernel mass (m_{drk})	
output		hulls mass (m_h)	
output		cost (C)	
output		revenue (R)	

Hulls degreasing

Functionality

Calculates the masses of degreased hulls and oil, e.g. in tonnes, based on the mass of hulls. Costs and revenues (euros) of the process are also calculated.

Some mass fractions, specific costs and revenues are given relative to rapeseed mass; however, rapeseed mass is no intended input for this model which may be used in another context (if suitable for describing that situation). Hence, the parameters are converted to the inputs.

This model is optional; it represents one of the newest techniques to obtain oil from rest material from rapeseed.

Structure

(Masses)

m_h [t] = (input)

$$m_{dh} [t] = (w_{dh,r} [kg/kg] / w_{h,r} [kg/kg]) \cdot m_h$$

$$w_{dh,r} [kg/kg] = 0.1895 \text{ kg/kg}$$

$$w_{h,r} [kg/kg] = 0.198 \text{ kg/kg}$$

$$m_{oil} [t] = (w_{oil,r} [kg/kg] / w_{h,r} [kg/kg]) \cdot m_h$$

$$w_{oil,r} [kg/kg] = 0.0085 \text{ kg/kg}$$

(Costs)

$$C [\text{€}] = c_{h,r} [\text{€/t}] \cdot m_h [t] / w_{h,r} [kg/kg] + c_{hd,r} [\text{€/t}] \cdot m_h [t] / w_{h,r} [kg/kg]$$

$$c_{h,r} [\text{€/t}] = 19.81 \text{ €/t}$$

$$c_{hd,r} [\text{€/t}] = 4 \text{ €/t}$$

(Revenues)

$$R [\text{€}] = r_{dh,r} [\text{€/t}] \cdot m_r [t] + r_{oil} [\text{€/t}] \cdot m_{oil} [t] = r_{dh,r} [\text{€/t}] \cdot m_{dh} [t] / w_{dh,r} [kg/kg] + r_{oil} [\text{€/t}] \cdot m_{oil} [t]$$

$$r_{dh,r} [\text{€/t}] = 16.43 \text{ €/t}$$

$$r_{oil} [\text{€/t}] = 0.5 \cdot 796 \text{ €/t}$$

Where m_h is hulls mass, m_{dh} is degreased-hulls mass, m_{oil} is oil mass, C is cost, R is revenue, $w_{dh,r}$ is the mass fraction degreased-hulls in rapeseed, $w_{h,r}$ is the mass fraction hulls in rapeseed, $w_{oil,r}$ is the mass fraction oil in rapeseed, $c_{h,r}$ is rapeseed-specific hulls cost, $c_{hd,r}$ is rapeseed-specific hulls-degreasing process cost, $r_{dh,r}$ is rapeseed-specific degreased-hulls revenue and r_{oil} is oil revenue.

Interfaces

Port	Type	Name	Example
input		hulls mass (m_h)	
output		degreased-hulls mass (m_{dh})	
output		oil mass (m_{oil})	
output		cost (C)	
output		revenue (R)	

Extraction

Functionality

Calculates the masses of high-protein meal, low-protein meal, oil, and water, e.g. in tonnes, based on the mass of dehulled rapeseed kernel. Costs and revenues (euros) of the process are also calculated. Some mass fractions, specific costs and revenues are given relative to rapeseed mass or meal mass; however, rapeseed mass and meal mass are no intended inputs for this model which may be used in another context (if suitable for describing that situation). Hence, the parameters are converted to the inputs.

Structure

(Masses)

$m_{drk} [t] = (\text{input})$

$$m_m [t] = w_{m,r} [kg/kg] \cdot m_r [t] = (w_{m,r} [kg/kg] / w_{drk,r} [kg/kg]) \cdot m_{drk}$$

$$w_{m,r} [kg/kg] = 0.379 \text{ kg/kg}$$

$$w_{drk,r} [kg/kg] = 0.802 \text{ kg/kg}$$

$$m_{hpm} [t] = w_{hpm,m} [kg/kg] \cdot m_m [t]$$

$$w_{hpm,m} [kg/kg] = 0.29 \text{ kg/kg}$$

$$m_{lpm} [t] = w_{lpm,m} [kg/kg] \cdot m_m [t]$$

$$w_{lpm,m} [kg/kg] = 0.71 \text{ kg/kg}$$

$$m_{oil} [t] = w_{oil,r} [kg/kg] \cdot m_r [t] = (w_{oil,r} [kg/kg] / w_{drk,r} [kg/kg]) \cdot m_{drk}$$

