



Analyse van potenties van extra eiwitproductie in Nederland via teelt, reststromen en andere bronnen

Jan Broeze, Ingrid van der Meer, Jeroen Hugenholtz, Luisa Trindade, Sanne Stroosnijder, Maria Barbosa, Rene Wijffels en Stacy Pyett



WAGENINGEN
UNIVERSITY & RESEARCH

Analyse van potenties van extra eiwitproductie in Nederland via teelt, reststromen en andere bronnen

Auteurs: dr.ir. J. (Jan) Broeze, dr. I.M. (Ingrid) van der Meer, prof.dr. J. (Jeroen) Hugenholtz, prof.dr.ir. L.M. (Luisa) Trindade, S.B. (Sanne) Stroosnijder MSc, prof.dr. M.B. (Maria) Barbosa, prof.dr.ir. R.H. (René) Wijffels en dr. S.C. (Stacy) Pyett

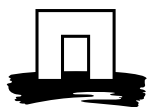
Instituut: Wageningen Food & Biobased Research

Dit onderzoek is uitgevoerd door Wageningen Food & Biobased Research, gefinancierd door Het Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit en in opdracht van het Ministerie van Landbouw, natuur en voedselkwaliteit.

Wageningen Food & Biobased Research
Wageningen, januari 2022

Openbaar

Rapport 2239



WAGENINGEN
UNIVERSITY & RESEARCH

WFBR Project nummer: 6234218000

Versie: definitief

Reviewer: ir. J.J. (Jim) Groot

Goedgekeurd door: dr.ir. H. (Henk) Wensink

Gefinancierd door: Het Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit

In opdracht van: het Ministerie van Landbouw, natuur en voedselkwaliteit (BO-43-103-006)

Dit rapport is: openbaar

Het onderzoek zoals beschreven in dit rapport is op objectieve wijze uitgevoerd door onderzoekers die onpartijdig zijn ten opzichte van de opdrachtgever(s) en sponsor(s). Dit rapport is gratis te downloaden van <https://doi.org/10.18174/561493> of op www.wur.nl/wfbr (onder publicaties).

© 2021 Wageningen Food & Biobased Research, instituut binnen de rechtspersoon Stichting Wageningen Research.

Het is de opdrachtgever toegestaan dit rapport integraal openbaar te maken en ter inzage te geven aan derden. Zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van Wageningen Food & Biobased Research is het niet toegestaan:

- a. dit door Wageningen Food & Biobased Research uitgebrachte rapport gedeeltelijk te publiceren of op andere wijze gedeeltelijk openbaar te maken;
- b. dit door Wageningen Food & Biobased Research uitgebrachte rapport, c.q. de naam van het rapport of Wageningen Food & Biobased Research, geheel of gedeeltelijk te doen gebruiken ten behoeve van het instellen van claims, voor het voeren van gerechtelijke procedures, voor reclame of antireclame en ten behoeve van werving in meer algemene zin;
- c. de naam van Wageningen Food & Biobased Research te gebruiken in andere zin dan als auteur van dit rapport.

Postbus 17, 6700 AA Wageningen, T 0317 48 00 84, E info.wfbr@wur.nl, www.wur.nl/wfbr. Wageningen Food & Biobased Research is onderdeel van Wageningen University & Research.

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.

Inhoud

Samenvatting	5
1 Inleiding	12
1.1 Achtergrond	12
1.2 Kansrijke nieuwe bronnen	13
1.3 Inleiding in het rapport	14
2 Verhoging van eiwitproductie en -benutting in de landbouw	15
2.1 Effectiever voeren	15
2.1.1 Analyse van de potentie	16
2.1.2 Overwegingen haalbaarheid in huidige situatie	16
2.2 Effectievere benutting van eiwitten uit gras door raffinage	16
2.2.1 Analyse potentie	17
2.2.2 Overwegingen lead time	18
2.2.3 Overwegingen haalbaarheid in huidige situatie	18
2.3 Vlinderbloemigen	18
2.3.1 Analyse potentie	18
2.3.2 Overwegingen haalbaarheid en bottlenecks voor ontwikkeling van deze optie	19
2.3.3 Overwegingen lead time	20
2.4 Combinatieteelt met gras	20
2.4.1 Analyse potentie	20
2.4.2 Overwegingen lead time	21
2.5 Combinatieteelten gewassen met vlinderbloemigen	21
2.5.1 Analyse potenties	22
2.6 Benutting gewasresten	22
3 Eiwitpotentie door benutting van nevenstromen en afval in voedselketens	23
3.1 Eiwit nevenstromen uit voedingsindustrie inzetten voor voedsel in plaats van veevoeding	23
3.1.1 Eiwit uit vruchtwater van aardappelzetmeelindustrie	24
3.1.2 Benutting vlees-/beendermeel en andere melen als veevoer	24
3.1.3 Reststromen uit visketens	25
3.1.4 Eiwitrijke reststromen van fermentatieprocessen	25
3.2 Surplus stromen uit voedselketens, retail en catering	26
3.2.1 Overwegingen lead time	26
3.3 Keukenafval: directe inzet als varkensvoer	26
3.4 Benutting van slib uit waterzuivering	27
4 Aquatische biomassa: eendenkroos, zeewieren en algen	28
4.1 Eendenkroos (waterlinzen)	28
4.1.1 Overwegingen lead time	29
4.2 Zeewier	29
4.2.1 Overwegingen lead time	30
4.3 Microalgen	31
4.3.1 Overwegingen lead time	32
4.4 Andere zeevruchten zoals mosselen, mesheften en zeesterren	32
5 Nieuwe eiwitbronnen	33
5.1 Microbiële eiwitbronnen	33
5.1.1 Overwegingen lead time	34

5.2	Insecten	34
5.2.1	Surplus stromen uit voedselverwerking, retail en catering: productie van eiwitten voor veevoeder via insecten	34
5.2.2	Keukenafval: productie van eiwitten voor veevoeder via insecten	35
6	Concluderende opmerkingen	36
	Bronnen/literatuur	37

Samenvatting

Dit rapport kwantificeert mogelijkheden om de afhankelijkheid van soja-producten import voor veevoer (momenteel ongeveer 1800 kton/j sojaproducten per jaar, met daarin ongeveer 720kton eiwit) te verlagen, op basis van binnenlandse productie, met behoud van het huidige volume voedsleiwit productie.

Veel 'nieuwe bronnen' worden als veelbelovend beschouwd voor verbetering van eiwitproductie. Met 'verbeteren' worden echter verschillende vormen bedoeld, zoals verhoging van voedingswaarde voor mens of dier, verbeteren van inzetbaarheid voor voeding of veevoer, ontwikkeling van een aantrekkelijk 'niche' product of verhoging van het bulk productiepotentieel. Voor de meeste opties is niet evident hoe groot de daadwerkelijke volume-potentie is, op welke termijn de ontwikkelingen opgeschaald kunnen zijn en welke technische ontwikkelstap en investeringen nog nodig zijn. Dit rapport geeft inzicht in die kwesties waardoor een realistisch perspectief op de mogelijkheden voor bulk productie ontstaat.

In deze studie is naast de effecten van inzet van 'nieuwe bronnen' voor veevoer ook gekeken naar effecten op eiwitbehoefte als de (voornamelijk plantaardige) nieuwe eiwitbronnen direct worden ingezet voor voeding. Daarvoor hebben we gebruik gemaakt voor een omrekening van voedereiwitten naar voedsleiwitten: we schatten dat 1kg plantaardig voedsleiwit 5 kg veevoeder eiwit verdringt.

De resultaten beschrijven primair de volume-potentie om afhankelijkheid van eiwitimport te beperken met instandhouding van totale productie voedingseiwit in Nederland. Hier en daar worden ook duurzaamheidseffecten genoemd en mogelijkheden en belemmeringen van 'nieuwe' eiwitbronnen en circulaire benutting van reststromen, maar die opsomming is niet compleet. De auteurs zijn zich ook bewust dat verschillende opties ook maatschappelijke aanpassingen vragen, maar ook die kwesties vallen buiten de scope van deze kwantitatieve studie.

De potenties zijn kwantitatief ingeschat op basis van typische rendement-schattingen (volgens recente literatuur) en beschikbaarheid van biomassa-bronnen en productiemiddelen in Nederland (afgeleid van literatuur en percentages van landbouwarealen in Nederland).

Dit onderzoek is uitgevoerd in opdracht van en gefinancierd door het Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit.

De resultaten worden samengevat in onderstaande tabel en de daaropvolgende constatering en aanbevelingen.

Tabel 1 Samenvatting van mogelijke effecten per maatregel t.a.v. soja-vervanging en kanttekeningen, aannemend dat totale voedsel eiwitproductie gelijk blijft. Het genoemde percentage is het vervangingsvermogen voor het huidige Nederlandse verbruik van sojaproducten in veevoer (1800 kton/j).

Let op: voor de opties van plantaardige (inclusief fermentatieve) eiwitten voor voeding geldt dat het te realiseren effect sterk afhangt van de marktontwikkeling voor vleesvervangers.

Maatregel	Effecten eiwitbalans voor voedsel en veevoer in Nederland (genoemde percentages betreft vervangingspotentieel t.o.v. huidige gebruik sojaproduct in veevoer)	Opmerking
Effectiever voeren van melkvee: bij hoge ruw-eiwitgehalten in melkveevoer wordt een overmaat gevoerd; verlagen van het eiwitgehalte leidt tot geen (of amper) verlaging van de eiwitproductie in melk.	300 kton/jaar minder sojaschroot nodig voor de huidige melkproductie (17%)	Uitgangspunt is dat eiwitgehalte in veevoeding wordt verlaagd van 165 naar 155 gram per kg voer (op drogestof basis).
Grasraffinage: eiwit-rijke fractie van gras scheiden; deze fractie kan worden ingezet voor varkens of kippen	Bij inzet van het eiwit-extract als <u>veevoer</u> voor eenmagigen: Als 1% van het gras wordt geraffineerd: 15kton/j minder sojaschroot nodig (1%) . Bij inzet van deze fractie voor <u>voedsel</u> komt in potentie 6 kton/j voedsleiwit beschikbaar; als daarmee dierlijke eiwitconsumptie wordt vervangen, spaart dat dan 30 kton/j voedereiwit uit, equivalent aan 75 kton/j sojaschroot (4%) .	Deze winst hangt samen met voorgaand punt; in feite wordt het eiwitgehalte in ruwvoer hier afgeroomd. Dit is vooral relevant voor voorjaarsgras (met hogere eiwitgehalten dan gras dat in de tweede helft van het jaar wordt geoogst). De winst die wordt geboekt is het gevolg van het feit dat het ruwvoer vaak een hoger eiwitgehalte heeft dan de koe kan omzetten in melk, zie bovenstaande maatregel.
Vlinderbloemigen (bonen, erwten, lupine, soja)	<u>Veevoer:</u> Beperkt tot geen positief effect op plantaardige eiwitproductie in Nederland (eiwitopbrengst niet of amper hoger dan voor tarwe). Wel interessant voor krachtvoer waarbij soja kan worden vervangen vanwege het hoge eiwitgehalte in vlinderbloemigen (maar vervangt dan andere gewassen). <u>Voedsel:</u> Interessante gewasgroep voor plantaardige eiwitten in voedsel waarbij het "inefficiënte" dier wordt overgeslagen. Als 1% van het NL akkerbouwareaal (das 5000ha) overschakelt van een voedergewas naar een hoogproductieve vlinderbloemige kan rond 4kton/j voedsleiwit worden geproduceerd. Als daarmee dierlijke eiwitconsumptie wordt vervangen, spaart dat dan 20 kton/j voedereiwit uit, equivalent aan 50 kton/j sojaschroot (3%) .	De nutritionele waarde van eiwitten van vlinderbloemigen is, net als de meeste plantaardige bronnen, lager dan van dierlijke eiwitten. De feitelijke winst bij voedseltoepassing valt daarom enkele tientallen procenten lager uit (als we vast willen blijven houden aan de huidige eiwit-inname voedingswaarde). Door veredelingsprogramma's kan – op termijn van 10-15 jaar – het eiwitgehalte van de gewassen verder worden verhoogd en/of de opneembaarheid worden verbeterd.
Combinatieteelt gras met vlinderbloemigen	Deze optie draagt niet bij aan netto verhoging van eiwitproductie in Nederland (0%).	Interessante optie voor elders in Europa. Deze optie kan wel bijdragen aan het in stand houden van eiwitproductiviteit (en vergroting van biodiversiteit en bodemgezondheid) bij verduurzaming van landbouw (zoals overgang naar biologisch of vermindering van bemesting).
Combinatieteelten gewassen met vlinderbloemigen	Deze optie draagt niet significant bij aan netto verhoging van eiwitproductie in Nederland (0%).	Mengteelt van gewassen biedt vooral mogelijkheden om bij verduurzamen van landbouw (o.a. vermindering broeikasgasuitstoot) de opbrengst op niveau van gangbare landbouw te houden. Verder draagt ook deze optie bij aan vergroting van biodiversiteit en bodemgezondheid, en resistentie/tolerantie voor biotisch stress.
Benutting van gewasresten: bietenblad	De eiwitpotentie wordt geschat op 15 kton/j . Als <u>veevoeder</u> kan daarmee 37,5kton/j sojaschroot worden vervangen. Bij inzet voor <u>voeding</u> spaart dit 75 kton/j voedereiwit uit, equivalent aan 187,5 kton/j sojaschroot (10%).	Dit eiwit is van hoge kwaliteit en kan daarom in voedsel dierlijk eiwit vervangen.

Betere benutting van reststromen uit voedselverwerking: eiwit uit vruchtwater van zetmeelaardappelen inzetten voor voeding in plaats van veevoer	<p>Eiwit dat nu wordt gebruikt als veevoeder wordt opgewaardeerd tot voeding. Op basis van de huidige zetmeelaardappel-productie kan ongeveer 20 kton/j meer voedsleiwit worden geproduceerd; dit vervangt 100 kton/j voedereiwit. Netto besparing voedereiwit: $100 - 20 = 80 \text{ kton/j}$, equivalent aan 200 kton/j sojaschroot (11%).</p>	<p>Hoogwaardige eiwit voor voedingstoepassing (bijvoorbeeld geschikt als binder in vleesvervangers) met zeer hoge voedingswaarde (eiwitkwaliteit vergelijkbaar met dierlijke eiwitten).</p> <p>Het gehalte oplosbaar eiwit in de aardappel is nog te verhogen middels veredeling. Daardoor kan de potentie nog verder worden verhoogd.</p>
Benutting vlees/beendermeel als veevoer	<p>Categorie 3 vlees/beendermeel mag volgens recente Europese regelgeving weer onder voorwaarden ingezet in veevoer: van varkens voor kippen en omgekeerd. Deze stromen wordt voor een groot deel afgezet naar o.a. petfood. Directe cijfers ontbreken. Op basis van Europese statistieken schatten we dat de stroom slachtbijproducten van varkens en kippen in Nederland 125 kton/j eiwit bevat, waarvan tweederde wordt gebruikt in petfood. Resteert 40 kton/j eiwit dat in potentie nog beschikbaar is voor <u>veevoer</u>, equivalent aan 100kt sojaschroot (6%).</p>	<p>Er zit een behoorlijke onzekerheid in de onderliggende getallen, met name het rendement van productie van vlees/beendermeel uit slachtbijproducten; de daadwerkelijke potentie kan aanzienlijk hoger of lager liggen.</p>
Betere benutting van reststromen uit visketens	<p>Ingewanden worden aan boord verwijderd; daarbij gaat ook het meeste bloed verloren.</p> <p>Reststromen (voornamelijk kop, vinnen en staart) uit visverwerking inclusief bijvangst worden voornamelijk verwerkt tot vismeel. Perspectief op opwaardering of substantiële vergroting van eiwit voor diervoer is gering.</p> <p>Net als van vleesverwerkende bedrijven komt ook (een relatief kleine deel van het) eiwit in afvalwater terecht. Echter, dat is moeilijk voedsel- of voederwaardig te maken. Mogelijk wel interessant voor non-food opties.</p>	
Eiwitrijke bijproducten van bioethanol en biochemicals productie	<p>Bij bioethanolproductie zitten aanzienlijke hoeveelheden eiwit in de bijproducten: 100 tot 200 kton/j eiwit, equivalent aan 250 tot 500 kton/j sojaschroot, per jaar. Deze worden veelal benut als veevoer. Reststromen van andere fermentaties (bijvoorbeeld voor azijnzuur) worden nog vooral benut voor biogas en als meststof; het verdient aanbeveling om mogelijke toepassing als veevoer te onderzoeken.</p>	
Benutting van surplus stromen uit voedselketens, retail en catering	<p>Stromen die volgens huidige wetgeving zijn toegelaten worden al grotendeels benut voor diervoer.</p> <p>Een klein deel (geschat op 5 kton/j eiwit; equivalent aan 12,5kton/j sojaschroot, 1%) wordt nog niet benut.</p> <p>Als alle stromen zouden worden toegelaten in diervoer wordt de potentie veel groter: ongeveer 120 kton/j eiwit, equivalent aan 300 kton/j soja (17%).</p>	<p>Voor de toegelaten stromen zijn er vaak praktische redenen (klein volume van een stroom, kosten van kwaliteitsmaatregelen, etc.) waarom ze niet worden benut.</p> <p>Beperkende wetgeving is veelal gericht op (beheersbare) veiligheid. Mogelijk kan de grote potentie alsnog benut worden, bijvoorbeeld via insecten.</p>
Insecten op basis van surplus stromen uit voedselverwerking, retail en catering	<p>Insecten bieden (afhankelijk van ontwikkeling wetgeving) mogelijkheden om reststromen die niet zijn toegestaan als veevoer te benutten.</p> <p>Op basis van reststromen uit voedselverwerking, retail en voedselresten is 26 kton/j eiwit per jaar mogelijk, equivalent aan 65kton/j sojaschroot (4%).</p> <p>Let op: het betreft hier vooral stromen die momenteel niet zijn toegelaten als veevoeding.</p>	<p>Insecten kweken op voer dat is toegelaten als veevoeding biedt t.a.v. eiwitten geen voordeel: net als andere dieren hebben insecten een eiwitrendement kleiner dan één.</p> <p>Insectenkweek voor diervoeder op basis van feed-grade voeders kan alsnog interessant zijn:</p> <ul style="list-style-type: none"> als het insect of insecten-eiwit geschikter is voor het doeldier dan het insecten-voer; als het eiwitgehalte van het insect hoger is dan het insecten-voer;

