

KWR 2015.049 | September 2015

Toepassing van het “Power-to-Protein” concept in de stedelijke water- cyclus van Amsterdam

TKI Project Power to Protein

TKI-project Power to Protein

Toepassing van het “Power-to-Protein” concept in de stedelijke watercyclus van Amsterdam

KWR 2015.049 | September 2015

Deze activiteit is mede gefinancierd uit de Toeslag voor Topconsortia voor Kennis en Innovatie (TKI's) van het Ministerie van Economische Zaken

Opdrachtnummer

400826

Projectmanager

Luc Palmen

Samenwerkingspartners

Waternet/AEB

Kwaliteitsborger

Jan Vreeburg

Auteurs

Frank Oesterholt, Elize Versteeg, Willy Verstraete, Jos Boere

Verzonden aan

Waternet, AEB, Avecom

Jaar van publicatie
2015

Meer informatie

T 030 60 69 575
E frank.oesterholt@kwrwater.nl

PO Box 1072
3430 BB Nieuwegein
The Netherlands

T +31 (0)30 60 69 511
F +31 (0)30 60 61 165
E info@kwrwater.nl
I www.kwrwater.nl



KWR 2015 | September 2015 © KWR

Alle rechten voorbehouden.

Niets uit deze uitgave mag worden veelevoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand, of openbaar gemaakt, in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën, opnamen, of enig andere manier, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de uitgever.

Samenvatting

Het power-to-protein concept is ontwikkeld door de Universiteit Gent en Avecom en richt zich in essentie op het kortsluiten van de stikstofcyclus door rechtstreek ammonium in te bouwen in microbiële eiwit. Binnen het concept wordt gebruik gemaakt van lithotrofe waterstofoxiderende bacteriën die waterstof gebruiken als energiebron voor de vorming van single cell protein of SCP uit koolzuurgas, zuurstof en ammonium. Daarnaast zijn in kleine hoeveelheden mineralen nodig zoals fosfaat (± 9 kg per ton SCP). Avecom heeft inmiddels patent aangevraagd voor het concept om met waterstofoxiderende bacteriën 'biomoleculen' te produceren.

Eerste resultaten van Avecom met een kleinschalige opstelling gevoed met high-grade industriële gassen tonen aan dat SCP een eiwitrijke voedingsbron is met een aminozuren-profiel vergelijkbaar met dierlijk eiwit. Het product heeft een bijzonder lage feed conversion ratio ten opzichte van andere eiwitbronnen wat wijst op een zeer hoge efficiëntie in omzetting van de voedingsbronnen. Hierdoor draagt het bij aan het terugdringen van de emissies van broeikasgassen. Verder heeft het product geen smaak of ongewenste consistentie.

Doel van deze studie is het bepalen van de technisch/economische levensvatbaarheid van het concept power-to-protein binnen de watercyclus van de stad Amsterdam middels een integrale studie waarbij relevante vragen zijn gedefinieerd die in een vervolgtraject moeten worden opgelost (technisch, economisch, en anderszins).

In deze studie is voor de stad Amsterdam onderzocht wat de potentie is voor productie van SCP uit ammonium in digestaat van de slibverwerking op RWZI Amsterdam West. Hieruit blijkt een enorme potentie waarbij jaarlijks 6.300 ton eiwit kan worden geproduceerd. Extrapolatie op basis van inwonerequivalenten naar heel Nederland levert een potentie op van 125.000 ton SCP per jaar. Hiermee kan voor 36 % van de bevolking in de eiwitbehoefte worden voorzien (geen rekening houdend met de huidige overconsumptie van eiwitten). Een economische beschouwing voor de Amsterdam casus toont aan dat de productie van SCP economisch gezien potentie heeft maar dat het tegelijkertijd van belang is meer duidelijkheid te krijgen over de opbrengsten van het product op de eiwitmarkt (food/feed) en over de kosten voor de productie van waterstof en het vrijmaken van ammonium uit de bron. Als de hoeveelheid (kunst)mest die wordt uitgespaard voor de productie van equivalente hoeveelheid dierlijk eiwit wordt meegerekend, dan is mogelijk sprake van een positieve economische balans.

Naast een positieve balans tussen kosten en opbrengsten zijn ook de volgende productgerelateerde onderwerpen van belang bij het op de markt brengen van SCP:

- Complexe wet- en regelgeving voor toelating van een 'novel food'. Dit geldt voor het op de markt brengen van SCP zowel als menselijke en dierlijke voedingsbron. Deze regelgeving maakt de introductie tijdrovend en kostbaar. Mogelijk komt er eind 2015 een eenvoudiger systeem voor toelating.
- De noodzaak (op basis van bestaande wetgeving) voor microbiologische en toxicologisch onderzoek van het gevormde SCP. Verder is onderzoek naar voedingswaarde, verteerbaarheid en mogelijke allergene reacties die het SCP oproept bij mens en dier van belang.

- Acceptatie van novel food op basis van reststoffen uit de afvalwaterketen door het publiek. Hier is sprake van een apart vakgebied waarvoor specifieke expertise benodigd is, maar de kans op acceptatie kan worden verhoogd door een open en consistente communicatie over het product waarbij geen informatie wordt achtergehouden en waarbij het niet nodig is om in detail uit te leggen hoe het proces technisch verloopt. Publieke acceptatie zal worden verbeterd door SCP als feed te gebruiken in plaats van food.