$$w_{oil,r} [kg/kg] = 0.425 \cdot 0.98 \text{ kg/kg}$$

$$m_{H2O,out} [t] = w_{H2O,r} [kg/kg] \cdot m_r [t] = (w_{H2O,r} [kg/kg] / w_{drk,r} [kg/kg]) \cdot m_{drk}$$

$$w_{H2O,r} [kg/kg] = 0.015 \text{ kg/kg}$$

(Costs)

$$C [€] = c_{drk,r} [€/t] \cdot m_r [t] + c_{e,r} [€/t] \cdot m_r [t] = c_{drk,r} [€/t] \cdot m_{drk} [t] / w_{drk,r} [kg/kg] + c_{e,r} [€/t] \cdot m_{drk} [t] / w_{drk,r} [kg/kg]$$

$$c_{drk,r} [€/t] = 452.33 \text{ €/t}$$

$$c_{e,r} [€/t] = 35 \text{ €/t}$$

(Revenues)

$$R [€] = r_{hpm} [€/t] \cdot m_{hpm} [t] + r_{lpm} [€/t] \cdot m_{lpm} [t] + r_{oil} [€/t] \cdot m_{oil} [t] = r_{hpm} [€/t] \cdot m_{hpm} [t] + r_{lpm} [€/t] \cdot m_{lpm} [t] + r_{oil} [€/t] \cdot m_{oil} [t]$$

$$r_{hpm} [€/t] = 793 \text{ €/t}$$

$$r_{lpm} [€/t] = 125 \text{ €/t}$$

$$r_{oil} [€/t] = 796 \text{ €/t}$$

Where m_{drk} is dehulled rapeseed kernel mass, m_r is rapeseed mass, m_{NaOH} is NaOH mass, $m_{H2O,in}$ is H₂O mass, m_{HCL} is HCL mass, m_{hpm} is high-protein mass, m_{lpm} is low-protein mass, m_{oil} is oil mass flow, $m_{H2O,out}$ is H₂O mass, C is cost, R is revenue, m_m is meal mass, $w_{m,r}$ is the mass fraction meal in rapeseed, $w_{hpm,m}$ is the mass fraction high-protein meal in meal, $w_{lpm,m}$ is the mass fraction low-protein meal in meal, $w_{oil,r}$ is the mass fraction oil in rapeseed, $c_{drk,r}$ is rapeseed-specific dehulled rapeseed kernel cost, $c_{e,r}$ is rapeseed-specific extraction process cost, r_{hpm} is high-protein meal revenue, r_{lpm} is low-protein meal revenue and r_{oil} is oil revenue.

Interfaces

Port	Type	Name	Example
input		dehulled rapeseed kernel mass (m_{drk})	
input		rapeseed mass (m_r)	
input		NaOH mass (m_{NaOH})	
input		H ₂ O mass ($m_{H_2O,in}$)	
input		HCL mass (m_{HCL})	
output		high-protein meal mass (m_{hpm})	
output		low-protein meal mass (m_{lpm})	
output		oil mass flow (m_{oil})	
output		H ₂ O mass ($m_{H_2O,out}$)	
output		cost (C)	
output		revenue (R)	

To explore
the potential
of nature to
improve the
quality of life

Wageningen Livestock Research Postbus 338
6700 AH Wageningen
T 0317 48 39 53
E info.livestockresearch@wur.nl [www.wur.nl/
livestock-research](http://www.wur.nl/livestock-research)

Wageningen Livestock Research ontwikkelt kennis voor een zorgvuldige en renderende veehouderij, vertaalt deze naar praktijkgerichte oplossingen en innovaties, en zorgt voor doorstroming van deze kennis. Onze wetenschappelijke kennis op het gebied van veehouderijsystemen en van voeding, genetica, welzijn en milieu-impact van landbouwhuisdieren integreren we, samen met onze klanten, tot veehouderijconcepten voor de 21e eeuw.

De missie van Wageningen University & Research is 'To explore the potential of nature to improve the quality of life'. Binnen Wageningen University & Research bundelen 9 gespecialiseerde onderzoeksinstituten van Stichting Wageningen Research en Wageningen University hun krachten om bij te dragen aan de oplossing van belangrijke vragen in het domein van gezonde voeding en leefomgeving. Met ongeveer 30 vestigingen, 6.500 medewerkers en 10.000 studenten behoort Wageningen University & Research wereldwijd tot de aansprekende kennisinstellingen binnen haar domein. De integrale benadering van de vraagstukken en de samenwerking tussen verschillende disciplines vormen het hart van de unieke Wageningen aanpak.