		<ul style="list-style-type: none"> • of als het insect als voedsel wordt gebruikt (de winst hangt dan af van de efficiëntie waarmee het insect het eiwit omzet; mogelijk efficiënter dan andere landbouwhuisdieren)
Benutting van keukenafval (incl. huishoudens) als diervoer	Hiermee kan in theorie ongeveer 230 kton/j veevoeder-eiwit worden uitgespaard, equivalent aan 570 kton/j sojaschroot (32%) .	Deze optie wordt heel onrealistisch geacht op de korte en middelbare termijn om redenen van beheersbaarheid van veiligheid.
Insecten op basis van keukenafval	Wettelijk gezien nog moeilijker dan op basis van genoemde surplus stromen. Theoretische potentie bij toepassing als veevoer: 200 kton/j eiwit , equivalent aan 500 kton/j sojaschroot (28%) .	
Insecten voor veevoer op veevoer	Insecten hebben, net als andere productievormen, een eiwit-efficiëntie kleiner dan 1. Daarom dragen de productie van insecten op veevoeders t.b.v. nieuwe veevoeders niet bij aan de totale eiwit-efficiëntie. Echter, insecten kunnen wel een rol spelen om eiwit-gehalte, opneembaarheid of aantrekkelijkheid voor dieren te verbeteren (zoals visvoer). Ook biedt het kans om stromen met hoge gehalten anti-nutritionele gehalten alsnog tot feed op te waarderen. De potentie is sterk afhankelijk van de stroom; nader onderzoek is daartoe gewenst.	
Benutting van eiwit uit slib van waterzuivering	Theoretische potentie wordt geschat op minimaal 100 kton/j eiwit, equivalent aan 250 kton/j sojaschroot (14%) .	Het zal een grote uitdaging zijn om een veilig eiwit product uit deze stroom te isoleren.
Eendenkroos	<p>Veevoer:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Kan, met behoud van productiviteit, tot 10 à 20% worden bijgemengd in veevoer. Daarmee heeft het een heel hoge potentie. Echter in praktijkvoorbeelden is deze eiwitbron 5 tot 10 keer duurder dan soja-eiwit. • In praktijkvoorbeelden worden de ponds bemest met mest of digestaat. Wetgeving verbiedt het verhandelen van het product als veevoer. <p>Voedseltoepassing:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Met de kennis van nu is de kostprijs van (RuBisCO) eiwitconcentraat uit eendenkroos niet concurrerend met andere eiwitbronnen voor bulktoepassingen. Mogelijk kan 'simpel' gedroogde eendenkroos wel als (groen) eiwitrijk product vermarkt worden. <p>Conclusie: geen significante bulk-potentie</p>	Co-productie van meerdere producten of combinatie met waterzuiveringsfuncties kan de business case voor eendenkroos economisch aantrekkelijker maken. Let op: om voedselveiligheid te beheersen is ook beheersing van het water noodzakelijk. Als afval behandeld water voldoet daar niet zomaar aan. Mest en digestaatinzet in kweek stuit op wettelijke barrières.
Zeewier	<p>De maximale productiecapaciteit van de Noordzee wordt geschat op 145 kton/j drooggewicht, met orde-grootte 20kton/j eiwit. Echter de noodzaak om eiwit te extraheren voor een voldoende hoog eiwitgehalte maakt het zowel voor veevoer als voeding duur.</p> <p>Omdat zeewier gemakkelijk (zware) metalen opneemt is het maximale aandeel in zowel voedsel als veevoer zeer beperkt.</p> <p>Mogelijk is het eiwit als goedkoper co-product van alginaatproductie te verkrijgen, maar Nederland heeft geen alginaat-industrie.</p> <p>Omdat zeewier gemakkelijk (zware) metalen opneemt is het maximale aandeel in zowel voedsel als veevoer zeer beperkt.</p> <p>Conclusie: geen significante bulk-potentie</p>	Zeewier heeft een veel lager gehalte dan eendenkroos, en daarom zijn alleen geëxtraheerde fracties interessant als eiwitproduct.

Microalgen	<p>Technisch gezien heel interessant voor visvoer en hoogwaardige (niche) toepassing. Echter, ook voor deze categorie is niet voorzien dat de eiwitten op korte tot middellange termijn concurrerend kunnen worden t.o.v. bulk-eiwitbronnen.</p>	<p>Co-productie van meerdere producten of combinatie met waterzuiveringsfuncties kan de business case economisch aantrekkelijker maken.</p> <p>Let op: om voedselveiligheid te beheersen is ook beheersing van het water noodzakelijk. Als afval behandeld water voldoet daar niet zomaar aan. Mest en digestaatinzet in kweek stuit op wettelijke barrières.</p>
Verhoging van mosselkweek	<p>Onderzoek laat zien dat mosselkweek in een natuurgebied goed is in te passen, en met positieve bijdrage aan ecosysteemdiensten kan leveren zonder de biodiversiteit te schaden.</p> <p>Bij 1/3 verhoging ten opzichte van de huidige teelt wordt 1 kton/j extra voedingseiwit geproduceerd. Dit kan 5 kton/j voedereiwit verdringen, equivalent aan 12,5kton/j sojaschroot (1%).</p>	<p>Eventuele wenselijkheid van meer kweek is een beleidskeuze.</p>
Oogsten van andere zeevruchten, zoals mesheften en zeesterren	<p>Geen kwantitatieve schattingen bekend, maar een vergelijkbare opbrengst als mosselteelt is denkbaar. Dat betekent 3 kton/j eiwit. Bij inzet voor veevoer vervangt dit 7,5 kton/j sojaschroot (0,5%)</p>	
Voedsel eiwitproducten uit fermentatie van eiwitrijke gewassen	<p>In fermentatie zetten micro-organismen (zoals schimmels) eiwit van een plantaardig materiaal (bijv. soja) om in beter opneembaar en/of aantrekkelijker eiwit; bij fermentatie blijft de totale hoeveelheid eiwit ongeveer constant (eiwit-efficiëntie 100%).</p> <p>Inzet voor <u>voeding</u> in plaats van veevoer betekent een winstfactor van 4 of hoger. De netto besparing is evenredig aan de toename van consumptie van deze vleesvervangers.</p>	<p>Gangbare techniek (bijvoorbeeld tempeh). Kan het eiwit beter opneembaar, en/of aantrekkelijker maken. Verhoogt het eiwitgehalte (door afbraak van andere componenten).</p>
Kweekvlees	<p>Dit concept kent nog een aantal uitdagingen (hoge kosten voor het kweekmedium, groot benodigd reactor-volume i.v.m. lange kweektijd, beheersing steriliteit, methode van kweken van producten met meerdere lagen cellen (transportfunctie van voedingsstoffen), vet, smaak en kleur en vorming van het uiteindelijke product).</p> <p>Voor komend decennium beperkte volumes voorzien, vooralsnog geen bulk.</p>	<p>Het principe is vergelijkbaar met bovengenoemde fermentatie; ook hier wordt een eiwitrijk kweekmedium gebruikt. Het gebruikte micro-organisme betreft dierlijke stamcellen.</p> <p>Begin 2022 wordt een specifiek rapport hierover opgeleverd door Wageningen Research.</p>
Eiwit voor voedsel uit reststromen van fermentatieprocessen	<p>Bijvoorbeeld biergist en bierbostel (500 kton/jaar in NL) bevat 35 kton/j eiwit, met potentie van 25 kton/j voedsleiwit.</p> <p>Door het eiwit niet meer als diervoeder maar als voedselproduct in te zetten kan – bij gelijk blijvende totale eiwitproductie voor voedsel – 100 kton/j voedereiwit (6%) worden vervangen, equivalent aan 250 kton/j sojaschroot (14%).</p>	<p>Gangbare conserveervorm voor veevoeding is (auto)verzuring. Dit is niet aantrekkelijk voor voeding; onduidelijk is nog in hoeverre conservering en andere processen de opneembaarheid van het eiwit beïnvloeden.</p>
Eiwit voor voedsel door fermentatie van suiker en zetmeel	<p>Biedt in theorie grote potentie doordat opbrengst van suiker- en zetmeelgewassen veel hoger dan eiwitgewassen is. Bijvoorbeeld suikerbieten leveren 17,5 ton suiker per hectare uit komt; dat is meer dan 10x zo hoog als de eiwitopbrengst van tarwe en vlinderbloemigen. Uitgaande van een omzettings-efficiëntie van suiker in eiwit rond 14% wordt de eiwitproductiviteit 1,5 tot 4 keer zo hoog als voor tarwe en vlinderbloemigen.</p> <p>Als 1% van het NL akkerbouwareaal (dus 5000ha) wordt ingezet voor deze productie kan 12,5kton/j voedsel-eiwit worden geproduceerd. Daarmee kan 62,5kton/j voedereiwit worden uitgespaard, equivalent aan 157,5kton/j sojaschroot (9%).</p>	<p>Gangbaar proces voor enkele bestaande vleesvervangers op basis van schimmels.</p>
Eiwit voor voedsel door fermentatie van suiker- of zetmeelrijke gewassen	<p>Vergelijkbaar met voorgaande maatregel: 62,5kton/j voedereiwit worden uitgespaard, equivalent aan 157,5kton/j sojaschroot (9%).</p>	<p>Technisch uitdagender dan fermentatie op basis van geëxtraheerd suiker of zetmeel, gedemonstreerd op pilot-schaal.</p>

Constatering en aanbevelingen

- Optimalisatie van veevoeding op systeemniveau kunnen anders uitvallen als de waarde van eiwit hoger wordt gewaardeerd (bijvoorbeeld verder finetunen van eiwitgehalte in veevoeder kan de gemiddelde benuttings-efficiëntie verbeteren). Het idee van gras-raffinage kan daaraan bijdragen.
- Vlinderbloemigen zijn vooral interessant voor voedseltoepassingen; daarnaast zijn ze ook interessant om landbouw te verduurzamen en biodiversiteit te verhogen waarbij eiwitproductie zoveel mogelijk op niveau gehouden wordt.
- Eiwitfermentaties zijn een belangrijk vehikel voor de eiwittransitie: ze kunnen plantaardige eiwitproducten aantrekkelijker en beter opneembaar maken.
- Eiwitproductie via fermentatie van koolhydraten is heel aantrekkelijk; land-productiviteit wordt daardoor verder opgehoogd t.o.v. eiwitgewassen zoals vlinderbloemigen. Directe fermentatie op koolhydraatrijke gewassen biedt kansen om duurzaamheid te verhogen en mogelijk om structuur en aantrekkelijkheid van producten op natuurlijke manier te verbeteren.
- Het verdient aanbevelingen om nader te onderzoeken of andere dan bovengenoemde gewasresten uit bijvoorbeeld de glastuinbouw geschikt te maken zijn voor feed-toepassingen.
- Eiwitproductie door algen, zeewier en eendenkroos is vooralsnog flink duurder dan gangbare eiwitgewassen wanneer de eiwitten geëxtraheerd moeten worden. Productiviteit van 'low-tech' systemen moet nog aanzienlijk worden verhoogd, en de belemmeringen voor inzet van mest en digestaat moeten ook weg worden genomen voordat deze teelten, ook bij opschaling, concurrerend kunnen worden tegen huidige eiwitprijzen in veevoeders. Voor voedseltoepassingen lijkt ook prijs nog een obstakel, en liggen speciality toepassingen meer binnen bereik.
- Eiwitproductie uit gewasresten zoals bietenblad biedt grote volume-potenties voor voeding. De financiële haalbaarheid van dit idee zal lijden onder de seizoensgebondenheid van dit materiaal. Door de fabriek ook geschikt te maken voor andere bladmaterialen (zoals eendenkroos) wordt de haalbaarheid verbeterd.
- Eiwitrijke residu-stromen uit biobased fermentaties (bio-ethanol en biochemicals productie) zijn interessant.
- Grootschalige productie van insecten-eiwit voor veevoer levert extra eiwit als stromen die nu niet zijn toegestaan voor veevoer ingezet mogen worden als insectenvoer. Huidige productie vindt plaats op stromen die nu veelal ook direct als veevoer ingezet kunnen en mogen worden. Deze inzet heeft een eiwit-efficiëntie <1 , maar is toch waardevol omdat het insecten-eiwit veelal aantrekkelijker en geconcentreerder is dan van het substraat.

Selectie van opties voor bulk eiwitproductie en andere waardecreatie

Verschillende "nieuwe, veelbelovende" eiwitbronnen zijn niet allemaal kansrijk als bulkeiwit; vele zijn kansrijk vanwege de kwaliteit van het eiwit, of zijn alleen kansrijk in combinatie met verandering van het voedingspatroon:

- Bulk-potentieel:
 - insecten voor voeding (issue bij kweek op veevoer: vergelijk efficiëntie met gangbare landbouwhuisdieren)
 - insecten voor veevoer (mits gevoerd met rest- of afvalstromen die niet worden benut als veevoer; issue: veiligheid)
 - eiwitwinning uit gewasresten zoals bietenloof; omwille van economische haalbaarheid te combineren met andere gewas(resten).
 - directe benutting van surplus/reststromen uit voedselketens: deels direct als diervoer inzetbaar; andere mogelijk via insecten.
 - vlees/beendermeel voor diervoeding.
 - exploitatie van 'andere zeevruchten'
 - benutting van eiwit uit slib van waterzuivering. Opties om deze te benutten (scheidingsprocessen, insecten, ...) verdienen aandacht omwille van het grote volume-potentieel, maar is nog heel uitdagend om deze veilig in het voedselsysteem toe te laten.
- Efficiëntie van eiwitomzetting in het huidige systeem verhogen: '*optimaal voeren*'.
 - hier past gras-raffinage ook bij: overmaat van eiwit in gras kan worden benut voor andere toepassing (direct naar voeding of voor bijvoorbeeld kippen of varkens)
- Efficiëntie-verhoging door verhoging aandeel plantaardig eiwit in voeding:
 - fermentatie (zowel op basis van eiwitgewassen als op basis van koolhydraten of koolhydraatgewassen)
 - vlinderbloemigen (hoogste efficiëntie als het volledige product, eventueel na fermentatie) wordt gebruikt voor voeding
 - reststromen uit voedselverwerking (plantaardige producten) opwaarderen van diervoer naar voedsel (zoals aardappelvruchtwater, bierbostel)
- Eiwitproductiviteit van grasland en akkerbouwland in stand houden bij vermindering van bemesting: mengteelt met vlinderbloemigen
- Kansrijke bronnen vanwege kwaliteit:
 - insecten voor visvoer
 - eiwit uit aquatische biomassa
 - kweekvlees

Het is niet aan de auteurs van dit rapport om beleidskeuzes te maken. Vele van bovengenoemde opties hebben namelijk ook economische en milieueffecten en/of vergen grote aanpassingen in sectoren en consumentengedrag.

1 Inleiding

De ontwikkeling van een uitvoeringsprogramma gekoppeld aan de nationale eiwitstrategie vergt kwantitatief inzicht in mogelijkheden van opties voor verhoging van Nederlandse eiwitbeschikbaarheid ten behoeve van voedsel en veevoerders, om daardoor afhankelijkheid van geïmporteerde soja te verminderen.

Veel 'nieuwe bronnen' worden als veelbelovend beschouwd voor verbetering van eiwitproductie. Met 'verbeteren' worden echter verschillende vormen bedoeld, zoals verhoging van voedingswaarde voor mens of dier, verbeteren van inzetbaarheid voor voeding of veevoer, ontwikkeling van een aantrekkelijk 'niche' product of verhoging van het bulk productiepotentieel. Voor veel opties is niet evident hoe groot de daadwerkelijke volume-potentie is, op welke termijn de ontwikkelingen opgeschaald kunnen zijn en welke technische ontwikkelstap en investeringen nog nodig zijn. Dit rapport geeft inzicht in die kwesties waardoor een realistisch perspectief op de mogelijkheden voor bulk productie ontstaat.

Als kansrijke opties worden beschouwd: (1) verbeteren, verhogen en diversificatie van agrarische productie van plantaardige eiwitbronnen; (2) nieuwe eiwitbronnen zoals algen, zeewier, zoetwaterplanten en insecten; en (3) circulaire aanpak voor eiwitten: effectiever gebruik biomassa rest- en nevenstromen voor (nieuwe) eiwitten.