Op grond van deze studie zijn volgende aanbevelingen gedaan:

Grondstoffen gerelateerd

- Er is nader onderzoek nodig naar het risico dat met de bronnen ammonium, kooldioxide en waterstof (via biomethaan) ongewenste stoffen waaronder organische microverontreinigingen en pathogenen worden aangevoerd naar de reactor voor SCP. Dit onderzoek is bepalend voor de benodigde opwerkingsstappen en is daarmee een belangrijke factor voor de productiekosten van SCP.
- Daarbij is parallel onderzoek nodig naar de meest optimale opwerkingsmethoden voor de grondstoffen voor de productie van SCP. Vooral het geschikt maken van de ammoniumbron en de productie van waterstof zijn kostenbepalend.
- Nader onderzocht moet worden of steam reforming in de praktijk ook kan worden uitgevoerd met biogas, dat wil zeggen zonder voorafgaande scheiding van CH_4 en CO_2 . Hiermee kunnen kosten worden bespaard. Daarnaast wordt de CO_2 die wordt gevormd bij de steam reforming van biomethaan normaal gesproken afgescheiden via PSA. Onderzocht moet worden of in deze situatie deze stap nog noodzakelijk is, aangezien beide componenten aan de reactor toegevoerd kunnen worden.
- Bij het opschalen van de productie moet aandacht worden besteed aan de veiligheidsaspecten rondom de toevoer en opslag van waterstof als energiedrager.

Product gerelateerd

- Er is pilot onderzoek nodig waarbij slechts voor één van de grondstoffen de koppeling wordt gemaakt met de afvalwaterketen en de andere grondstoffen als high-grade industriële gassen of producten worden toegevoerd, zodat inzicht ontstaat in de effecten op de microbiologie en toxicologie van het microbioom in de reactor.
- Er is nader onderzoek nodig naar de opwerkingsmethode voor de in de SCP-reactor geproduceerde biomassa naar een bruikbaar product.
- In verband met de (product)eisen die worden gesteld aan eiwitten bij introductie op de markt, wordt aanbevolen al in een vroeg stadium een partij bij het onderzoek te betrekken die juist op dit punt expertise kan inbrengen.
- Het traject om SCP als novel food op de markt te brengen moet nauwkeuriger in beeld worden gebracht voor wat betreft tijdspad en kosten.
- Parallel aan het pilot onderzoek zou moeten worden gestart met het toetsen van het power-to-protein concept bij maatschappelijke organisaties. Die weg moet voorzichtig worden betreden met een open, consistente communicatie waarbij niet alleen duidelijk wordt gemaakt waar we op dit moment staan en waar we naar toe willen, maar ook wat we op dit moment nog niet weten en om die reden nader onderzoeken.
- Ten behoeve van de marketing en communicatie over het product wordt overigens aanbevolen in een vroeg stadium specifieke expertise in te winnen.

Inhoud

1	Inleiding	6
1.1	Aanleiding	6
1.2	Afbakening	6
1.3	Positionering in relatie tot andere onderzoeksprojecten	7
2	Productie van SCP als onderdeel van de waterketen	8
2.1	Inleiding	8
2.2	Productie mechanisme SCP	9
2.3	Prior Art onderzoek	10
2.4	Uitwerking business case Amsterdam	13
2.5	Concurrentie met struvietwinning?	17
2.6	Economische beschouwing business case Amsterdam	17
2.7	Globale beschouwing energieverbruiken	19
2.8	Overige maatschappelijk baten van het power-to-protein concept	21
3	Productgerelateerde onderwerpen	23
3.1	Regelgeving en producteisen voor nieuwe eiwitten	23
3.2	Bestaande data SCP	28
3.3	Acceptatie door het publiek	31
3.4	Scan alternatieve toepassingen	33
3.5	Toetsing van het concept bij potentiële afnemers	33
4	Brongerelateerde onderwerpen	35
4.1	Overzicht productiemogelijkheden waterstof als primaire bron	35
4.2	Overzicht routes ammoniakwinning	36
4.3	Overzicht bronnen kooldioxide en betekenis i.v.m. CO ₂ -doelstellingen	36
5	Conclusies en aanbevelingen	38
6	Referenties	41
	Bijlage I Samenstelling SCP	43
	Bijlage II Informatie Feedkind™ en UniProtein®	44

1 Inleiding

1.1 Aanleiding

In de periode tot 2050 moet rekening worden gehouden met een stijging van de wereldbevolking tot ruim 9 miljard en landbouwopbrengsten die door de klimaatverandering onder druk komen te staan. Daardoor vormen in de komende decennia de beschikbaarheid van voldoende voedsel, energie en water wereldwijd reusachtige uitdagingen. Een universele oplossing ligt niet voor de hand; veeleer zal lokaal, situatiegericht maatwerk nodig zijn, mede gebaseerd op creatief en cross-sectoraal denken.

Een gerichte aanpak verlangt allereerst een nauwkeurig beeld van relevante stofstromen in een geografisch afgebakend gebied. Vervolgens kunnen opties worden bepaald. Een van de opties zou kunnen zijn *Power to Protein*, dat wil zeggen de productie van hoogwaardige eiwitten via biosynthese uit waterstof, kooldioxide en ammoniumstikstof.

Op deze wijze wordt een steeds schaarser goed – eiwit – gevormd uit reststoffen cq. -energie en wordt een verbinding tot stand gebracht binnen de ‘water – energie – food nexus’.

Het idee voor het concept *Power to Protein* is door prof. dr. ir. Willy Verstraete gelanceerd aan de Universiteit van Gent (LabMet) en wordt bij het bedrijf Avecom BV via pilotonderzoek verder ontwikkeld. De eerste resultaten van een kleinschalige laboratoriumopstelling (5 liter) zijn zodanig hoopvol dat Avecom in de zomer van 2015 is gestart met opschaling naar een grotere pilotopstelling (100 liter).

Doel van deze studie is het bepalen van de technisch/economische levensvatbaarheid van het concept *Power to Protein* middels een integrale studie en definiëren van de relevante vragen die moeten worden opgelost (technisch, economisch, en anderszins). Het onderzoek naar de technische en economische haalbaarheid zal worden gekoppeld aan relevante stofstromen in de urbane zone van de Gemeente Amsterdam (m.n. organische stromen en macronutriënten N, P).

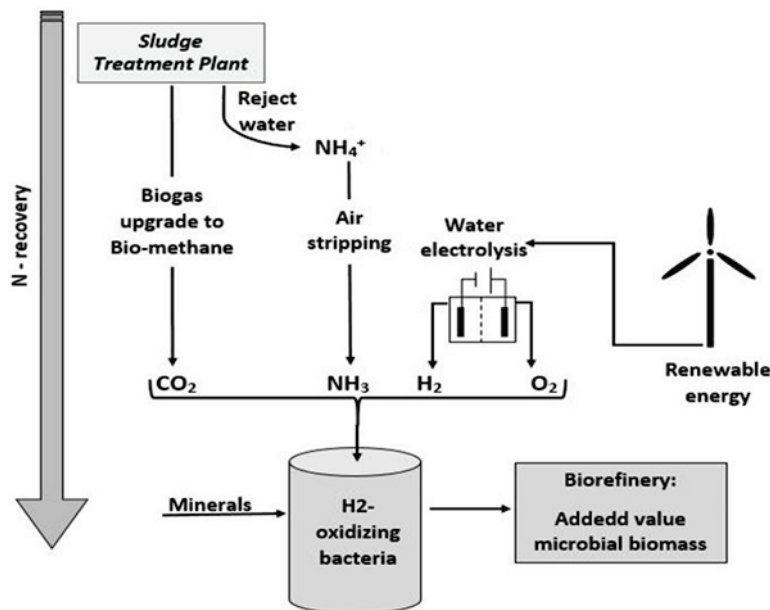
1.2 Afbakening

Naast de conventionele route (productie van eetbare dierlijke eiwitten) zijn meerdere alternatieve routes beschikbaar voor de productie van Single Cell Protein (SCP). Hierbij wordt onder andere gebruik gemaakt van algen (fotosynthese) of fototrofe, lithotrofe, organotrofe of methylootrofe bacteriën, systemen die passen binnen de gedachte van een circulaire, biobased economie.

De hoofdlijn van deze studie is de toepassing van aerobe lithotrofe (autotrofe) waterstof oxiderende bacteriën voor de productie van SCP (werknaam Promic) uit waterstof, kooldioxide en ammonium. Van belang daarbij is de koppeling van de SCP-productie aan de (communale) afvalwaterzuivering (RWZI) zodat gebruik wordt gemaakt van restproducten afkomstig van de RWZI of de daaraan gekoppelde slibvergisting. De productie van waterstof als primaire bron voor het proces kan verlopen via de verbranding van biogas in een brandstofcel of bijvoorbeeld via elektrolyse van water waarbij gebruik wordt gemaakt van ‘off peak’ groene elektriciteit. De voornaamste reden voor koppeling van het SCP-productieproces aan de RWZI houdt verband met de mogelijkheid om de kringloop van stikstof kort te sluiten waarbij ammonium direct wordt omgezet naar eiwitten. Dit levert

grote energetische voordelen op omdat zowel de energie-intensieve omzetting van ammonium via nitraat tot stikstofgas op de RWZI via nitrificatie/denitrificatie als de energie-intensieve productie van ammoniak via het Haber-Bosch-proces worden vermeden.

Het basisschema voor het concept 'power to protein' is opgenomen in onderstaande figuur.