Dit rapport geeft nader inzicht in deze opties. Veel ideeën worden als veelbelovend beschouwd voor verbetering van eiwitproductie. Echter, vaak is onduidelijk hoe groot de volume-potentie is, op welke termijn de ontwikkeling opgeschaald kan zijn en welke technische ontwikkelstap en investeringen nog nodig zijn. Volgende hoofdstukken geven een doorkijk met de nadruk op bulk-potentieel schattingen en enkele belemmeringen.

Dit onderzoek uitgevoerd is in opdracht van en gefinancierd door het Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit. Het onderzoek is onafhankelijk uitgevoerd, met gebruik van peer-reviewed literatuur en wetenschappelijke rapporten.

Het is niet aan de auteurs van dit rapport om beleidskeuzes te maken. Veel opties hebben namelijk ook economische en milieueffecten en/of vergen grote aanpassingen in sectoren en consumentengedrag; deze issues vallen buiten de scope van het onderzoek.

1.1 Achtergrond

De groeiende wereldbevolking, gecombineerd met factoren zoals veranderende socio-demografische situatie, resulteert in verhogen van druk op natuurlijke hulpbronnen, mede ten gevolge van veranderende consumptiepatronen. Vooral de toegenomen vraag naar dierlijke eiwitten resulteert in verhoogde milieu-impact (Tilman e.a., 2014), waaronder broeikasgasemissies, water- en landgebruik (Henchion e.a., 2017). Naast de toenemende vraag zijn er tegenbewegingen, vooral in de westerse wereld, zoals het toenemende bewustzijn van impact op milieu en gezondheid. Dit leidt tot groeiende interesse in en consumptie van vegetarische en veganistische producten.

Ook plantaardige eiwitbronnen zijn niet onomstreden. Bijvoorbeeld soja wordt geassocieerd met ontbossing en GMO. De mondiale groei in vraag naar soja (en de daarmee samenhangende ontbossing) is vooral aangedreven door vraag naar veevoer. Soja in vegetarische producten is veelal GMO-vrij.

Om de toenemende behoefte te kunnen invullen is behoefte aan "nieuwe" bronnen (inclusief toenemend aandeel van plantaardige eiwitten in voedsel) en verhoging van productiviteit, zowel voor diervoeders als voor voedsel.

In totaal gebruikt de Nederlandse veehouderij gemiddeld 1,8 miljoen ton soja(producten) per jaar, waarvan 494 kton voor varkens, 795 kton/j voor pluimvee, 439 kton/j voor rundvee en 32 kton/j voor overige diersoorten (Nevedi, 2021). Het overgrote deel van deze sojaproducten betreft sojaschroot/meel, met een gemiddeld eiwitgehalte ruim 40%. Dat betekent dat per jaar ruim 720 kton/j soja-eiwit wordt vervoederd.

Ter vergelijking: per jaar wordt in Nederland ongeveer 500 kton/j eiwit in voedsel geconsumeerd waarvan iets minder dan 60% dierlijk eiwit.

Bedenk dat er geen 1-op-1 verband is tussen de genoemde cijfers voor soja-eiwit in diervoer en de dierlijke eiwitconsumptie in Nederland: een aanzienlijk deel van de geproduceerde dierlijke eiwitproducten worden geëxporteerd, en andere componenten in het diervoer leveren ook aanzienlijke hoeveelheden voedereiwit.

1.2 Kansrijke nieuwe bronnen

Meest genoemde kansrijke bronnen zijn volgens de review van Henchion e.a. (2017):

- **Plantaardige eiwitbronnen**
Planten staan aan de basis van het productiesysteem en zijn daardoor de efficiëntste vorm van eiwitvoorziening. Met name peulvruchten worden als duurzaam beschouwd omdat ze zelf stikstof kunnen binden uit de lucht (hoewel bij intensieve teelt toch stikstofbemesting wordt toegepast). Veel plantaardig eiwitgewassen, waaronder staple crops als rijst, tarwe en mais, hebben geen optimaal aminozuursamenstelling voor humane voeding. Deze kan worden gecompenseerd door combinaties van plantaardige eiwitbronnen zoals peulvruchten met granen, noten en zaden.
- **Algen**
Algen worden apart genoemd, ondanks dat ze onder planten vallen, omdat het een nieuwe productgroep is (een brede groep producten, variërend van macro-producten zoals zeewieren tot micro-algen). Ze worden gezien als veelbelovende nieuwe bron omdat wereldwijd gigantische hoeveelheden niet worden benut voor menselijke toepassing. Naast vangst/oogst op zee biedt ook teelt mogelijkheden, waarbij nutriëntrijke reststromen benut kunnen worden. Er is ervaring met diervoeder- en voedseltoepassing (met name in Azië), maar de kostprijs belemmert vooralsnog een grote doorbraak.
- **Insecten**
Insecten zijn onderdeel van traditionele diëten voor meer dan 2 miljard mensen (Van Huis e.a., 2013), maar hebben geen grote rol in de westerse consumptie. Insecten bieden voordelen als ze worden geteeld op reststromen die niet voor gangbare productiedieren worden ingezet. Daarnaast wordt gesteld dat een groter deel van het lichaamsgewicht van insecten bestaat uit eetbaar eiwit, maar daar staat tegenover dat de voedingswaarde (de mate waarop de aminozuursamenstelling aansluit bij de menselijke behoefte) vaak lager is.
- **Vis, schaal- en schelpdieren**
Voor zowel vangst als teelt worden nog kansen gezien (hoewel voor veel gangbare gevangen vissoorten de grenzen bereikt lijken).
- **Kweekvlees (andere benaming: in-vitrovlees) en andere fermentatieprocessen.**
Kweekvlees wordt met behulp van dierlijk weefsel (stamcellen) op lab-schaal geproduceerd in petrischalen; bij (beoogde) opgeschaalde systemen wordt de benaming bioreactoren genoemd, een ander woord voor een fermentatieprocessen. Andere fermentatieprocessen maken gebruik van gisten, schimmels, bacteriën. Deze processen worden gevoed met een specifiek substraat (variërend van eiwitrijk tot koolhydraatrijk met een toegevoegde stikstofbron zoals ammoniak of ureum).

Naast 'nieuwe bronnen' zien we ook het verder verbeteren van de effectiviteit van gangbare productievormen als kansrijk: effectievere productie (verhoging van eiwitproductiviteit van gewassen, betere benutting van de eiwitten uit gewassen inclusief nevenstromen) en het verminderen van ineffectiviteit (verminderen van verliezen; stromen die nu als afval worden beschouwd alsnog benutten).

Analyses van Blonk (2017) bevestigen dat een duurzamer dieet een groter aandeel van bovengenoemde 'andere bronnen' zal bevatten. Hoewel verduurzaming van het dieet in de eerste plaats gerealiseerd kan worden door vermindering van vleesconsumptie, vooral rundvlees, (Kramer e.a., 2019), beargumenteren Van Zanten e.a. (2016) dat bepaalde veehouderijsystemen menselijk verteerbare eiwitten efficiënter kunnen produceren dan gewassen en dat veeteeltsystemen daarom ook een rol spelen in duurzame voedselvoorziening en bijdragen aan de voedselzekerheid.

1.3 Inleiding in het rapport

In dit rapport worden bulk volume-potenties van de opties kwantitatief ingeschat op basis van typische rendement-schattingen (volgens recente literatuur) en beschikbaarheid van biomassa-bronnen en productiemiddelen in Nederland (afgeleid van literatuur en percentages van landbouwarealen in Nederland). Deze worden in de volgende hoofdstukken in drie categorieën behandeld:

1. Verhoging van eiwitproductie en -benutting in de landbouw,
2. Benutting van nevenstromen en stromen die nu als afval worden verwerkt,
3. Aquatische biomassa,
4. Nieuwe bronnen, niet-grondgebonden: fermentatie en insecten.

De resultaten beschrijven primair de potentie om afhankelijkheid van eiwitimport te beperken met instandhouding van totale eiwitproductie (dierlijk + plantaardig) in Nederland. Hier en daar worden ook duurzaamheidseffecten genoemd, maar die opsomming is niet compleet. De auteurs zijn zich ook bewust dat verschillende richtingen ook maatschappelijke aanpassingen vragen, maar ook die kwesties vallen buiten de scope van deze kwantitatieve studie.

Verschillende beschouwde maatregelen betreffen plantaardige eiwitten voor voeding. Deze beïnvloeden indirect de behoefte aan eiwit voor diervoer, doordat ze de behoefte aan dierlijke eiwitten verminderen.

Schatting van effecten van vervanging van dierlijke eiwitten door plantaardige eiwitten

Als consumptie verschuift van dierlijke eiwitten naar plantaardige eiwitten, kan de stap van dierlijke productie (met eiwit-efficiëntie < 1) worden overgeslagen. De totale efficiëntieverbetering wordt bepaald door:

- *Eiwit-efficiëntie van landbouwhuisdieren* (daarmee bedoelen we de verhouding tussen de consumeerbare hoeveelheid eiwit en opgenomen hoeveelheid voedereiwit): deze zetten eiwitten uit voeders met een variërende efficiëntie om in eetbare dierlijke eiwitten. Deze efficiëntie varieert tussen diersoorten, veevoedersamenstelling, veehouderijmanagement en producten, tussen 5 en 25%.
- De verschillende *nutritionele waarden* van de eiwitten (uitgedrukt in o.a. PDCAAS, DIAAS). Plantaardige eiwitbronnen hebben vaak een minder gunstige aminozuursamenstelling en zijn minder goed opneembaar dan dierlijke eiwitten.

In dit rapport schatten we het gemiddelde gecombineerd effect als volgt in: 1 kg plantaardig voedseleiwit verdringt 5kg veevoeder-eiwit.

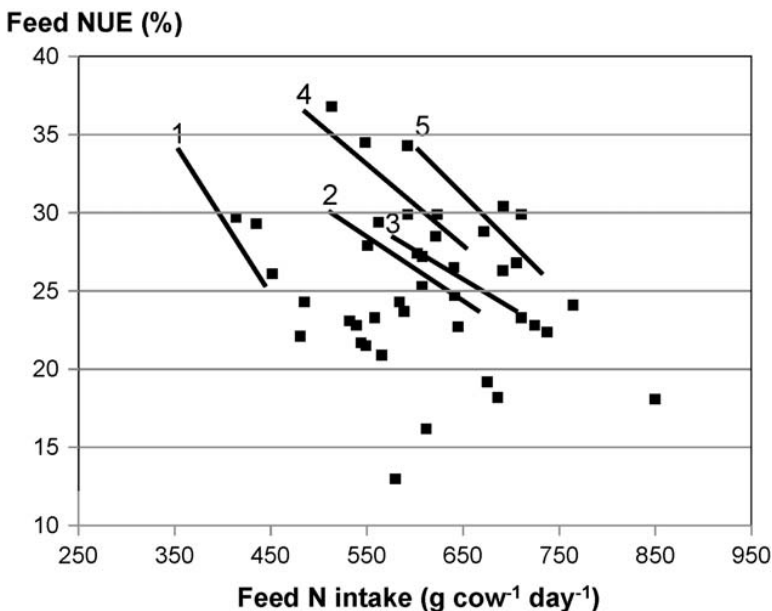
2 Verhoging van eiwitproductie en -benutting in de landbouw

Door maatregelen in plantaardige productie (inclusief gras) en verwerking is het mogelijk eiwitproductie te verhogen of de eiwitten effectiever te benutten. Hieronder worden de volgende opties uitgewerkt:

- effectievere benutting van eiwitten uit gras
- teelt van vlinderbloemigen
- verhoging van eiwit-opbrengt van gras en andere gewassen door combinatie met eiwitgewassen

2.1 Effectiever voeren

De efficiëntie waarmee vee voeder-eiwit omzet in voedsel-eiwit hangt af van diverse factoren. Eiwit dat niet wordt omgezet in het voedselproduct wordt op andere wijze uitgestoten (dit vormt ook de basis voor in 2020 beoogde normering ruw eiwit voor diervoeders¹). Dit wordt bevestigd in de wetenschappelijke literatuur, zoals weergegeven in Figuur 1 (uit Powell e.a., 2010) en bevestigd door o.a. Colmenero e.a. (2006) ("16.5% CP was sufficient for maximizing production of milk and protein").



Figuur 1 Relatie tussen stikstof (N) inname en stikstofbenutting (NUE, vergelijkbaar met eiwit efficiëntie) van Holstein koeien die worden gevoerd met diverse granen en alfalfa. De lijnen beschrijven resultaten van afzonderlijke studies; de punten geven resultaten van afzonderlijke bedrijven weer. In de studies achter de 5 lijnen was het RE-gehalte van het voer gekoppeld aan de Feed N intake. Bron: Powell e.a. (2010).

¹ Conceptregeling van de Minister van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit van, nr. WJZ/ 19259112 , tot wijziging van de Regeling diervoeders 2012 en de Regeling handhaving en overige zaken Wet dieren vanwege het tijdelijk stellen van regels over ruw eiwit in diervoeders

2.1.1 Analyse van de potentie

De bijlage van de *concept Regeling tot wijziging van de Regeling diervoeders 2012* claimt dat een melkkoe kan volstaan met 155 gram eiwit per kilogram droge stof terwijl het huidige niveau landelijk gezien op ongeveer 165 gram ligt (onderbouwd door De Haan e.a., 2020). Dat betekent een overmaat van ongeveer 6,5%. Bij een geschat eiwitverbruik van 2,2 miljoen ton door melkvee (afgeleid van totale melkproductie volgens CBS en eiwit-efficiëntie van melkvee volgens Sebek e.a. (2009)) betekent dit een overmaat van ongeveer 145.000 ton.

In de studies die zijn weergegeven in Figuur 1 blijkt dat rond deze gehalten het verhogen van het ruw eiwitgehalte in voer niet tot significant hogere eiwitproductie leiden. Dus de genoemde overmaat kan worden uitgespaard zonder significant effect op de eiwitproductie in melk.

Concluderend:

- eiwitverbruik in voer (bij bovengenoemde niveau van eiwitgehalte in voer) kan met 6,5% worden verlaagd (145.000 ton eiwit per jaar voor het totale verbruik in rundvee in Nederland, equivalent aan 320.000 sojaschroot).
- of als het eiwitrijke product wordt aangelengd met eiwitarm voerproduct kan de totale eiwitproductie in melk kan met 6% worden verhoogd.

2.1.2 Overwegingen haalbaarheid in huidige situatie

Dit onderwerp is politiek beladen in de 'stikstof-discussie'. In die discussie gaat het om een 'externaliteit' (namelijk uitstoot van stikstof), terwijl bovenstaande in direct belang voor de veehouder is. Dit idee is (grotendeels met huidige techniek) praktisch mogelijk.

2.2 Effectievere benutting van eiwitten uit gras door raffinage

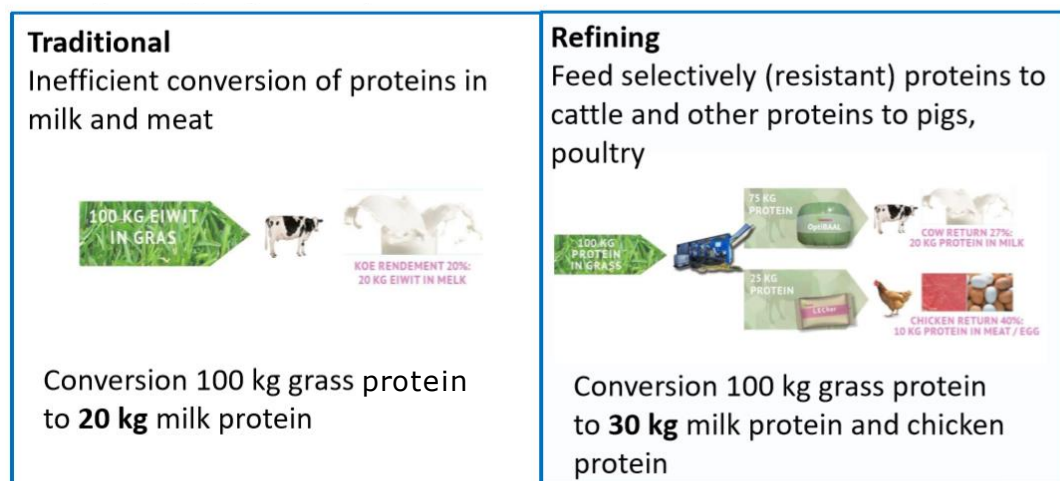
Hierbij gaat het om de efficiëntie van gras-eiwit naar voedsel-eiwit.

Doordat runderen in hun complexe maagstelsel het voer fermenteren kunnen ze zelfs moeilijk ontsluitbaar materiaal als gras benutten. Eenmagigen zoals varkens of kippen kunnen dat materiaal niet of heel beperkt ontsluiten.

Gras bevat, net als alle andere planten, eiwitten in verschillende verschijningsvorm. Het moeilijk ontsluitbare eiwit zit onder andere in de celwand, dit eiwit is niet of slecht opneembaar door eenmagigen. Echter, de celinhoud bevat ook een aanzienlijk deel van het eiwit (rond 50%); dit is – na extractie – wel opneembaar door eenmagigen. Bovendien heeft dat deel een gunstige aminozuursamenstelling voor eenmagigen (hetgeen voor runderen minder relevant is). Door dit extraheerbare deel aan eenmagigen te voeren (met een hoger eiwitrendement dan runderen) en het resistente deel aan runderen wordt het totale eiwitrendement van dierlijke productie verhoogd (volgens Figuur 2 met 50%). Met andere woorden: per hectare wordt de dierlijke eiwitproductie met 50% verhoogd.