FIGUUR 1: PRINCIPE VAN HET POWER-TO-PROTEIN CONCEPT

1.3 Positionering in relatie tot andere onderzoeksprojecten

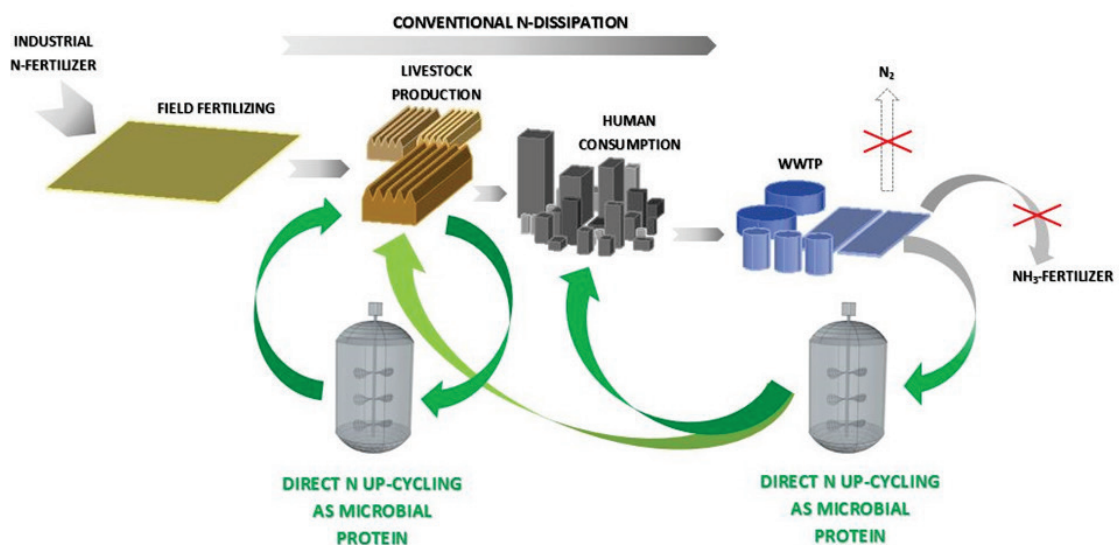
De volgende onderzoeksprojecten zijn aan deze studie gerelateerd:

- **Avecom:** Basisonderzoek hoofdlijn "*H₂ en CO₂ consumerend microbioom produceert Edible Microbial Protein*". Opschalen van het productieproces van SCP van 'proof of principle' naar het niveau van 5 tot 100 liter (2015). Sturen van de kwaliteit van het gevormde eiwit. Kortsluiten van de stikstofcyclus.
- **Wetsus:** twee aanvullende onderzoeksaspecten aan de hoofdlijn. In de eerste plaats onderzoek naar de samenstelling van het microbioom. Het gaat om een mengcultuur en alle daarin aanwezige micro-organismen moeten GRAS zijn (= generally regarded as safe), dus geen pathogene eigenschappen hebben. In de tweede plaats onderzoek naar de functionele voedingswaarde van het eiwit. Welke probiotica bevat het en hoe zijn de eigenschappen te sturen?
- **Speerpuntproject Waternet:** inventarisatie van bronnen voor organisch materiaal (biomassa) in de stad Amsterdam. De resultaten van die studie zijn gebruikt als input in dit project en zullen een eerste indicatie geven van de potentie van het concept.

2 Productie van SCP als onderdeel van de waterketen

2.1 Inleiding

Het power-to-protein concept richt zich in essentie op het kortsluiten van de stikstofcyclus waarbij ammonium dat vrijkomt in die cyclus door waterstofoxiderende bacteriën direct wordt ingebouwd in eiwitten (zie figuur 2). De productie van plantaardige en dierlijke eiwitten, die op dit moment nog de belangrijkste eiwitbronnen zijn in ons voedsel, is een weinig efficiënt proces. Het is afhankelijk van de productie van kunstmest uit stikstofgas via het Haber-Bosch-proces, dat verantwoordelijk is voor 1 tot 2 % van het wereldwijde energieverbruik, en het op het land brengen van die kunstmest voor de productie van plantaardige eiwitten die vervolgens weer deels worden gebruikt voor de productie van dierlijke eiwitten. Uiteindelijk wordt via die route slechts 17 % van de geproduceerde stikstof effectief vastgelegd in eiwitten (Matassa et al. 2015). Verliezen treden voornamelijk op door vervluchtiging en run off van ammoniak in de landbouw en door de omzetting van ammonium op rioolwaterzuiveringen tot stikstofgas via nitrificatie en denitrificatie. Het power-to-protein concept biedt mogelijk een efficiëntere manier om stikstof om te zetten in eetbare eiwitten.



FIGUUR 2 MOGELIJKHEDEN VOOR HET KORTSLUITEN VAN DE STIKSTOFCYCLUS VIA HET POWER-TO-PROTEIN CONCEPT

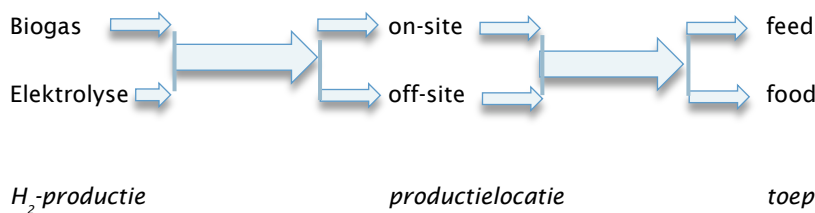
Dit project richt zich op dat deel van de stikstofcyclus dat raakt aan de watercyclus, in feite het rechterdeel van figuur 2. Het project moet antwoord geven op de vraag of ammonium vanuit het afvalwaterdeel van de watercyclus op een effectieve manier kan worden ingebouwd in microbiel eiwit, waarbij zowel omzetting van dat ammonium naar stikstofgas via nitrificatie/denitrificatie als de route waarbij vanuit de afvalwaterzuivering meststoffen worden geproduceerd (zoals struviet) worden vermeden. Die laatste route wordt als minder

efficiënt beschouwd omdat een groot deel (74 %) van de op het land opgebrachte meststoffen door vervluchting en door afspoeling verloren gaan.

Voor de inbouw van stikstof in microbiel eiwit via het power-to-protein concept is input van energie nodig. Die energie-input wordt binnen dat concept geleverd door waterstof. Waterstof kan in essentie op een tweetal manieren worden geproduceerd: uit biogas of biomethaan via stoomreforming (steam reforming) gevolgd door een gasscheidingstechnologie zoals PSA-technologie (PSA = pressure swing adsorption) of uit water via elektrolyse waarbij bijvoorbeeld gebruik wordt gemaakt van 'off peak' groene energie. (Die laatste optie is bepalend geweest voor de naam "power to protein"). Overigens wordt methaan in de vorm van aardgas of biomethaan in Noorwegen al gebruikt voor de grootschalige productie van SCP. Dit product vindt toepassing als grondstof voor de visteelt. Hierbij wordt gebruik gemaakt van aerobe methanotrofe microorganismen die methaan direct omzetten (Innovatienetwerk, 2005).

Vervolgens kan de productie van SCP op het terrein van de RWZI zelf plaatsvinden of off-site. Aspecten die daarbij een rol spelen zijn lokale factoren zoals ligging, ruimte en beschikbaarheid van off-peak groene elektriciteit maar in algemene zin ook zaken als operationele veiligheid en publieksacceptatie.

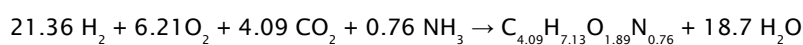
Ten slotte kan voor het eindproduct worden gekozen voor een food of een feed-toepassing, dat wil zeggen bestemd voor directe menselijke consumptie of bedoeld als voedingsstof voor de productie van dierlijke eiwitten (indirecte route). Ook hierbij spelen verschillende aspecten een rol zoals publieksacceptatie, maar ook efficiëntie in de keten van voedingsstof naar dierlijk eiwit. Bekend is dat de hoogste efficiëntie kan worden bereikt in aquaculturen (omzetting van SCP naar viseiwit). Daarnaast kan bij de microbiële omzetting sterk worden gestuurd op de vorming van polymeren zoals PHB (polyhydroxybutyraten) ten opzichte van eiwitten (SCP), bijvoorbeeld door N-limitatie. PHB wordt onderkend als een waardevol additief voor verbeterde diervoeding met een probiotische werking. De waarde van PHB overstijgt die van SCP.



FIGUUR 3 MOGELIJKE ROUTES VOOR PRODUCTIE VAN SCP VIA HET POWER-TO-PROTEIN CONCEPT

2.2 Productie mechanisme SCP

Voor de productie van SCP zijn waterstof, zuurstof, kooldioxide en ammoniumstikstof nodig als grondstoffen. Die grondstoffen worden omgezet in celmateriaal. Voor de stoichiometrie van celvorming in een autotrofe mengcultuur worden in de literatuur verschillende voorbeelden gegeven. Avecom hanteert de volgende stoichiometrie voor autotrofe celgroei voor een representatieve waterstofoxiderende bacterie (Avecom, 2014):



Uitgaande van 100% assimilatie van de grondstoffen kan op deze manier worden berekend hoeveel grondstoffen noodzakelijk zijn voor de productie van 1 ton droge (cel)stof. Als verder wordt aangenomen dat de conversie 80 % is en het gehalte van eiwit ongeveer 700

kg/ton droge stof bedraagt (70 %), kan worden berekend hoeveel van de verschillende grondstoffen benodigd is om 1 ton SCP te produceren:

- 786 kg H₂
- 2.924 kg O₂
- 3.309 kg CO₂
- 196 kg NH₄-N

Uiteraard zijn voor de omzetting ook andere mineralen waaronder fosfaat noodzakelijk. De benodigde hoeveelheden staan echter in geen verhouding tot de hierboven genoemde hoeveelheden voor de basis grondstoffen. Hierdoor is de invloed op de kosten zeer gering. Als voorbeeld is voor de productie van 1 ton SCP slechts 9 kg P vereist.

2.3 Prior Art onderzoek

Avecom heeft begin februari patent aangevraagd bij het Europees patent Office, met als titel en omschrijving: "*Method for producing biomolecules by means of hydrogenotrophic bacteria*". "*The invention pertains to the technical field of bioconversion of biologically available organic carbon, nitrogen and/or phosphorus towards biomolecules which can be applied in the production of feed and food. This invention contributes to an optimization of resource recovery and sustainable production of feed and food commodities in the light of a bio-based circular economy.*" PCT/EP2015/053755.