De melkkoe heeft een eiwit-rendement (daarmee doelen we op de hoeveelheid geproduceerd voedsel-eiwit per eenheid voer-eiwit) rond 20 tot 25% (Aarts e.a., 2010; Oenema e.a., 2012). Ter vergelijking: voor 94 veevoedergrondstoffen die zowel inzetbaar zijn voor koeien, varkens en kippen is de gemiddelde eiwit-efficiëntie in varkensvoer volgens de CVB Voederwaardetabel (CVB, 2021) ongeveer 30%; dat betekent dat een kg voedereiwit leidt tot 0,3kg eiwitaanzet in het dier. Ook voor vleeskippen liggen eiwit-efficiënties aanzienlijk boven die voor melkkoeien.

Naast toepassing in varkensvoer wordt momenteel ook gekeken naar toepassing van het extraheerbare eiwit in humane voeding. De efficiëntiewinst wordt dan nog hoger doordat de inefficiëntie van het dier wordt overgeslagen: totaal 45kg voedsleiwit per 100kg graseiwit, een winst van 125%.



Figuur 2 Factsheet theoretisch rendement grasraffinage Grassa (https://forbio-project.eu/assets/content/event/11/7_FORBIO_info_day_Grassa_AC.pdf).

2.2.1 Analyse potentie

- De totale zuivelproductie in Nederland lag in 2019 op 13,8 miljoen ton melk, met een eiwitgehalte van 3.58% (CBS²): 494 kton/j eiwit.
- Als 1% van de totale grasproductie in Nederland via het Grassa principe wordt verwerkt, kan, uitgaande van de geclaimde efficiënties van Figuur 2:
 - bij toepassing van de geëxtraheerde eiwitfractie als pluimveevoer: 2,5 kton/j extra eiwit productie.
 - bij toepassing van de geëxtraheerde eiwitfractie in voeding: 6 kton/j extra voedseleiwit productie
 - of kan bij gelijk blijvende eiwitproductie de eiwitbehoefte met $2,47/0,4 = 6,2$ kton/j eiwit voor voer worden uitgespaard. (onderliggende heuristiek: per kg eiwit in kippenvoer wordt ongeveer 0,4kg eiwit in pluimveevlees of ei geproduceerd). Daarmee zou 15kton/j soja schroot vervangen.

Kanttekeningen:

1. In uitingen van initiatiefnemers wordt op basis van een beperkte proef geconcludeerd dat de koe op basis van de vezelfractie van grasraffinage de eiwit efficiënter omzet dan op basis van gras. Deze claim is gebaseerd op een beperkte set metingen waarvoor de auteurs van dit rapport geen onderbouwing hebben gevonden.
 Zoals ook blijkt in voorgaande paragraaf kan dit te maken hebben met de overmaat van eiwit in het rantsoen; enige reductie van eiwitgehalte in het ruwvoer is mogelijk zonder vermindering van melkeiwitproductie. Met andere woorden: grasraffinage kan bijdragen om – bij gelijk blijvende toediening van andere voeders – het eiwitgehalte in het voer te verlagen tot het opneembare gehalte (hierboven is 15,5% genoemd).
2. De relatieve hoge rendement voor eenmagigen betreft de omzetting van voedereiwit in levend gewicht. De omzetting naar voedsel-eiwit is echter aanzienlijk lager met het oog op het beperkte slachrendement: geschat op 34% (Bertol e.a., 2015) tot 50%³ (het verschil tussen deze cijfers zal samenhangen met het al dan niet meerekenen van de benutting van slachtbijproducten). Waarschijnlijk is het percentage eiwit dat in voeding eindigt hoger dan het genoemde slachrendement (denk aan het hoge watergehalte van bloed en niet-stikstofcomponenten in beenderen), daarom schatten wij het eiwitrendement van slacht hoger dan 50%. Bij gebrek aan een goede (literatuur-)bron schatten we dit op 75%.
 Als we corrigeren voor deze beperkte eetbare fractie wordt de bovengenoemde potentie bij inzet als pluimveevoer van 2,5 kton/j verlaagd naar 1,9 kton/j extra eiwitproductie.

² <https://opendata.cbs.nl/statline/#/CBS/nl/dataset/7425ZUIV/table?fromstatweb>

³ <https://livestock.extension.wisc.edu/articles/how-much-meat-should-a-hog-yield/>

2.2.2 Overwegingen lead time

- De technologie is op pilot schaal beschikbaar.
- De business case voor grootschalige economisch rendabele exploitatie is moeilijk door de lage prijs van eiwit-import
- Business case wordt interessanter als gecombineerd kan worden met verwerking producten richting voedsel; coöperaties zijn hiermee bezig (daarna volgt nog wel een aanvraag bij EFSA om toegelaten te worden als voedsel).

2.2.3 Overwegingen haalbaarheid in huidige situatie

- Bovengenoemde rendement-winst gaat uit van theoretische potentie; om dit te bereiken vergt een keten die ook bijvoorbeeld op piekmomenten alle aangeboden gras kan verwerken.
- De business case is momenteel moeilijk rendabel te krijgen vanwege de import van goedkope eiwitten (zoals soja).
- De Grassa keten is gericht op veevoeder; niet food-grade. Gras-eiwit in voeding een langdurig novel-food traject vergen.

2.3 Vlinderbloemigen

Een populair eiwitgewas zoals soja is (met de huidige rassen) niet zo goed bestand tegen het Nederlandse klimaat, en wordt daarom geteeld met relatief lage opbrengsten (in vergelijking met gangbare herkomstgebieden). Toch is teelt van vlinderbloemigen (inclusief soja) in Europa momenteel interessant, vooral voor voedingstoepassingen, omdat ze hier gegarandeerd GMO-vrij en zonder ontbossing geproduceerd kunnen worden.

Voor veevoeder zijn andere vlinderbloemige gewassen dan ondergenoemde, zoals veldbonen, bruine/witte bonen, luzerne, lupine en tuinbonen mogelijk interessanter.

2.3.1 Analyse potentie

Typische schattingen van opbrengsten worden gepresenteerd in Tabel 2.

Tabel 2 Arealen teelt (hectare, bron: CBS) en typische opbrengst (ton/ha) vlinderbloemigen in Nederland (hectare) Bron: CBS.

gewas \ periode	2000	2005	2010	2018	2019	2020	typische drogestof opbrengst (ton/ha)	typische eiwit-opbrengst (ton/ha)
<i>Akkerbouwgroenten, groen te oogsten</i>								
Erwten	5864	5091	3434	3104	3823	3304	3,5	0,9
Sperziebonen	3626	4254	2753	2578	2756	2889	2	0,3
Tuinbonen	694	790	1144	932	995	888	5	1,5
Sojabonen	0	3	0	541	476	132	2,5	1,0
<i>Peulvruchten, droog te oogsten</i>								
Bruine bonen	1126	1099	2006	1036	1413	2127	2,5	0,5
Kapucijners en grauwe erwten	388	396	457	511	338	314	3	0,8
Lupinen	.	14	48	56	58	100	3	1,2
Tuinbonen/veldbonen	679	441	563	1044	1390	1422	5	1,5
Voedererwten	752	1925	493	257	313	277	1 ⁴	0,2

⁴ Voedererwten worden amper in monotelt geproduceerd; genoemde opbrengst is onderdeel van mengteelt.

Toepassing van genoemde producten varieert: voedsel en veevoer (soms beperkt tot de boon/vrucht, soms de complete plant). Producten die nu alleen als veevoer worden gebruikt (zoals veldbonen) zijn ook op te waarderen tot voedselproduct of -ingrediënt⁵.

Voor een inschatting van het potentieel van vlinderbloemigen voor verhoging van de inlandse eiwitproductie is een vergelijking met gangbare gewassen op z'n plaats:

- **zomertarwe:** typisch opbrengst ligt rond 7 ton per hectare per jaar, met een eiwitgehalte van 12,5% (as-is-basis), dus opbrengst van $7000 \times 0,125 = 875$ kg eiwit per hectare.
- **aardappel:** levert rond 600kg eiwitten per hectare per jaar, maar de relatief lage eiwitopbrengst wordt gecompenseerd door een heel hoge opbrengst van zetmeel.
- **grasland:** Grasland levert jaarlijks rond 11 ton droge stof per hectare per jaar⁶, met rond 18 à 19% eiwit, dus ongeveer 2000 kg eiwit per hectare per jaar.

Concluderend: Uit de vergelijking van de (eiwit)opbrengsten concluderen we dat de vlinderbloemigen niet als grote kans worden gezien voor verhoging van de eiwitproductie voor veevoer in Nederland. Met het oog op het hoge eiwitgehalte kunnen ze wel geïmporteerde eiwitproducten (zoals soja) voor kracht/mengvoer vervangen (ten koste van andere teelt). Mengteelten (zie paragraaf 2.5) liggen dan meer voor de hand. Voor directe voedseltoepassing biedt de groep wel kansen omdat daarmee de (kwantitatief gezien) inefficiënte eiwitbenutting via dieren (15 tot 25%) wordt overgeslagen.

2.3.2 Overwegingen haalbaarheid en bottlenecks voor ontwikkeling van deze optie

Overwegingen

- Vlinderbloemigen vergen vruchtwisseling (net als de meeste andere gewassen).
- Andere genoemde gewassen dan gras kunnen ook rechtstreeks gebruikt worden voor productie van voedsel (zowel onbewerkt als extracten)
- Referentiegewassen zoals tarwe leveren naast de eiwit ook hoge volumes andere hoogwaardige macronutriënten zoals zetmeel.
- Aminozuursamenstelling is voor veel peulvruchten aanzienlijk minder gunstig dan voor dierlijke eiwitten vanwege een relatief laag gehalte aan methionine (terzijde: dit geldt niet voor verschillende geëxtraheerde fracties die in voedsel worden gebruikt, zoals soja eiwitisolaat, maar dat is voor diervoeder niet relevant).
- Vlinderbloemigen bevatten anti-nutritionele componenten (die overigens door verhitting wel gedeactiveerd kunnen worden).
- Eiwitgewassen zijn de afgelopen decennia niet veredeld op eiwitopbrengst; dit betekent dat voor deze gewassen de eiwitopbrengst nog kan worden verhoogd.
- Vlinderbloemigen hebben als unieke eigenschap dat ze via symbiose met een bodembacterie (*Rhizobium*) stikstof uit de lucht kunnen binden. Dat betekent dat ze in principe zonder of met veel minder (kunst)mest geteeld kunnen worden. Dat is in veel ontwikkelende landen ook het geval (met lage opbrengsten). In de intensieve productie in Nederland wordt echter wel vaak bemest omdat daardoor de opbrengst aanzienlijk wordt verhoogd.

⁵ zie bijvoorbeeld <https://www.katjagruijters.nl/projecten/de-veldboon-als-toekomstige-vleesvervanger/>

⁶ Handboek Melkveehouderij hoofdstuk 3; <https://www.wur.nl/nl/nieuws/Meer-en-grotere-verschillen-in-gewasopbrengst-in-2019.htm>

Bottlenecks

- Tot dusver zijn veredelingsinspanningen heel beperkt geweest voor veel peulvruchtensoorten, dus het potentieel van deze gewassen wordt nog niet volledig gebruikt.
- Vlinderbloemigen hebben relatief hoge gehalten anti-nutritionele factoren die de opneembaarheid bemoeilijken.
- De opbrengst is variabel en dat komt voor een groot deel door de gevoeligheid voor ziektes en vraat.
- Productiviteit moet beter beheerst/voorspelbaar worden om een homogene en kwalitatief goede zaden te garanderen.
- Verwijdering van onaangename smaken en anti-nutritionele verbindingen door middel van veredeling zou het gebruik van deze gewassen voor verschillende voedseltoepassingen verbeteren. Dit kost echter 10-20 jaar.
- Bewaarbaarheid is een knelpunt dat bij sommige peulvruchten gewassen moet worden aangepakt.

2.3.3 Overwegingen lead time

Om de opbrengsten te verhogen zijn veredelingsprogramma's nodig. Deze vergen een lange ontwikkelingstijd (10-20 jaar); benodigde ontwikkelingen:

- Aanpassing van een gewas voor Europese condities
- Weerbaarheid tegen plagen en ziekten
- Verhoging van aandeel eiwit in gewas
- Verbetering van resistentie tegen fysische invloeden inclusief effecten van klimaatverandering.

2.4 Combinatieteelt met gras

Als geen kunstmest wordt gebruikt, zoals in biologische teelt, kunnen combinaties met klaver, vlinderbloemige en andere eiwitgewassen helpen om stikstof te binden in het gewas. Daarmee wordt voor biologisch grasland een verhoging van de stikstofbinding (in de vorm van eiwitten) gerealiseerd. In verschillende studies blijkt in vergelijking tussen puur gras en verschillende grascombinaties de drogestof-opbrengst vergelijkbaar; de eiwitopbrengst per hectare komt echter rond 1/3 hoger uit⁷. Het eiwitgewas wordt gecombineerd met gras begraasd/geoogst.

In gangbare teelt, bij toepassing van voldoende kunstmest, is stikstofbeschikbaarheid niet meer limiterend; dan wordt bij vervanging van gras door mengsels geen meer-opbrengst voor stikstof verwacht. Mogelijk treedt zelfs een omgekeerd effect op: sommige vlinderbloemige gewassen bevatten anti-nutritionele componenten die de opname van de eiwitten door het dier verslechteren. Anderzijds kan de optie bij verlaging van de bemesting helpen om de eiwitopbrengst zo veel mogelijk instant te houden.

2.4.1 Analyse potentie

Grasland levert jaarlijks rond 11 ton droge stof per hectare⁸, met rond 18 à 19% eiwit, dus ongeveer 2,0 ton eiwit per hectare per jaar. Voor biologische landbouw wordt de eiwit-opbrengst rond 20% lager geschat⁹, dus ongeveer 1,6 ton eiwit per hectare. Daarbij wordt in de biologische landbouw al veelal gebruik gemaakt van gras-klaver mengsels; dat betekent dat de bovengenoemde 1/3 winst daar al in is meegerekend. Voor gangbare landbouw biedt de optie ruimte om eiwitopbrengst op niveau te houden bij eventuele verminderde bemesting.

Netto verbeterruimte wordt daarom als nihil ingeschat.

⁷ zie bijvoorbeeld <http://www.lcvvzw.be/wp-content/uploads/2005/06/Brochure-mogelijkheden-klaver-en-luzerne-2005.pdf> tabel 2 en <https://edepot.wur.nl/2179> tabel 3

⁸ Handboek Melkveehouderij hoofdstuk 3; <https://www.wur.nl/nl/nieuws/Meer-en-grotere-verschillen-in-gewasopbrengst-in-2019.htm>

⁹ <https://www.melkvee100plus.nl/Artikelen/Binnenland/2017/11/Voederwinning-grootste-uitdaging-207301E/>

2.4.2 Overwegingen lead time

Gebruik van menggewassen is vooral in de biologische sector gangbaar; er zijn geen cijfers voorhanden hoe gangbaar.

2.5 Combinatieteelten gewassen met vlinderbloemigen

Net als bij gras is ook voor andere gewassen symbiotische winst door combinatie van een referentiegewas (vaak een graan) met vlinderbloemigen mogelijk:

- symbiose tussen gewassen, verhoging van totale eiwitopbrengst (t.o.v. monoteelt graan) en benutting van meststoffen;
- aantrekken van natuurlijke bestrijders kunnen ook nuttig zijn voor 'het andere' gewas;
- natuurlijke manier om verspreiding van schimmels, groei van onkruid en andere plagen te beperken;
- draagt bij aan biodiversiteit en bodemkwaliteit.

Dit leidt ertoe dat de totale opbrengst van een mengteelt gemiddeld hoger uitvalt dan die van monoteelt peulvruchten. Net als bij gras-combinaties is dit concept vooral populair in de biologische sector omdat (a) in deze sector grote behoefte is aan biologische eiwitrijke voeders, het liefst van regionale bron; monoteelt van vlinderbloemigen ondervindt veel hinder van genoemde plagen, (b) omdat natuurlijke preventie van plagen voor deze sector groter is dan in de gangbare productie, en (c) meststoffen schaars zijn voor deze sector. Prins (2007) beschrijft biologische landbouw voorbeelden waarin combinaties van een graan met een vlinderbloemige het niveau van de opbrengst van monoteelt graan bereikt (en ten gevolge van het hogere eiwitgehalte in vlinderbloemigen een verhoogde totale eiwitopbrengst). De review van Li e.a. (2020) bevestigt op basis van resultaten van diverse studies dat combinatieteelt resulteert in 10 tot 30% hogere land-use-efficiency (dus: mengteelt levert een hogere land-productiviteit dan gescheiden teelt van de gewassen) en effectievere benutting van meststoffen.

Ervaring in Nederland is sinds enkele jaren aanwezig, maar het aantal succesvolle proeven is nog beperkt.

Door producten van combinatieteelt te gecombineerd te verwerken tot voedsel ingrediënt ontstaat een product met verhoogd eiwitgehalte t.o.v. het referentieproduct. Daarbij kan worden gedacht aan combinatie tarwe-veldboon dat een verhoogd eiwitgehalte heeft ten opzichte van tarwe (Osman e.a., 2007). Door verschillenden wordt geclaimd dat dit verhoogde eiwitgehalte ook leidt tot verbeterde bakkwaliteit. Deze claim wordt wel toegerekend aan Osman e.a. (2007), die een positieve relatie tussen eiwitgehalte en bakkwaliteit vonden. Echter hun proeven bleven beperkt tot tarwemeel; de effecten van inmenging van veldboon op bakkwaliteit is niet door hen getest. De auteurs van dit rapport hebben ook geen andere wetenschappelijke onderbouwing gevonden voor de claim t.a.v. bakkwaliteit.

Bottlenecks:

- het vinden van geschikte gewas- en ras-combinaties is een uitdaging: ze moeten synchroon afrijpen, gelijke korrelgrootte (voor minimalisatie van korrelbreuk bij dorsen), gelijke gewas hoogte is wenselijk;
- hoewel wordt gesteld dat druk van ziekten en plagen minder wordt door mengteelt, ontstaat wel een nieuw probleem: leguminosen zijn gevoelig voor voetziekten die ook bij mengteelt bestreden moet worden; gevoeligheid voor voetziekten levert beperkingen in het aantal vlinderbloemigen dat in de rotatie opgenomen kan worden;
- zaadbeschikbaarheid/ras-selectie vlinderbloemige;
- voor voedseltoepassing kan het scheiden van de producten een meerwaarde opleveren, scheiden is technisch mogelijk maar kost geld. Welke mogelijkheden zijn er als gemengde afzet?
- financiële meerwaarde nog niet helder;
- hogere zaadkosten, gebruik van herbiciden is vaak niet mogelijk;
- risico van legering (omver waaien/bezakken onder boongewicht) van gewas moet beter worden onderzocht;
- ecologische waarde moet beter worden onderzocht;
- nog weinig interesse vanuit kweekbedrijven (die vooral voor en in monocultuur veredelen)
- moeilijk te concurreren met goedkope eiwit grondstoffen uit buitenland in een vrije wereldmarkt (Blairhouse-akkoord).

2.5.1 Analyse potenties

Mengteelt van gewassen biedt mogelijkheden voor biologische landbouw (mogelijkheid om eiwitproductie te verhogen met orde-grootte 10% t.o.v. monoteelt graan) en gangbare landbouw (bij verduurzamen van landbouw de opbrengst op niveau van te houden); de verwachte meeropbrengst van eiwit t.o.v. gangbare landbouw is gering.

2.6 Benutting gewasresten

Hierbij gaat het om relatief eiwitrijke plantenresten uit glastuinbouw, akkerbouw (bietenblad, aardappelloof) en champignonenteelt.

In de glastuinbouw wordt ongeveer 300 kton/j plantenresten per jaar gegenereerd (snoeiafval + plantenresten aan eind teeltseizoen). Dit product is niet inzetbaar als diervoeder, maar biedt mogelijkheden voor insecten (zie paragraaf 5.2).

In de akkerbouw wordt een aanzienlijke hoeveelheid gewasresten op het land achtergelaten. Ondergrondse biomassa (wortels van planten) en stengelresten hebben een relatief hoog lignine-vezelgehalte en leveren daarom resistente organische stof voor de bodem. Blad-loof bevat in de regel minder resistente organische stof maar bevat nog aanzienlijke hoeveelheden eiwit die in principe bruikbaar is.

Het bekendste voorbeeld betreft bietenloof. Green Protein, gelinkt aan Suiker Unie, stelt dat van elke hectare bietengewas 20 tot 30 ton bietenblad geoogst kan worden. Daaruit kan 180 à 280 kg hoogwaardig eiwit (RuBisCo) worden gehaald¹⁰. Uitgaande van 20 ton blad per hectare, en een totaal bieten-areaal van 80 duizend hectare in Nederland wordt de theoretische eiwitpotentie geschat op 15 kton/j eiwit. Dit eiwit is van hoge kwaliteit en kan daarom in voedsel dierlijk eiwit vervangen (Wageningen World, 2020).

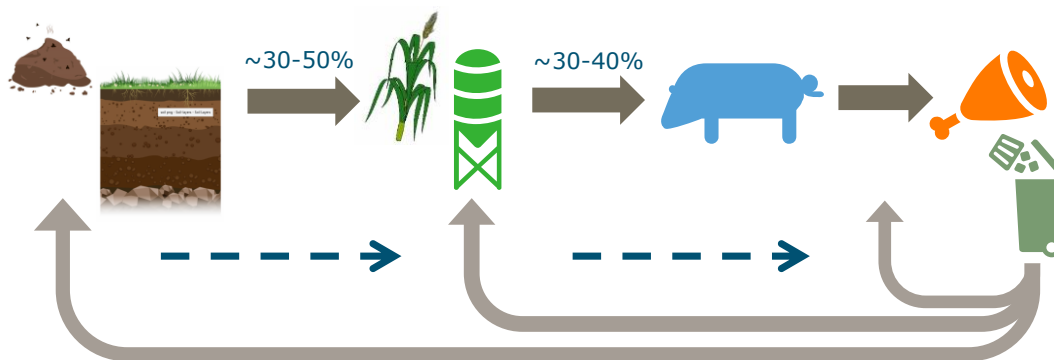
Champignonvoetjes (het samenhangende deel van champignons dat na oogst achterblijft in de zode) zijn in principe eetbaar, maar worden momenteel niet (of heel beperkt) voor veevoer omdat in champignonenteelt grondontsmetting en over het algemeen relatief veel gewasbescherming worden toegepast (GMPplus, 2021).

¹⁰ <https://www.cosunbeetcompany.nl/nieuws/suiker-unie-gaat-eiwit-uit-blad-produceren/51>

3 Eiwitpotentie door benutting van nevenstromen en afval in voedselketens

Een aanzienlijk deel van de nevenstromen uit voedselketens wordt al benut, veelal als veevoeder. Denk hierbij aan schroot en andere nevenstromen die worden gegenereerd bij extractie van olie uit oliezaden, bietenpulp, diverse reststromen van fritesindustrie, bierbostel, aardappelvezels, etc. Daarnaast zijn er echter nog vele eiwithoudende stromen die nu als afval worden behandeld of waarvan het eiwit lager wordt verwaard dan mogelijk. Deze zijn mogelijkwerwijs òf rechtstreeks in te zetten als diervoeder òf indirect via bewerkingen (bijvoorbeeld door scheidingsprocessen of insecten). Een mogelijk voordeel van insecten is dat ze een extra barrière kunnen vormen voor o.a. dierziektes, maar dit gaat dan ten kosten van een stuk rendement.

Stromen die nu nog als afval worden afgezet, worden veelal gecomposteerd (optioneel wordt voorafgaand aan het composteringsproces nog wat biogas t.b.v. bioenergie productie gewonnen) of verbrand (waarbij tegen een relatief laag rendement energie wordt geproduceerd). Echter, door een kortere cyclus te kiezen – inzet als veevoer in plaats van her-benutting in de bodem – wordt een aanzienlijke efficiëntieverbetering gerealiseerd (Figuur 3).



Figuur 3 Inzet van rest/afvalstromen als diervoeder leidt tot een efficiëntere benutting van stikstof (eiwit): kleinere kringloop met minder inefficiënties (naast dat ook minder land nodig is).

In de volgende paragrafen worden opties uitgewerkt voor hoogwaardiger benutting van huidige veevoeder bijproducten naar voedsel en voorbenutting van afvalstromen verder uitgewerkt.

3.1 Eiwit nevenstromen uit voedingsindustrie inzetten voor voedsel in plaats van veevoeding

Met bestaande technologieën is een groot deel van de stromen die nu worden ingezet als veevoeder op te waarderen tot eiwit-voeding. Bij directe inzet voor voeding van een nevenstroom wordt de omzetting via dieren overgeslagen. Voor veel nevenstromen, echter, is de vorm/functionaliiteit van het eiwit, opneembaarheid of eiwitgehalte onvoldoende om als eiwitvoeding te dienen. Sommige stromen bieden wel directere mogelijkheden; hieronder worden twee voorbeelden uitgewerkt: aardappeleiwit van aardappelzetmeelindustrie en reststromen uit visketens.

Andere bewerkingen (via bijvoorbeeld fermentatie of insecten) kunnen alsnog een 'kortere' of efficiëntere route bieden dan via dieren. Deze mogelijkheden worden in het volgende hoofdstuk verder uitgewerkt.

3.1.1 Eiwit uit vruchtwater van aardappelzetmeelindustrie

Aardappelen staan bekend als zetmeelgewas. Echter, van de droge stof is ongeveer 10% eiwit.

In de aardappelzetmeelindustrie werden tot voorkort de eiwitten afgezet voor veevoedertoepassingen (onoplosbare eiwitten vooral in aardappelvezels, oplosbare eiwitten werden uit het afvalwater gewonnen door coagulatie en afgezet als veevoederingsrediënt). In 2007 heeft AVEBE Solanic opgericht; deze raffineert oplosbare uitwitten uit het vruchtwater. Dit proces resulteert in een hoogwaardig eiwitproduct: goede functionaliteit en zeer hoge voedingswaarde (vergelijkbaar met dierlijk eiwit). Het product wordt o.a. toegepast in vlees- en zuivelvervangers.

Bij een gemiddelde bruto opbrengst in Nederland van 1,8 miljoen ton zetmeelaardappelen (gemiddeld over 2018-2020, CBS), waarvan 1,3% (Schut, 2020) tot 1,5%¹¹ eiwit in de betreffende stroom terecht komt, wordt de jaarlijkse potentie geschat op maximaal 25kton/j eiwit voor voedseltoepassingen. Het huidige productievolume van Solanic is nog veel lager: geschat tussen 1 en 5 kton/j¹². 20 kton/j meer voedsleiwit uit aardappel bespaart 100kton/j voeder-eiwit (uitgaande van de in dit rapport geschatte gemiddelde efficiëntie van dierlijke eiwitproductie 20%). Dus de netto besparing is 80 kton/j eiwit, equivalent aan 200kton/j sojaschroot.

3.1.2 Benutting vlees-/beendermeel en andere melen als veevoer

Vlees-, beender en andere melen werd in het verleden in grote hoeveelheden ingezet voor diervoer. Sinds de BSE crisis is dat grotendeels verboden. Recent is in de EU het voederen van vlees- en beendermeel voor landbouwhuisdieren weer onder voorwaarden toegelaten: categorie 3 vlees- en beendermeel van varkens voor kippen en van kippen voor varkens; beide ook voor vis (EFPR, 2021).

Omdat geen actuele openbare cijfers over beschikbaarheid van deze stromen gevonden zijn, hebben we ze als volgt geschat uit openbare bronnen:

- Europese volumes van gerenderde slachtbijproducten zijn op basis van cijfers van EFPR (2015) en Eurostat¹³ geschat op 14 Mton/j, waarvan 3,3 Mton/j van pluimvee, 7,8 Mton/j van varkens en 2,9 Mton/j van runderen.
- Slachtbijproducten bevatten gemiddeld rond 15% eiwit (Tritt e.a., 1992; Okanović e.a., 2009).
- 30% van de slachtbijproducten is bestempeld als hoog-risicomateriaal, en dus in principe niet bruikbaar; blijft over 70% Categorie 3 materiaal.
- Als we aannemen dat de eiwitfractie (totaal 1,5 Mton in de Cat. 3 stroom) in het vlees- en beenderproduct terecht komt (met een eiwitgehalte van ongeveer 75%), dan levert dat 2 Mton vlees- en beendermeel.
- Ongeveer twee-derde van dat volume wordt afgezet aan de petfood industrie (op basis van EFPR, 2015 en Van Vuure, 2017); het restant gaat naar andere toepassingen, waaronder meststoffen.
- Dat betekent dat in principe nog ongeveer een kwart beschikbaar is.
- Op basis van het aandeel slachtingen in Nederland van varkens en kippen in Nederland wordt het volume eiwit in bruikbare slachtbijproducten geschat op 0,9 Mton/j, waarvan 0,3 Mton van pluimvee en 0,6 Mton van varkens, met 45 resp. 80 kton/j eiwit. Totale hoeveelheid eiwit 125 kton/j. (let op: deze 125 kton/j is aanzienlijk dan de 300 kton/j die Luske e.a. (2009) noemen; echter dat getal betreft waarschijnlijk de stroom as-is, dat wil zeggen met een hoog vochtgehalte)
- Als het fractie afzet naar petfood industrie vergelijkbaar is met het bovengenoemde deel, blijft 40 kton/j over dat nog inzetbaar is als diervoer.

Bovenstaande schatting is gebaseerd op o.a. gemiddelden en schattingen. De volume-schatting is daarom nogal onzeker. Dàt er een aanzienlijk volumepotentieel is wordt bevestigd door bijvoorbeeld FEFAC¹⁴: "The main usage of PAP is in the petfood sector and as fertilizer as far as ruminant PAP are concerned. The rest is exported outside the EU. In accordance with the principle of circular economy, a key policy objective to improve the sustainability of the food chain is to maintain as many resources as possible within the food chain as long as the resources are safe and fit for purpose, thereby contributing to minimise waste and optimise the contribution to food security."

¹¹ https://ec.europa.eu/info/sites/default/files/food-farming-fisheries/events/presentations/be-workshop-presentation-avebe_en.pdf

¹² <https://www.boerderij.nl/solanic-goed-voor-05-tot-1-cent-per-kilo-aardappel>

¹³ http://appsso.eurostat.ec.europa.eu/nui/show.do?dataset=apro_mt_pann&lang=en

¹⁴ https://fefac.eu/wp-content/uploads/2021/08/21_EU_18_Q_A_lifting-feed-ban.pdf

Het vervangen van vlees/beendermeel uit varkens en kippen door vlees/beendermeel uit runderen in petfood is toegelaten volgens EU regulation 999/2001.

Overwegingen lead time

- De vraag is nog wanneer een uitvoeringsregeling in Nederland rond komt.
- Vervolgens de vraag of ketenpartijen hier op zitten te wachten; huidige lage kostprijs van import eiwit kan een rol spelen in deze motivatie.

3.1.3 Reststromen uit visketens

Reststromen visverwerking

Het grootste deel van de Nederlandse vangst die in Nederland wordt aangeland betreft platvis. In deze ketens worden aanzienlijke volumes reststromen gegenereerd. Deze gaan voor het overgrote deel naar vismeel fabrieken; dat wordt ingezet als veevoer.

Gemiddeld over de afgelopen 15 jaar is ongeveer 70 kton/j platvis aangeland in Nederland. 55 tot 72% (in zomer resp. winter) van het product komt terecht in de reststroom (gemiddeld geschat op 62%). Deze reststromen bestaan vooral uit graat, kop en staart (ingewanden worden aan boord verwijderd). Uitgaande van een geschat eiwitgehalte van 25% betreft dit ongeveer 11kton/j eiwit per jaar.

Zalmen leveren 60-70% vlees. De rest wordt als food opgevangen en de kop en staart gaan naar China/Rusland als food. Uit graten worden Ocean Harvest food/eiwit supplementen geproduceerd.

De buikwand wordt gerookt en verkocht als voedselproduct.

De visresten worden momenteel al grotendeels afgezet naar vismeelindustrie; een relatief klein deel gaat nog naar vergisters voor biogas.

Net als van vleesverwerkende bedrijven komt ook (een relatief kleine deel van het) eiwit in afvalwater terecht. Echter, dat is moeilijk voedsel- of voederwaardig te maken. Mogelijk wel interessant voor non-food opties.

Bijvangst

Afgelopen jaren is voor de verschillende visserijsectoren de aanlandplicht voor bijvangst ingevoerd. Een klein deel van deze bijvangst mag als visproduct afgezet worden¹⁵. Andere bijvangst is niet toegelaten voor voedseltoepassing, maar wordt grotendeels verwerkt tot veevoeders in de vorm van vismeel- en visolie.

Er zijn geen cijfers gevonden over omvang van de bijvangststromen die in Nederland worden aangeland. In diverse bronnen worden schattingen genoemd van 25 tot 50% van de totale vangst. Tegelijkertijd zijn er signalen uit de sector dat de hoeveelheid afgelopen jaren gehalveerd zijn. Aangezien de producten al benut worden voor veevoer, toepassing in voedsel niet is toegestaan en het volume naar verwachting zal dalen wordt de potentie op extra eiwit uit deze bron laag ingeschat.

3.1.4 Eiwitrijke reststromen van fermentatieprocessen

Er worden substantiële hoeveelheden eiwitrijke stromen gegenereerd als co-product van fermentatieprocessen. Bekende voorbeelden zijn biergist en bierbostel. Productie van dergelijke co-producten hangt vooral samen met (markt-)ontwikkelingen voor het hoofdproduct. Momenteel is er vooral groei in fermentatie voor biobased productie. Bij de productie van bioethanol worden bijproducten gevormd. De precieze samenstelling hangt sterk af van type uitgangsmateriaal (ddgs, vinasse, ...). Voor veel uitgangsmaterialen is de droge massa residu vergelijkbaar of iets hoger dan de ethanolopbrengst. Deze bevat typisch 20 tot 40% eiwit (van de droge stof). Een groot deel van deze fractie wordt benut al veevoer, maar een deel wordt afgezet naar vergisters en als meststof.

De jaarlijkse wereldwijde bioethanol-productie bedraagt momenteel ongeveer 100 Mton/j, waarvan 500 kton/j in Nederland. Daarbij komt volgens bovenstaande redenering 100 tot 200 kton/j eiwit vrij. Dit wordt vooral voor veevoer afgezet (Alco Energy Rotterdam, pers. communicatie).