Binnen Scopus is een quick scan uitgevoerd naar andere bestaande patenten en octrooien. Hierbij is gebruik gemaakt van de volgende Engelstalige zoektermen:

- autotrophic
- single cell protein
- hydrogen oxidizing
- ammonia

Dit leverde geen relevante patenten op.

Een search met vergelijkbare zoektermen via Google Patent Search levert een aantal patenten op van de firma *Kiverdi* die aansluiten bij het Power-to-Protein concept. De patenten hebben een vrij algemeen karakter waardoor het Power-to-Protein -concept er in principe onder valt. Hieronder zijn vier patenten kort samengevat.

EP2521790 A1 (publicatiedatum 14 november 2012). John Reed, Kiverdi Inc. Titel: "*Biological and chemical process utilizing chemoautotrophic microorganisms for the chemosynthetic fixation of carbon dioxide and/or other inorganic carbon sources into organic compounds, and the generation of additional useful products*".

(overeenkomstig US-patent):

US20130078690 A1 (publicatiedatum 28 maart 2013), John Reed, Kiverdi Inc. Titel: "*Biological and chemical process utilizing chemoautotrophic microorganisms for the chemosynthetic fixation of carbon dioxide and/or other inorganic carbon sources into organic compounds, and the generation of additional useful products*"

WO2013090769 A3 (publicatiedatum 14 dec 2012). Peter Dalla-Betta, John Reed, Kiverdi Inc. Titel: "*Method and apparatus for growing microbial cultures that require gaseous electron donors, electron acceptors, carbon sources, or other nutrients. Compositions and methods*"

and apparatus for growth and maintenance of microorganisms and/or bioprocesses using one or more gases as electron donors, electron acceptors, carbon sources, or other nutrients, and for a bioprocess that converts hydrogen and carbon dioxide, or syngas, or producer gas into lipid products, bio-based oils, or other biochemical products.

WO2013148348 A1 (publicatiedatum 3 oktober 2013). Itzhak Kurek, Joh Reed e.o. , Kiverdi Inc. Titel/samenvatting: *Engineered co2-fixing chemotrophic microorganisms producing carbon-based products and methods of using the same. Disclosed herein are microorganisms containing exogenous or heterologous nucleic acid sequences, wherein the microorganisms are capable of growing on gaseous carbon dioxide, gaseous hydrogen, syngas, or combinations thereof. In some embodiments the microorganisms are chemotrophic bacteria that produce or secrete at least 10% of lipid by weight. Also disclosed are methods of fixing gaseous carbon into organic carbon molecules useful for industrial processes.*"

In het kader van hun eigen onderzoekstraject is door Wetsus aanvullend een prior art studie uitgevoerd. Op het gebied van afvalwater heeft dit niet geresulteerd in aanvullende patenten. Bij het specifiek zoeken op "gassen" zijn twee patenten gevonden van twee Scandinavische bedrijven: Calysta Nutrition uit Noorwegen met het product FeedKind™ en UniBio uit Denemarken met het product UniProtein®.

Feedkind protein™

"FeedKind™ protein" is een eiwit dat wordt gepresenteerd als een alternatief voor soja en voor vismeel en dat gebruikt kan worden als voedermeel voor de aquatische industrie. Het wordt verkocht door een Noors bedrijf.

Door Calysta wordt de volgende omschrijving van FeedKind™ protein gegeven:

"A premium fish feed ingredient produced from naturally occurring microbes found in soil. Using a natural fermentation process similar to making yeast, these microbes produce a nutritious, high protein feed that is a sustainable alternative to fishmeal. FeedKind protein is kind to the customer, kind to the animal, and kind to the environment. The product is highly stable with no fiber content, no mercury content, and a high fat content that can reduce the need for supplemental fish oil."

Uitgaande van gerelateerde artikelen op de website van Calysta kan worden vastgesteld dat het gaat om "bacterial meal" (BM) dat wordt gevormd door fermentatie van aardgas met een bacteriecultuur op basis van voornamelijk *Methylococcus capsulatus*.

TABEL 1: KENMERKEN FEEDKIND PROTEIN T.O.V VISMEEL

	FeedKind™ Protein	Fishmeal
% Proteïne	70 %	60-72 %
% Fat	10 %	6-10 %
% Fiber	<1%	<1%
Shelf life	>12 months	2-6 months ¹

In de European Patent Office database is het volgende patent van Calysta Inc. gevonden:

Patent AU2013342143 (A1) — 2015-04-09

Titel: *Compositions and methods for biological production of fatty acid derivatives*

Het betreft een beschrijving van de samenstellingen en werkwijzen voor het produceren van biologisch vetzuurderivaten, zoals vetalcoholen, uit C (Carbon)².

¹ <http://calystanutrition.com/feedkind-protein/product/>

UniProtein®

Uniprotein® is een Single Cell Protein en een eindproduct van een gepatenteerde fermentatietechnologie, genaamd de “*U-Loop Technology*”. Deze proteïnes kunnen als alternatief voor soja en vismeel gebruikt worden in de diervoederindustrie en de aquatische industrie. Het bevat 71% proteïne en is geproduceerd door een microbiële cultuur te fermenteren met gas (methaan) of methanol als koolstofbron en energiebron³.