¹⁵ zie bijvoorbeeld <https://www.vismagazine.nl/nieuws/bijvangst-schap-supermarkt>

Andere fermentatieprocessen

Azijnzuur-productie bedraagt wereldwijd 2×10^{10} kg/jaar met ongeveer 10^7 ton bacterieel eiwit (*Acetobacter* of *Gluconobacter*), citroenzuurproductie bedraagt 3×10^9 kg per jaar met ook meer dan 10^6 ton schimmel-eiwit (*Aspergillus niger*). Momenteel wordt deze biomassa niet of nauwelijks benut als eiwitbron voor humane voeding of veevoer, maar wordt gecomposteerd en/of vergist tot biogas. Het verdient aanbeveling om mogelijke benutting van dit eiwit-potentieel nader te verkennen.

3.2 Surplus stromen uit voedselketens, retail en catering

Deze categorie betreft naast onverkochte voedselproducten ook reststromen die bij bereiding van voedselproducten in een professionele omgeving ontstaan (waar kwaliteit- en veiligheid nog beheerst kan worden).

Volgens de European Former Foodstuffs Processors Association (EFFPA) wordt in Europa jaarlijks 5 Mton "voormalige voedselproducten", zoals surplus brood en andere bakkerijproducten, verwerkt en ingezet als veevoer (EFFPA, 2017). Een groot deel van de stromen is echter niet toegestaan of wordt omwille van economische redenen (denk aan logistiek en marktontwikkeling voor kleine volumes) niet benut.

Voor het Verenigd Koninkrijk en Frankrijk worden volumes van reststromen uit retail, productie en catering die nu worden gecomposteerd, vergist of verbrand (of onbekend, maar buiten de toepassing als veevoeder) geschat op 2,5 resp. 4,4 Mton per jaar (REFRESH, 2019; REFRESH, 2019a). Gecorrigeerd voor de omvang van de bevolking wordt het volume van de reststroom voor Nederland geschat op ongeveer 900 kton/j per jaar.

Potentie sojavererving: bij inzet als veevoeder: Volgens de REFRESH studie kan één ton van deze reststroom ongeveer 2/3 ton varkensvoer vervangen. Bij het genoemde volume in Nederland volgt dan de mogelijkheid om 600 kton/j veevoer uit te sparen. Uitgaande van een eiwitgehalte rond 20% in varkensvoer volgt dat ongeveer 120 kton/j eiwit wordt vervangen door deze surplus-stroom, equivalent aan 270 kton/j sojaschroot.

Bovenstaande betreft voor een aanzienlijk deel stromen die momenteel niet zijn toegestaan voor veevoeder. Feedback (EU-REFRESH project) heeft geschat dat hiervan 10 tot 16 kton/j soja schroot, dus 5 tot 7 kton/j eiwit ingevuld kan worden met stromen die momenteel wettelijk wel zijn toegestaan voor veevoer.

3.2.1 Overwegingen lead time

Een aanzienlijk deel van de reststromen uit de ketens wordt al verwaard als veevoeder; het genoemde volume van 5 tot 7 kton/j eiwit zal het wegnemen van hindernissen vergen, waaronder financiële en beheersing van veiligheid en kwaliteit. Onderwerp van lopende PPS onderzoeksprojecten.

Het grote genoemde volume-potentieel stuit op verbod van voederen van swill. Dat vergt grote wettelijke verandering op EU en nationale niveaus, hetgeen een lange adem vergt (denk aan 5-10 jaar).

Voor categorie 2 en 1 reststromen zijn er voldoende redenen om gebruik binnen afzienbare termijn niet te verwachten.

3.3 Keukenafval: directe inzet als varkensvoer

(de auteurs achten de haalbaarheid van dit idee heel onrealistisch om redenen van beheersbaarheid van veiligheid)

Het volume keukenafval is in EU geschat op 46,5 Mton/jaar (FUSIONS, 2016); aannemend dat het gelijkelijk verdeeld is naar hoofd van de bevolking, wordt het volume voor Nederland geschat op $46,5 \times 16,5/446 = 1,7$ Mton/jaar. Uitgaande van eenzelfde vervangingsfactor als voor surplusstromen (zie hierboven), kan daarmee ongeveer 230 kton/j veevoeder-eiwit worden uitgespaard.

3.4 Benutting van slib uit waterzuivering

Een mogelijk grote bron van eiwit zijn de gebruikte grootschalige microbiële processen die als doel hebben afbraak van reststromen en leiden tot aanwas van grote hoeveelheden eiwitrijke microbiële biomassa zoals slib van de afvalwaterzuivering. Om deze bron van eiwit kunnen benutten in veevoer, is niet alleen onderzoek nodig, maar zal ook de wetgeving t.a.v. management van kwaliteit en veiligheid en inzet van afvalstromen in voeding aangepast moeten worden.

Stowa (2014) schat de totale hoeveelheid zuiveringsslib die door waterschappen wordt gegenereerd op meer dan 300 kton droge stof per jaar. Eiwitgehaltes tussen 12 en 50% van de droge stof worden genoemd (Lau, 1981). Totale hoeveelheid eiwit in alle slib van waterzuivering zal dus naar verwachting boven 100 kton/j liggen.

Een groot voordeel van microbiële biomassa ten opzichte van andere potentiële bronnen van eiwit (planten/algen, insecten) is dat het eiwit relatief makkelijk extraheerbaar is, en dat de gebruikte fermentatie-processen ook gestuurd kunnen worden naar hogere eiwit-productie en minimale energie-input bij eiwit-extractie. Mogelijk kunnen insecten een rol spelen om de eiwitten te winnen uit slib. Grootste uitdagingen liggen niet in de microbiële veiligheid, maar in beheersing gehalten contaminanten, waaronder (zware) metalen.

4 Aquatische biomassa: eendenkroos, zeewieren en algen

Algemene opmerkingen:

- Het produceren van aquatische biomassa wordt wel eens gezien als oplossing waarmee een afvalwaterstroom kan worden gezuiverd (inclusief mest en digestaat) en tegelijkertijd een waardevol product kan worden geproduceerd. Echter, de effectieve opname van nutriënten en zware metalen kan er ook toe leiden dat maximale waardes voor toepassing in voedsel of veevoeding worden overschreden. Net als andere landbouwproductievormen is ook in deze vorm van biomassateelt adequate management van voedingsstoffen noodzakelijk.
- Huidige wetgeving staat het verhandelen van veevoerders of voedsel die zijn gekweekt op mest of digestaat (nog) in de weg (ESPP, 2021).

4.1 Eendenkroos (waterlinzen)

- Eiwitgehalte op drooggewicht is 35-40%
- Continu oogsten mogelijk; in open bassins in Nederland van april t/m oktober; in kassen jaar-rond (afhankelijk van eventuele verwarming). Dit kan in leegstaande simpele kassen zonder extra verlichting of verwarming, of via 'vertical farming' systemen in meerlaagse teelt waardoor ruimtebeslag verder wordt verlaagd.
- Potentiële opbrengst 10 tot 18 ton eiwitopbrengst per hectare per jaar (ter vergelijking: sojateelt levert rond 1 ton per hectare volgens Tabel 2). De opbrengst is wel sterk afhankelijk van de intensiteit van de teelt (vergelijk open en gesloten teelt van groenten).
- T.a.v. voedseltoepassingen:
 - o Novel Food dossier om toelating van de hele plant voor humane voedingsmarkt te krijgen is in 2020 ingediend door Wageningen Plant Research. Eerste toekenning van twee eendenkroos soorten die gezien worden als Traditional Food (*Wolffia globosa* en *Wolffia arrhiza*) is al gepubliceerd. De toekenning van het Novel Food dossier voor *Lemna minor* en *Lemna gibba* wordt begin 2022 verwacht.
 - o Novel Food goedkeuring voor geëxtraheerd eiwit (ABC Kroos methode) voor voeding is in 2019 aangevraagd en in 2021 nog 'pending'.
 - o Vertering van eiwit vergelijkbaar met andere groentegewassen en op zelfde niveau als caseïne. Gehaltes essentiële aminozuren erg goed en boven WHO richtlijnen (voor kinderen vanaf 6 maanden en voor volwassenen).
 - o De WUR methode voor eiwitextractie uit blad werkt goed voor eendenkroos. Hiermee kan mooi, functioneel RuBisco eiwit geïsoleerd worden.
 - o De prijs van (RuBisCO) eiwitconcentraat uit eendenkroos is niet concurrerend met andere eiwitbronnen voor bulktoepassingen. Wanneer eendenkroos alleen gedroogd wordt tot een (groen) eiwitrijk product, zou het mogelijk wel concurrerend kunnen worden.

- T.a.v. veevoedertoepassingen:
 - o Voor veevoeding is het traject tot toelating eenvoudiger dan voor voedsel; alleen praktische GMP+ certificering of HACCP - plan / registratie- en tracing is verplicht (en alleen als het buiten het eigen bedrijf wordt afgezet).
 - o Uit onderzoek blijkt dat een dosering van 10 tot max 20% in voer voor varkens, kippen, koeien, vissen (aquacultuur) kan worden toegepast met behoud van productiviteit. Als eendenkroos 10% van soja import voor veevoer zou vervangen in Nederland, betekent dat 10% van 1,74 miljoen ton: 174.000 ton minder soja-import, dat wordt geteeld was op 58.000 hectare in Zuid-Amerika (waar eendenkroos 6000 hectare grond voor nodig zou hebben).
 - o Praktische opschaling wordt nog belemmerd door een systeemprobleem: in praktijkvoorbeelden (zoals Ecoferm te Uddel) blijkt de kostprijs van eendenkroos 5 tot 10x hoger dan sojaschroot (Compeer, 2017). Bovendien blokkeert de mestwetgeving de inzet van mest of digestaat in de teelt van eendenkroos (bij afzet buiten het eigen bedrijf). Deze situatie belemmert de ontwikkeling van geoptimaliseerde systemen en schaalvergroting (die mogelijk de kostprijs significant omlaag kunnen brengen).

4.1.1 Overwegingen lead time

- Toestemming van de EFSA voor gebruik van waterlinzen voor humane voeding door ABC Kroos (toekenning verwacht na 1 jaar). Opzetten van fabriek voor extractie; kan ook uitgevoerd worden in extractiefabriek voor suikerbietenbladeren.
- Teelt procedure in simpele kassen is al opgezet en beschreven in Novel Food dossier. Teelt via vertical farming moet nog opgezet worden, maar wordt nu aan gewerkt. Pas bij toekennen van Novel Food dossier zal dit op grotere schaal opgepakt worden.
1-5 jaar
- Kennis over vertering van waterlinzen, en apart van het geëxtraheerde eiwit, is reeds aanwezig en vastgelegd in Novel Food dossier en in wetenschappelijke publicaties
- Consumentenacceptatie-onderzoek heeft plaatsgevonden bij WUR (en gepubliceerd), productontwikkeling en smaakpanelonderzoek is gaande bij WUR.
- Voor toekenning van geëxtraheerd eiwit uit eendenkroos is dossier ingediend (toekenning verwacht na 1 jaar). Opzetten van fabriek voor extractie; kan ook uitgevoerd worden in extractiefabriek voor suikerbietenbladeren.
3-5 jaar
- Gebruik als feed en bijbehorend verteringsonderzoek is al veel kennis over. Teelt kan dan eenvoudiger, buiten in bassins, eventueel op verdunde mest of biodigester. Voor commerciële toepassing in Feed moet de manier van productie vastgelegd en gestandaardiseerd worden (GMP+). Is geen EFSA goedkeuring, maar moet wel een HACCP (Hazard Analysis and Critical Control Points) plan voor vastgesteld worden. Kan nu nog niet concurreren met sojaschroot.

4.2 Zeewier

- Zeewier bevat slechts 10-15% eiwit in de droge massa (afhankelijk van de soort). Deze is moeilijk te ontsluiten door de aanwezige koolhydraat polymeren (dat geldt zowel voor technische extractie als voor de biobeschikbaarheid voor de mens).
- Teelt op zee legt geen beslag op landbouwgrond, en kost geen (zoet) water. De teeltopbrengsten zullen gevoelig zijn voor klimaat- en teeltomstandigheden waarbij geen bemesting en nauwelijks bestrijding van ziekten en plagen toegepast kan worden.
- Grootchalige teelt op zee kan opgezet worden, maar is wel duur (off shore). Daarnaast moet de voedselveiligheid en nutritionele waarde goed in het oog gehouden worden. Zeewier bevat van nature zouten en zware metalen, zoals jodium en arseen, waarvan niet te veel ingenomen moet worden en die mogelijk ook bij eiwitextractie tot problemen kan leiden. Ook potentieel aanwezige aquatoxines kunnen bedreigend zijn voor de gezondheid.

- In de Memo 'Een realistische kijk op zeewierproductie in de Noordzee (BO-43-023.03-005) (van Duren et al., 2019) is berekend dat de draagkracht van de Noordzee voor oogst van zeewier rond de 145 km² (14.500 hectare) is, op basis van Suikerwier (*Saccharina latissima*).
- Met een productie van 10 ton drooggewicht per jaar per hectare zou dat neer kunnen komen op een totaal van 145 kton/j drooggewicht, met orde-grootte 20kton/j eiwit.
- Eiwitwinning zou samen kunnen gaan met alginaatproductie waarbij de eiwitrijke zij-stromen opgewerkt zouden kunnen worden. Met het huidige proces levert dat echter laag-functioneel eiwit op dat toegepast zou kunnen worden als veevoer. Nieuwe extractieprocessen moeten opgezet worden waarbij niet alleen de koolhydraat polymeren (zoals alginaat) geïsoleerd worden, maar waarmee tegelijkertijd intact eiwit gewonnen kan worden.
- Voor voedingstoepassing zal eiwit uit zeewier moeten concurreren met andere plantaardige eiwitbronnen zoals eiwit geïsoleerd uit soja, erwten en granen. De prijs van voedingseiwit wordt vooral bepaald door de functionaliteit (eigenschappen in het te formuleren product) van het eiwit. De functionaliteiten van op grote schaal geproduceerde zeewiereiwitten zijn nu nog niet bekend (bijv. neutrale smaak, geur en kleur, gelling- en textureringseigenschappen). Functioneel plantaardig eiwit kost rond de 5-10 euro per kg met enkele uitschieters naar boven. Door de hoge teeltkosten en de verwachte capaciteit die ingezet moet worden om zeewier te drogen en eiwit te extraheren (lage concentratie en lastige extractie vanwege polymeren/ alginaten) lijkt een business case op alleen eiwit uitdagend: Mes e.a. (2021) noemen een kostprijs van €31 per kg droge stof, vele malen duurder dan andere eiwitbronnen.

Recente wetenschappelijke studies, en onderzoek bij de WUR (zie ook Baek e.a., 2021), hebben aangetoond dat zeewierextracten gebruikt kunnen worden als 'biostimulant' tijdens de teelt van gewassen, waardoor deze gewassen beter kunnen omgaan met droogte of zout, en tegen ziekteverwekkers. Deze toepassing van zeewierextracten kan een verhoging geven van 25% meer opbrengst onder stress condities. Wereldwijd is 20% van de totale landbouwgrond verzilt. Het gebruik van zeewierextracten voor verhogen van de weerbaarheid van met name eiwitgewassen kan een heel erg groot effect bereiken wanneer de productie van eiwitgewassen op de 20% verzilte en droge landbouwwarealen met een-vijfde verhoogd kan worden. Dit zal leiden tot een verhoogde jaarlijkse mondiale eiwitproductie zonder uitbreiding van het huidige landbouwareaal. Voor Nederland kan dit interessant zijn om productiviteit van de landbouwgronden bij verzilting in stand te houden.

Mes e.a. (2021) concluderen dat:

- "Noordzee-zeewier niet snel een vervanger zal zijn van soja in de diervoedingsketen.
- Functionele eiwitten voor humane consumptie meer perspectief bieden, maar hier nog veel ontwikkeling nodig om eiwitextractie technologisch en economisch haalbaar te maken.
- De markt voor biostimulanten uit zeewier is klein, maar kansrijk. De vragen bij deze markten zijn vooral of de teelt van zeewier kan concurreren met wilddoogst en hoe de vraag zich zal ontwikkelen.
- Winning van eiwitten is mogelijk te verrijken met gecombineerde processen zoals extractie van hydrocolloïden of productie van biostimulanten, waarbij nieuwe processen ontwikkeld worden die rekening houden met toepassing van alle productstromen."

Dit bevestigt de conclusie dat bulktoepassingen van eiwitten uit zeewieren in voedsel en veevoeding in de huidige situatie hooguit een heel beperkt perspectief heeft (dat neemt niet weg dat niche-toepassingen interessant kunnen zijn, maar op kleine schaal ten tegen relatief hoge kosten). Benutting van co-producten van alginaatwinning is wel interessant voor veevoerders. Echter, ook dat volume is heel beperkt.