Patent AU4744100 (A) — 2000-12-05

Titel: *U-shape and/or nozzle-u-loop fermentor and method of carrying out a fermentation process*

“A U-shape and/or nozzle-U-loop fermentor has a U-part consisting of an essentially vertical downstream part (2), an essentially vertical upstream part (4), a U-shape bend part (3) which connects the lower ends of the downstream and upstream parts, an in-line pump (12) placed in the U-part for circulation of fermentation liquid in the fermentor, a top part (5) which is placed above the upper end of the downstream part, gas supply members (7, 8, 9, 10) which are provided in the U-part with appending static-mechanical mixing members (13, 14, 15, 16, 17) for the comminution of the gases introduced into the fermentation liquid, and supply members for water and nutrient salts (18) and (19), respectively, and in connection with the supply members (7, 8, 9, 10, 18, 19) or in by-pass arrangements in connection therewith one (or more) ion sensor(s) or analyser(s) (20, 21, 22, 23); for sensing the concentration of at least one of the ion species phosphate, ammonium, nitrate and hydrogen ion, oxygen sensor(s) for sensing the oxygen concentration, and at least one thermo phial for sensing the temperature, said sensor(s), analyser(s) and phial(s) delivering signals to a data processing system (PC), wherein the signals received are processed and the dosage of feed gases, water, minerals and pH adjustment means via the supply members (7, 8, 9, 10, 18, 19) are calculated and optimised from pre-programmed amounts relative to the results measured.”

Dit patent betreft een technische patentering op de reactor waarbij een u-vormige leiding de inlaad en uitlaat met elkaar verbindt, zodat recirculatie plaats kan vinden.

In bijlage II zijn de belangrijkste karakteristieken voor beide producten samengevat.

De conclusie luidt dat vergelijkbare patenten als die van Avecom gericht op biosynthese met waterstofoxiderende lithotrofe bacteriën niet zijn aangetroffen. Bestaande patenten richten zich vooral op biosynthese door middel van chemo-autotrofe micro-organismen met een algemene omschrijving en op biosynthese met behulp van methanotrofe micro-organismen met een zeer specifieke omschrijving en producten die al op de markt worden gebracht.

²http://worldwide.espacenet.com/publicationDetails/biblio?FT=D&date=20150409&DB=EPODOC&locale=nL_NL&CC=AU&NR=2013342143A1&KC=A1&ND=4

³<http://uniprotein.eu/our-products/>

2.4 Uitwerking business case Amsterdam

In dit onderzoek is het power-to-protein concept vooral beschouwd in relatie tot reststoffen die vrijkomen in de afvalwaterketen waarbij in deze paragraaf heel specifiek de relatie is gelegd met de RWZI's in de agglomeratie Amsterdam.

Als onderdeel van het speerpuntonderzoek voor Waternet is een inventarisatie uitgevoerd gericht op het terugwinnen van energie- en grondstoffen in de regio Amsterdam (KWR 2015). In deze studie is de totale inkomende N-vracht voor beide RWZI's in de agglomeratie Amsterdam becijferd op 4.425 ton/jaar. Indien wordt aangenomen dat het hierbij gaat om ammonium, ureum en organische stikstofverbindingen die uiteindelijk worden omgezet naar ammonium, kan de totale ammoniumvracht worden berekend op 5.700 ton NH_4 /jaar.

TABEL 2 BEREKENDE WAARDEN N-VRACHTEN IN HUISHOUELIJK AFVALWATER VAN AMSTERDAM (KWR, 2015)

Locatie	Inwoners aangesloten*	Inkomende N-vracht (ton/jaar)	Berekende ammoniumvracht (ton/jaar)
RWZI West	564.113	3.009	3.876
RWZI Westpoort	265.510	1.416	1.824
Totaal	829.623	4.425	5.700

Deze ammoniumvracht kan worden gebruikt voor het berekenen van de totale in het afvalwater aanwezige potentie voor de productie van SCP. Het exploiteren van deze ammoniumvracht voor de productie van SCP vereist echter vergaande aanpassingen aan de huidige manier van afvalwaterbehandeling.

In de huidige situatie is ammonium wel direct beschikbaar in het digestaat van de slibvergisting van beide RWZI's op RWZI Amsterdam West. Op basis van het technisch jaarverslag van Waternet uit 2013 kan worden berekend dat de jaarlijkse hoeveelheid digestaat (als waterige fractie uit uitgegist slib) ongeveer 578.000 ton per jaar bedraagt (Holthuisen, 2013). Dit is berekend uit het verschil van de jaarlijkse hoeveelheid uitgegist slib en de hoeveelheid afgevoerd ontwaterd slib. Uitgaande van een gemiddelde ammoniumconcentratie in het digestaat van 2.600 mg/kg voor vergistingsinstallaties in Nederland (Agentschap NL, 2013) kan hieruit een totale ammoniumvracht worden berekend van 1.500 ton NH_4 -N/jaar. Als wordt aangenomen dat ammonium via strippen wordt vrijgemaakt met een rendement van 82 %, dan kan op deze manier 1.235 ton NH_4 -N worden teruggewonnen voor de productie van SCP.