4.2.1 Overwegingen lead time

- Grootschalige teelt mogelijk buiten het bestaande landbouwareaal: op de Noordzee op termijn van 3-5 jaar
- Extractie van eiwit uit zeewier is nog niet opgezet. Zal mogelijk alleen kans hebben als zijstroom van extractie van alginaten.
5 jaar
- Gebruik van zeewierextract als biostimulant voor gewassen vindt al plaats op commercieel niveau. Uitbreiden van deze markt vraagt nog meer onderzoek naar de 'mode of action' en identificeren van de bio-actieve stoffen in zeewierextract die de resistentie tegen biotische en abiotische stress geven
2-4 jaar

4.3 Microalgen

Microalgen worden gezien als een van de meest veelbelovende alternatieve bronnen van eiwitten en olie voor zowel voeding als veevoer vanwege hun hoge productiviteit (theoretisch tot 50-80 ton/ha/jaar droge stof) in vergelijking met conventionele landgewassen (IEA 2017). De feitelijke opbrengst hangt wel sterk af van de intensiteit van het productiesysteem. Bijvoorbeeld voor vlakke-plaat reactoren (een hoog-intensieve techniek) wordt door Wolkers e.a. (2011) een opbrengst van 1kg droge stof algen per dag per 100m² genoemd. Dat betekent een opbrengst van 30 tot 40 ton droge stof per hectare per jaar (als genoemde productiviteit jaarrond gehaald wordt; dat zal dan allicht belichting en verwarming vergen). Onderzoek op AlgaePARC aan WUR laat zelfs een productiviteit van 60 ton per hectare per jaar zien (Ruiz et al. 2016; de Vree et al. 2015, 2016). Van Dijk e.a. (2016) noemen voor een extensievere systeem (open ponds, wel verwarmd, met roerwerk en CO₂-bemesting) een jaarlijkse productie van 2,5 tot 7 ton droge stof per hectare.

Microalgen kunnen gekweekt worden in zeewater of brak water en concurreren niet om land met gewassen die worden gebruikt voor de productie van voedsel of diervoeder (Wijffels en Barbosa 2010, Draaisma et al 2013). Het ruw eiwitgehalte van microalgen kan 60% van de droge stof zijn (bijv. *Chlorella* sp. 51-58%; *Spirulina platensis* 43-63; *Tetraselmis chui* 31-46%; *Nannochloropsis oceanica* 35-44%) en is daarmee hoger dan voor magere melk (36%), sojameel (rond 40%), kip (24%), vis (24%) en pinda's (26%) (Wegeberg en Felby 2010, Barka en Blecker 2016, Ritala en Häkkinen 2017).

Microalgen worden algemeen beschouwd als een eiwitbron met hoge nutritionele waarde, met een essentiële aminozuursamenstelling die voldoet aan de FAO-vereisten. Voor voedingstoepassingen is hun aminozuurprofiel gunstig ten opzichte aan dat van sojabonen en sojameel (of andere plantaardige bronnen, Becker 2007), en vergelijkbaar met sojaeiwit-isolaten (Seves e.a. 2015). Voor feed-toepassingen lijkt de nutritionele waarde vergelijkbaar met soja.

Op basis van visvoedingsexperimenten met dorade in het EU project MIRACLES is geconcludeerd dat vismeel voor 80% vervangen kan worden door microalgen. Vergelijkbare resultaten zijn verkregen met garnaal en zalm (Kiron et al 2012). Tevens is aangetoond dat functionele kwaliteit van algeneiwitten vergelijkbaar is met wei- en kippeneiwit (Suarez et al 2018).

De totale marktpotentie van microalgen is moeilijk in te schatten. Er worden slechts enkele microalgen-producten in grotere hoeveelheden geproduceerd. Voorbeelden hiervan worden hieronder beschreven. Deze producten worden in een beperkt aantal bedrijven geproduceerd. Grotere faciliteiten, zoals de productiefabriek van BASF in Australië, produceren duizenden ton droge biomassa per jaar (Borowitzka 2018), maar de meeste bedrijven op dit gebied produceren minder dan 1 ton per jaar. Wereldwijd wordt de productie geschat op 25.000 ton, waarvan meer dan de helft in China wordt geproduceerd (Hu, 2019). Het totale marktvolume wordt geschat op 50 miljoen euro en zal groeien tot 70 miljoen euro in 2025 (Marketwatch 2019)

De relatief grotere installaties produceren op de schaal van 1000 kg droge stof per jaar; de marktprijs voor deze biomassa is ongeveer 50 € / kg. *Spirulina* wordt in China geproduceerd op een schaal van 1000 ton per jaar, de prijzen kunnen in dat geval zo laag zijn als 20 € / kg biomassa. Er wordt geschat dat als de productie tot 10.000 ton biomassa per jaar wordt opgeschaald, een kostprijs tot onder 5 € / kg mogelijk is (Spirulinamrket, Ruiz et al 2016; berekende mogelijke kostprijzen bij grootschalige producties in vooral zuiderlijke landen; voor NL is laagst genoemde kostprijs 6 € / kg). Verdere industrialisatie zou volgens Ruiz et al (2016) kunnen resulteren in een kostprijs van minder dan 1 € / kg (kanttekening: dit gaat uit van productie in het klimaat van Spanje en anticiperend op diverse optimalisatie-verbeteringen).

Hua e.a. (2019) vat conclusie m.b.t. haalbaarheid als volgt samen: "The potential of microalgae is diminished by the technical, biological, and economic difficulties regarding the continuous production of high-quality microalgal biomass, and its downstream processing, at scale. The current world production of microalgae (auto- and heterotrophic) is estimated to be approximately 40,000 tons per year, only 0.7% of what would actually be needed to replace the protein from fish meal in aquaculture. In addition, the current price of microalgae is between US\$10 and \$30 per kg, several magnitudes higher than soybean meal (\$0.30 per kg), hence global production is limited to high-value niches in the human supplement and nutraceutical markets. Although attempts have been made to model the cost and production of microalgae to satisfy the protein demand of aquaculture, such efforts can only be considered as academic exercises as they do not take into account the difficulties of upscaling production from medium scale (<1 hectare) to large scale

(>10,000 hectare). Therefore, due to the current low volumes, high production costs, and cultivation challenges, it is highly unlikely that microalgae will become a viable alternative source of protein for aquafeeds in the next decade.”

4.3.1 Overwegingen lead time

- Hoogwaardig eiwit; het gewas is interessant voor veevoer, maar voor bulktoepassingen kunnen zowel intensieve teelt (dure installatie) als extensievere teelt (significant lagere opbrengst) kan niet concurreren met soja.
- Aanzienlijke kostprijsverlagingen voorzien op termijn van 5 jaar.
- De gunstige scenario's t.a.v. opbrengsten en kostprijzen zijn gebaseerd op warme klimaatzones.

4.4 Andere zeevruchten zoals mosselen, mesheften en zeesterren

Technisch gezien is het mogelijk om productie van mosselen in de Oosterschelde en Waddenzee te verhogen, zelfs zonder de biodiversiteit significant te verslechteren (Steins e.a., 2021). Bovendien hebben deze gebieden voldoende draagkracht (in de Oosterschelde door de aanvoer van nutriënten door de rivieren; in de Wadden leveren andere wilde schelpdiersoorten een grotere graasdruk dan mosselen).

De Nederlandse productie van mosselen in het seizoen 2019/2020 was ongeveer 31,5 kton¹⁶. Op basis van eiwitgehalte rond 10% volgt een totale eiwitproductie in mosselen van 3 kton. Als de productie met een derde wordt verhoogd (dat is zo ongeveer de meer-opbrengst in “goede jaren”), levert dit 1 kton/j extra voedingseiwit op.

Een groter effect is te verwachten van nieuwe gebieden. Er lopen verschillende initiatieven voor mosselkweek op de Noordzee. De potenties zijn groot, maar of het technisch mogelijk is moet nog blijken uit pilots die momenteel worden onderzocht.

Andere dieren zoals mesheften (“scheermessen”) en zeesterren groeien volop in bijvoorbeeld de Waddenzee. Mogelijk zijn eiwitten inzetbaar voor diervoeder. Kwantitatieve cijfers ontbreken, uit de bovenstaande opmerking m.b.t. graasdruk leiden we af dat de potentie op z'n minst vergelijkbaar is met de opbrengst van mosselen, enkele ktonnen eiwit per jaar.

¹⁶ <https://www.wur.nl/nl/Onderzoek-Resultaten/Onderzoeksinstituten/Economic-Research/show-wecr/Nederlandse-visserijsector-in-zwaar-weer.htm>

5 Nieuwe eiwitbronnen

Naast bestaande landbouwproductievormen en benutting van nevenstromen komt steeds meer aandacht voor “nieuwe bronnen” die geen beslag leggen op het landbouwareaal of efficiëntere productie mogelijk maken, zoals

- fermentatie (op substraten gebaseerd op plantaardige eiwitgewassen of commodities zoals suiker of zetmeel),
- insecten (die mogelijk ook ingezet kunnen worden voor nog onbenutte reststromen).

Voor voedseltoepassing van hieronder uitgewerkte ‘nieuwe eiwitbronnen’ geldt dat deze vallen onder de EU Novel Food Regulation (met uitzondering van bestaande producten); een aanvraag vergt tot enkele jaren doorlooptijd.

5.1 Microbiële eiwitbronnen

Microbieel eiwit wordt geproduceerd door micro-organismen (bacteriën, schimmels, gisten of met een kleine hoeveelheid dierlijk weefsel) onder gecontroleerde omstandigheden (fermentatie). Microbiële producten bestaan over het algemeen voor ongeveer 30-60% uit eiwit (van de droge stof).

Er zijn op dit moment een aantal eiwit-rijke (humane) voedingsmiddelen bekend die voor een belangrijk deel bestaan uit microbiële biomassa zoals Tempeh (*Rhizopus oligosporus* of *Rhizopus oryzae*), Quorn (*Fusarium venenatum*) en Natto (*Bacillus subtilis*). Ook eetbare paddestoelen, zoals de Champignon (*Agaricus bisporus*) en de Cantharel (*Cantharellus cibarius*), zijn in feite microbiële biomassa en bestaan ook voor 30-50% uit eiwit. Gebaseerd en geïnspireerd door dit soort voorbeelden zijn er meerdere initiatieven gaande om met vergelijkbare micro-organismen microbieel eiwit te produceren vanuit goedkope grondstoffen.

De meeste gebruikte micro-organismen zetten eiwitten om. Dat betekent dat ze geen nieuwe eiwitten vormen, maar ze mogelijk in een meer aantrekkelijke vorm omzetten (vergelijkbaar met dierlijke productie). De eiwit-efficiëntie is ongeveer 100% (Day e.a., 2018). Doordat veel andere componenten wel worden afgebroken wordt het eiwitgehalte van een product bij fermentatie verhoogd. Bijvoorbeeld tempeh is een gangbaar fermentatieproduct op basis van sojabonen waarvan de eiwitten door de fermentatie beter opneembaar zijn gemaakt; de fermentatie verbetert ook de structuur van het product. Omdat een deel van de andere voedingsstoffen wordt afgebroken en met het oog op de kosten zijn fermentatieprocessen minder interessant voor diervoeders dan voor voedsel, tenzij daardoor grondstofstromen worden benut die anders niet benut kunnen worden.

Voor de productie van kweekvlees worden dierlijke stamcellen gebruikt voor het omzetten van plantaardig eiwitten.

Een aparte groep wordt gevormd door micro-organismen die zelf eiwit kunnen produceren, gevoed door koolhydraten en een stikstofbron zoals ureum of ammoniak. Bijvoorbeeld Quorn baseert haar producten op ‘mycoproteïne’, een schimmelproduct dat fermentatief gekweekt wordt op basis van glucose en ammoniak. Typische efficiëntie is 0,136 kg eiwit per kg glucose (Moore e.a., 2021, bevestigd door bevindingen van Hosseini e.a., 2009). Het Nederlandse bedrijf The Protein Brewery heeft net een 26 M€ investering binnen voor de bouw van een fabriek voor een microbieel eiwit product, genaamd Fermotein. Hiervoor wordt gebruikt van koolhydraatrijke voedselgewassen zoals suikerbieten of mais als grondstof in plaats van de pure grondstof glucose. Directe fermentatie op koolhydraatrijke gewassen biedt kansen om duurzaamheid te verhogen en mogelijk om structuur en aantrekkelijkheid van producten op natuurlijke manier te verbeteren. Nadeel is het eiwitgehalte van het product naar verwachting lager is dan bij fermentatie van pure glucose vanwege andere componenten in het materiaal die niet worden omgezet tot eiwitten. Er wordt geclaimd dat het eiwitproduct geen bijsmaken heeft, niet-allergeen is en goed te verwerken is tot eiwitrijke dranken/shakes en ook zeer goed bruikbaar als vleesvervanger. Het bedrijf claimt dat gebruik/consumptie van dit eiwit, in vergelijking met eiwit uit rundvlees, leidt tot 100x minder land verbruik, 30x minder CO₂ productie en 20x minder water verbruik. Bij de EFSA is een aanvraag voor goedkeuring ingediend.

Naast het benutten van koolhydraten of koolhydraat- of eiwitrijke gewassen is er ook toenemende belangstelling voor fermentatie van reststromen, zoals die vrijkomen bij het produceren en processen van tarwe, mais, suikerbiet en aardappel. Opbrengsten van 10-20g eiwit/100g droge stof van de reststroom zijn zeer gebruikelijk voor dit type fermentaties. Bijvoorbeeld het Nederlandse bedrijf 3F BIO gaat de komende jaren meerdere fermentatie-fabrieken bouwen met een verwachte productie-capaciteit van meer dan 100.000 ton eiwit (voor humane consumptie) op basis van de afvalstroom van bio-ethanol-productie (DGDS).

5.1.1 Overwegingen lead time

- Bouw van fermentatie-fabrieken speciaal voor microbiele eiwit-productie (2-5 jaar)
- Ontwikkeling extractie-units voor eiwit-opwerking uit bestaande fermentatie-fabrieken (1-3 jaar)
- Wetgeving voor gebruik van microbieel eiwit uit afvalstromen in food/feed (1-3 jaar)
- Aantonen eiwitkwaliteit/geschiktheid van microbieel eiwit (0,5 -1 jaar)

Over het algemeen zal de ontwikkelingstijd voor selectie en productie van microbieel eiwit veel korter zijn dan voor nieuw plantaardig eiwit vanwege de veel kortere generatie (groei) tijd van microorganismen in vergelijking met planten.

5.2 Insecten

Insecten bieden in de vorm van veevoer kansen indien reststromen die niet bruikbaar of toegestaan zijn voor gangbare landbouwhuisdieren wel toegelaten worden voor insecten en de insecten dan alsnog als veevoer ingezet worden. Net als andere dierlijke productiesystemen hebben insecten ook een eiwit-efficiëntie kleiner dan 1, dus voor feed-grade stromen biedt de tussenstap van insecten geen voordeel om totale eiwitproductiviteit te verhogen. Dat neemt niet weg dat het toch interessant kan zijn omdat insecten-eiwit beter geschikt is voor sommige diersoorten dan de plantaardige grondstoffen (zoals voor visvoer), maar dit draagt niet bij aan verhoging van de totale eiwitproductie.

Als stromen die niet zijn toegelaten voor veevoer alsnog benut mogen worden via de route van insecten worden wel nieuwe bronnen ontsloten, en bieden de insecten in kwantitatief opzicht voordelen.

Typisch rendement voor black soldier fly op voedsel afval: voederconversie 4; drogestofgehalte 33%, eiwit 40% van de droge stof (Ewald et al., 2020). Dit ligt in dezelfde orde als kip en varken, maar mogelijk nog wel verder te optimaliseren.

Uitgaande van bovengenoemde voederconversie wordt het maximum productiepotentieel op de stroom geschat op ruim 200 kton/jaar. Daarin $200 \times 0,33 \times 0,40 = 26$ kton/jaar eiwit.

Toelating van inzet van insecten voor veevoerders gaat via Europese regelgeving; allicht zal elke partij ook z'n keten moeten laten certificeren. Voor voedsel loop het via EFSA novel food regelgeving.

Uit surplus stromen uit voedselverwerking, retail en voedselresten uit catering is rond 850 kton/j beschikbaar (zie vorige paragraaf; na aftrek van een deel dat wel ingezet mag worden als veevoeder).

5.2.1 Surplus stromen uit voedselverwerking, retail en catering: productie van eiwitten voor veevoeder via insecten

Voor feed-grade voeders bieden insecten geen fundamenteel voordeel tov varkens. Voordeel ontstaat als reststromen die niet toegestaan zijn voor gangbare landbouwhuisdieren wel toegelaten worden voor insecten. Sinds september 2021 zijn insecten-eiwitten toegelaten als voer voor kippen en varkens¹⁷. Daarbij geldt nog wel de beperking dat insecten alleen mogen worden gevoed met materialen van plantaardige oorsprong (enkele uitzonderingen voor specifieke materialen van dierlijke oorsprong, zoals melk, eieren en daaruit afgeleide producten, gerenderd vet of bloedproducten van niet-herkauwers).

¹⁷ <https://www.wur.nl/nl/Dossiers/dossier/Insecten-als-voedsel-en-veevoer.htm>

Het voederen van landbouwhuisdieren met andere slachtbijproducten of het destructieproduct, mest of keukenafval is echter verboden. Dit betekent in de praktijk dat de toegelaten stromen geheel of nagegenoeg overeenkomen met toegelaten stromen voor diervoer.

De insecten kunnen als veevoer ingezet worden. Directe toepassing voor humane consumptie kan dan vanwege regelgeving lastig zijn.

Uit surplus stromen uit voedselverwerking, retail en voedselresten uit catering is rond 850 kton/j beschikbaar (zie paragraaf 3.2; na aftrek van een deel dat wel ingezet mag worden als veevoeder).

Uitgaande van bovengenoemde omzettingsefficiëntie voor black soldier fly wordt het maximum productiepotentieel op de stroom geschat op ruim 200 kton/jaar. Daarin $200 \times 0,33 \times 0,40 = 26$ kton/jaar eiwit.

Overwegingen lead time

Momenteel is inzet alleen toegelaten voor vis en huisdieren; toepassing voor landbouwhuisdieren vergt nog toelating door EU.

5.2.2 Keukenafval: productie van eiwitten voor veevoeder via insecten

Via insecten is op basis daarvan theoretisch (met eerder genoemde aannames) $1700 \times 0,33 \times 0,40 \approx 200$ kton/j eiwitten per jaar.

Overwegingen lead time

EFSA goedkeuring vereist voor toepassing van insecteneiwit in voeding vergt jaren doorlooptijd.

Insecten op keukenafval zal nog wat moeilijker liggen dan op basis van afval/verliezen in de keten omdat kwaliteit- en veiligheid management nog moeilijker is.

6 Concluderende opmerkingen

- Optimalisatie van veevoeding op systeemniveau kunnen anders uitvallen als de waarde van eiwit hoger wordt gewaardeerd (bijvoorbeeld verder finetunen van eiwitgehalte in veevoeder kan de gemiddelde benuttings-efficiëntie verbeteren). Het idee van gras-raffinage kan daaraan bijdragen.
- Vlinderbloemigen zijn vooral interessant voor voedseltoepassingen; daarnaast zijn ze ook interessant om landbouw te verduurzamen en biodiversiteit te verhogen waarbij eiwitproductie zoveel mogelijk op niveau gehouden wordt.
- Eiwitfermentaties zijn een belangrijk vehikel voor de eiwittransitie: ze kunnen plantaardige eiwitproducten aantrekkelijker en beter opneembaar maken.
- Eiwitproductie via fermentatie van koolhydraten is heel aantrekkelijk; land-productiviteit wordt daardoor verder opgehoogd t.o.v. eiwitgewassen zoals vlinderbloemigen. Directe fermentatie op koolhydraatrijke gewassen biedt kansen om duurzaamheid te verhogen en mogelijk om structuur en aantrekkelijkheid van producten op natuurlijke manier te verbeteren.
- Het verdient aanbevelingen om nader te onderzoeken of gewasresten uit bijvoorbeeld de glastuinbouw geschikt te maken zijn voor feed-toepassingen.
- Eiwitproductie door algen, zeewier en eendenkroos is vooralsnog flink duurder dan gangbare eiwitgewassen wanneer de eiwitten geëxtraheerd moeten worden. Productiviteit van 'low-tech' systemen moet nog aanzienlijk worden verhoogd, en de belemmeringen voor inzet van mest en digestaat moeten ook weg worden genomen voordat deze teelten, ook bij opschaling, concurrerend kunnen worden tegen huidige eiwitprijzen in veevoerders. Voor voedseltoepassingen lijkt ook prijs nog een obstakel, en liggen speciality toepassingen meer binnen bereik.
- Eiwitproductie uit gewasresten zoals bietenblad biedt grote volume-potenties voor voeding. De financiële haalbaarheid van dit idee zal lijden onder de seizoensgebondenheid van dit materiaal. Door de fabriek ook geschikt te maken voor andere bladmaterialen (zoals eendenkroos) wordt de haalbaarheid verbeterd.
- Residu-stromen uit biobased fermentaties zijn interessant.
- Grootschalige productie van insecten-eiwit voor veevoer wordt qua volume pas interessant als ook stromen die nu niet zijn toegestaan voor veevoer ingezet mogen worden als insectenvoer. Huidige productie heeft eiwit-efficiëntie <1, maar is toch waardevol omdat het insecten-eiwit veelal aantrekkelijker en geconcentreerder is dan van het substraat.

Bronnen/literatuur

- Aschemann-Witzel, J., R. Futtrup Gantriis, P. Fraga & F.J.A. Perez-Cueto (2021) Plant-based food and protein trend from a business perspective: markets, consumers, and the challenges and opportunities in the future, *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 61:18, 3119-3128, DOI: 10.1080/10408398.2020.1793730.
- Baek, G., Saeed, M. & Choi, HK. Duckweeds: their utilization, metabolites and cultivation. *Appl Biol Chem* 64, 73 (2021). <https://doi.org/10.1186/s13765-021-00644-z>
- Barka A., Blecker C. (2016). *BASE*, 20 (3), 427-436 <https://popups.uliege.be:443/1780-4507/index.php?id=13132>
- Becker E.W. (2007). *Biotechnology Advances*. 25, 207-210. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2006.11.002>
- Blonk (2017)
- Bondt, N., B. Janssens & A. de Smet (2010): Afval uit de landbouw, LEI Wageningen UR, LEI-nota 10-061.
- Borowitzka, M. A. Chapter 3 - Biology of Microalgae. in (eds. Levine, I. A. & Fleurence, J. B. T.-M. in H. and D. P.) 23-72 (Academic Press, 2018). doi:<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811405-6.00003-7>
- Colmenero, J.J., Broderick, G.A., 2006. Effect of dietary crude protein concentration on milk production and nitrogen utilization in lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* 89, 1704-1712.
- Compeer, 2017. Rapport Blauwe keten: Eendenkroos richting veevoer, Avans Hogeschool. <https://www.coebbe.nl/app/uploads/2019/03/Rapport-Eendenkroos-Richting-Veevoer.pdf>
- CVB (2019): CVB Veevoedertabel 2019, Federatie Nederlandse Diervoederketen, www.cvbdiervoeding.nl
- Day, C. N. & R. O. Morawicki, 2018, Effects of Fermentation by Yeast and Amylolytic Lactic Acid Bacteria on Grain Sorghum Protein Content and Digestibility, *J. Food Qual.*, 2018, 1 —8
- De Haan, M., Z. van der Vegte, B. Philipsen, G. Hilhorst, B. Meerkerk & R. Wolf (2020): Ruwvoersituatie begin juli 2020 (memo), Wageningen University & Research.
- De Vree J.H., Bosma R., Janssen M., Barbosa M.J., Wijffels R.H. (2015) Comparison of four outdoor pilot-scale photobioreactors. *Biotechnol Biofuels* 8:215
- De Vree J.H., Bosma R., Wieggers R., Gegic S., Janssen M., Barbosa M.J., Wijffels R.H. (2016) Turbidostat operation of outdoor pilot-scale photobioreactors. *Algal Research* 18: 198-208
- Draaisma R.B., Wijffels R.H., Slegers P.M., Brentner L.B., Roy A., Barbosa M.J. (2013) Food commodities from microalgae. *Current Opinion in Biotechnology* 24: 169-177
- ESPP (2021) European Sustainable Phosphorus Platform SCOPE Newsletter, No. 140, Algae and the Circular Economy: regulatory challenges, <https://phosphorusplatform.eu/images/scope/ScopeNewsletter140.pdf>
- Ewald, N., A. Vidakovic, M. Langeland, A. Kiessling, S. Sampels & C. Lalander (2020): Fatty acid composition of black soldier fly larvae (*Hermetia illucens*) – Possibilities and limitations for modification through diet, *Waste Management* 102 (2020) 40-47, <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2019.10.014>.
- EFRA (2015) Rendering in numbers infographic.
- EFRA (2021) The Facts About Processed Animal Proteins – Pigs and Poultry, <https://efpra.eu/wp-content/uploads/2021/09/The-Facts-About-PAPs-updated.pdf>.
- FUSIONS (2016) Stenmarck Å, Jensen C, Quested T. et al. Estimates of European food waste levels. Stockholm, Sweden: FUSIONS; 2016. Available: <https://www.eu-fusions.org/phocadownload/Publications/Estimates%20of%20European%20food%20waste%20levels.pdf>
- GMPplus, 2021, Technical Specifications TS1.4 - Verboden Producten en Brandstoffen, Versie NL: 1 maart 2021, GMP+ International, Rijswijk, <https://www.gmpplus.org/media/x4vojssg/ts-1-4-verboden-producten-en-brandstoffen.pdf>
- Henchion, M., M. Hayes, A.M. Mullen, M. Fenelon & B. Tiwari (2017) Review. Future Protein Supply and demand: Strategies and Factors Influencing a Sustainable Equilibrium, *Foods*, 6, 53; doi:10.3390/foods6070053.
- Hosseini, S.M. K. Khosravi-Darani, M.A. Mohammadifar & H. Nikoopour, 2009, Production of Mycoprotein by *Fusarium venenatum* Growth on Modified Vogel Medium, *Asian Journal of Chemistry*, Vol. 21, No. 5, 4017-4022
- Hu Q. (2019) Current status, emerging technologies, and the path forward for expanding the world

- microalgal industry. in *AlgaEurope* 2019.
- Hua, K., J.M. Cobcroft, A. Cole, K. Condon, D.R. Jerry, A. Mangott, C. Praeger, M.J. Vucko, C. Zeng, K. Zenger, J.M. Strugnell, 2019, The future of aquatic protein: implications for protein sources in aquaculture diets, *One Earth*, 1, pp. 316-329, <https://doi.org/10.1016/j.oneear.2019.10.018>
- IEA (2017) www.ieabioenergy.com/wp-content/uploads/2017/01/IEA-Bioenergy-Algae-report-update-20170114.pdf
- Kiron et al (2012) <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1365-2095.2011.00923.x>
- Kramer, G.F., M. Tyszler, P. v't Veer, H. Blonk (2017) Decreasing the overall environmental impact of the Dutch diet: How to find healthy and sustainable diets with limited changes, *Public Health Nutrition* (2017), pp. 1-11, 10.1017/s1368980017000349
- Lau, D.C.W. (1981) Utilization of sewage sludge as a resource for protein extraction and recovery, *Conservation & Recycling*, Volume 4, Issue 3, Pages 193-200
- Luske, B. & H. Blonk (2009): Milieueffecten van dierlijke bijproducten, Blonk Milieuadvies, rapport, https://www.blonkconsultants.nl/wp-content/uploads/2016/10/rapportage_bijproducten_finale_versie.pdf
- Marketwatch (2019) Microalgae market size. <https://www.marketwatch.com/press-release/microalgae-market-2019-industry-research-share-trend-global-industry-size-price-analysis-regional-outlook-to-2025-research-report-2019-08-22> (2019).
- Mes, J., Maarten Kootstra, Sander van den Burg, Marieke Bruins, Floor Boon, Aard de Jong, Addie van der Sluis, Adrie van der Werf, 2021, Wat is de toekomst voor eiwit uit Noordzee zeewier?, Wageningen Food & Biobased Research, memo, <https://edepot.wur.nl/548874>
- Moore, D., G.D. Robson & A.P.J. Trinci, 2021. 21st century guidebook to fungi, second edition, revisited 2021 online edition, section 17.18 The Quorn fermentation and evolution in fermenters, http://www.davidmoore.org.uk/21st_century_guidebook_to_fungi_platinum/Ch17_18.htm
- Nevedi, 2021, Duurzame Soja, Factsheet, versie 5.5, 13 januari 2021, [https://assets.nevedi.nl/p/229376/none/20210113%20Factsheet%20Nevedi%20Duurzame%20soja\(1\).pdf](https://assets.nevedi.nl/p/229376/none/20210113%20Factsheet%20Nevedi%20Duurzame%20soja(1).pdf).
- Okanović, D., M. Ristić, Š. Kormanjoš, S. Filipović & B. Živković, 2009, chemical characteristics of poultry slaughterhouse byproducts, *Biotechnology in Animal Husbandry* 25 (1-2), p 143-152.
- Osman, A., M. Zanen, U. Prins & G.J. van der Burgt, 2007. Bakkwaliteit van biologische zomertarwe Relatie tussen bemesting, eiwitgehalte en broodvolume voor het ras Lavett, Louis Bolk Instituut.
- Powell JM, Gourley CJP, Rotz CA, Weaver DM (2010) Nitrogen use efficiency: A potential performance indicator and policy tool for dairy farms. *Environmental Science & Policy* 13, 217-228.
- Prins, U. 2007: Peulvruchten voor krachtvoer Krachtvoereiwit voor melkkoeien, melkgeiten, kippen en varkens, Louis Bolk Instituut.
- REFRESH (2019) Broeze, J., Luyckx, K., 2019: Identification of food waste conversion barriers. REFRESH Deliverable 6.11. <https://eu-refresh.org/identification-food-waste-conversion-barriers>.
- REFRESH (2019a) De Menna, F., J. Davis, M. Bowman et al.: LCA & LCC of food waste case studies. Assessment of food side flow prevention and valorisation routes in selected supply chains, REFRESH Deliverable 5.5., project report.
- van Duren et al., 2019. Memo 'Een realistische kijk op zeewierproductie in de Noordzee (BO-43-023.03-005)
- Ritala A., Häkkinen S.T. (2017). *Front. Microbiol.* 8:2009. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2017.02009>
- Ruiz J., Olivieri G., de Vree J., Bosma R., Willems P., Reith J.H., Eppink M.H.M., Kleinegris D.M.M., Wijffels R.H., Barbosa M.J. (2016) Towards industrial products from microalgae. *Energy & Environmental Science* 9: 3036 – 3043.
- Schut, J.Y.L., 2020, Analyzing potato protein isolates for their potential in developing meat analogues, master thesis, Lund University, Zweden.
- Seves, M., J. Verkaik-Kloosterman, L. Timme & K. van Raaij, 2015. Eiwitkwaliteit en voedselveiligheidsaspecten van nieuwe eiwitbronnen en van hun producttoepassingen, RIVM Briefrapport 2015-0176, <https://www.rivm.nl/bibliotheek/rapporten/2015-0176.pdf>
- Spirulina market. <https://www.alliedmarketresearch.com/spirulina-mar>
- Steins, N., H. Jansen, K. Troost & J. Capelle, 2021, Mosselweek en effecten op natuur, Wageningen Marine Research, <https://doi.org/10.18174/553848>.
- Stowa (2014) perspectieven en knelpunten van zuiveringsslib voor bodemkundig gebruik, Stowa rapport 2014 35.

-
- Suarez Garcia E., van Leeuwen J. J. A., Safi, C., Sijtsma L., van den Broel L.A.M., Eppink M.H.M., Wijffels R.H., van den Berg C. (2018) Techno-functional properties of crude extracts from the green microalgae *Tetraselmis suecica*. *J. Of Africultural and Food Chemistry* 66: 7831-7838
- Tilman, D.; Clark, M. (2014) Global diets link environmental sustainability and human health. *Nature*, 515, 518–522.
- Tritt, W.P. & Schuchardt (1992): Materials Flow and Possibilities of Treating Liquid and Solid Wastes from Slaughterhouses in Germany. A Review, *Bioresource Technology* 41, pp. 235-245.
- Van Dijk, W., R. van der Weide & C. van Gennep, 2016. Algae production pilot open ponds Lelystad, ACRRES, rapport PPO nr. 583, <https://www.acrres.nl/wp-content/uploads/2016/10/PPO-583.pdf>
- Van Huis, A.; Van Itterbeeck, J.; Klunder, H.; Mertens, E.; Halloran, A.; Muir, G.; Vantomme, P. *Edible Insects: Future Prospects for Food and Food; Food and Agriculture Organisation of the United Nations: Rome, Italy*, 2013.
- Van Vuure, C.A. (2017): Possible uses of processed slaughter co-products, Co-product workshop 2017 Dublin, https://www.teagasc.ie/media/website/publications/2017/3-Possible_uses_of_Processed_Slaughter_Co-Products-Carine_van_Vuure.pdf
- Verdelho, V. 30 minute outlook of microalgae biomass in Europe. in *ISRAELI ALGAE CONVENTION* (2019). Wageningen World, 2020, Suiker Unie haalt eiwit uit afvalstroom, Van waardeloos blad naar kostbaar poeder, *Wageningen World* 1, 2020, pp 18-21.
- Wegeberg S., Felby C. (2010). Algae biomass for bioenergy in Denmark. University of Copenhagen.
- Wijffels R.H., Barbosa M.J. (2010) An outlook on microalgal biofuels. *Science* 329: 796-799
- Wolkers, H., Maria Barbosa, Dorinde M.M. Kleinegris, Rouke Bosma, René H. Wijffels Editor: Paulien Harmsen, 2011. *Groene Grondstoffen. Microalgae: the green gold of the future? Large-scale sustainable cultivation of microalgae for the production of bulk commodities*, Wageningen UR. <https://edepot.wur.nl/170781>
- Van Zanten, H.H.E.; Mollenhorst, H.; Klootwijk, C.W.; van Middelaar, C.E.; de Boer, I.J.M., 2016, Global food supply: Land use efficiency of livestock systems. *Int. J. Life Cycle Assess.* 21, 747–758.

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



Wageningen Food & Biobased Research
Bornse Weiland 9
6708 WG Wageningen
www.wur.nl/wfbr
info.wfbr@wur.nl

Rapport 2239

De missie van Wageningen University & Research is 'To explore the potential of nature to improve the quality of life'. Binnen Wageningen University & Research bundelen Wageningen University en gespecialiseerde onderzoeksinstituten van Stichting Wageningen Research hun krachten om bij te dragen aan de oplossing van belangrijke vragen in het domein van gezonde voeding en leefomgeving. Met ongeveer 30 vestigingen, 6.800 medewerkers (6.000 fte) en 12.900 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.