Op basis van het productiemechanisme in § 2.2 is in tabel 3 berekend hoeveel SCP uit het ammonium in het digestaat van de slibverwerking op de RWZI Amsterdam-West kan worden geproduceerd. Daarnaast is berekend wat de totale SCP-productiepotentie zou zijn uitgaande van het ammonium in het afvalwater dat naar beide RWZI's in Amsterdam wordt aangevoerd. Bij de berekeningen in deze paragraaf moet expliciet worden vermeld dat alles is uitgedrukt per kg SCP (puur eiwit) waarbij het in werkelijkheid gaat om gedroogde biomassa met een gehalte van ongeveer 70 % eiwit (zie § 2.2).

TABEL 3. BEREKENING POTENTIËLE PRODUCTIE SCP OP BASIS VAN DIGESTAAT SLIBVERGISTING EN TOTALE PRODUCTIEPOTENTIE STAD AMSTERDAM

	Avecom (2014)	RWZI's Amsterdam potentie digestaat slibvergisting	RWZI's Amsterdam totale potentie in afvalwater
Productie SCP benodigd:	1000 kg	6.300 ton/jaar	24.000 ton/jaar
ammonium NH ₄ -N	196 kg	1.235 ton/jaar	4.670 ton/jaar[#]
waterstof H ₂	786 kg	5.000 ton/jaar	18.900 ton/jaar
kooldioxide	3309 kg	21.000 ton/jaar	79.400 ton/jaar
zuurstof	2924 kg	18.400 ton/jaar	69.600 ton/jaar

[#] 5.700 ton (zie tabel 2) * 0,82 (rendement ammoniakstripper)

Naast vergisting van slib vormt ook vergisting van ander organisch afvalstoffen een mogelijk bron voor ammonium. In de vergister van de Meerlanden wordt bijvoorbeeld Groente, Fruit en tuinafval uit omliggende gemeenten vergist. Bij Orgaworld (greenmills fabriek) wordt supermarkt afval, voedsel en keukenafval, en biologisch verontreinigd industrieel afvalwater vergist. Verder zijn er plannen bij AEB om een nieuwe vergister te bouwen voor de vergisting van de natte organische fractie van GF-afval die vrijkomt na de scheiding uit restafval en de verwijdering van plastic.

Op basis van de resultaten in tabel 3 kan ook een extrapolatie worden gemaakt naar heel Nederland, bijvoorbeeld op basis van de verhouding van het aantal inwonerequivalenten (factor 20 uitgaande van 24,5 mln i.e. voor NL ten opzichte van 1,22 mln i.e. voor beide RWZI's van Amsterdam). Op grond daarvan kan worden vastgesteld dat uit digestaat afkomstig van vergisting van zuiverings-slib in heel Nederland jaarlijks ongeveer 125.000 ton eiwit kan worden geproduceerd.

Een Nederlander heeft volgens het Voedingscentrum gemiddeld 0,8 gram eiwit per kg lichaamsgewicht per dag nodig. Uitgaande van een gemiddeld gewicht man/vrouw van 75 kg (CBS data, 2012) kan op grond hiervan berekend worden dat jaarlijks per persoon ongeveer 22,5 kg eiwit moet worden ingenomen via het voedsel. Het gaat hierbij om de daadwerkelijk benodigde hoeveelheid eiwitten. In werkelijkheid is sprake van een aanzienlijke 'overconsumptie' van ongeveer 40 %, voornamelijk door overconsumptie van vlees, zuivel en eieren. Voor de stad Amsterdam met ongeveer 767.500 inwoners betekent dit een netto jaarlijkse eiwitbehoefte van 17.250 ton/jaar. Dit betekent dat met SCP geproduceerd uit ammonium afkomstig uit digestaat van de slibvergisting in ongeveer 36 % van de totale netto eiwitbehoefte van de stad zou kunnen worden voorzien.

In tabel 3 zijn ook de benodigde hoeveelheden van de andere grondstoffen aangegeven waarvan vooral CO₂ en H₂ relevant zijn (aangezien zuurstof hier niet als een limiterende grondstof wordt beschouwd). Als bron kan voor beide gassen in de eerste plaats gebruik worden gemaakt van het bij de vergisting gevormde biogas wat voor ongeveer 60 % uit methaan en 38 % uit kooldioxide bestaat. Uit data van het speerpuntonderzoek (KWR, 2015) blijkt dat in 2013 ongeveer 11 mln Nm³ biogas is geproduceerd waaruit vervolgens groengas is geproduceerd. Bij de scheiding (via pressure swing adsorption of PSA) komt hierbij ongeveer 6.000 ton/jaar CO₂ vrij en een stroom groengas met 4.400 ton CH₄ en 1.450 ton CO₂. Deze gasstroom kan via steam reforming worden omgezet in waterstof en CO₂ via de

reactievergelijking in § 4.1. Uitgaande van een rendement van 70 % kan op die manier uit biomethaan 1.500 ton H₂ worden geproduceerd en 9.750 (8.300 + 1.450) ton CO₂.

In tabel 4 en het Sankey-diagram in figuur 4 is voor de situatie waarbij uit ammonium in het digestaat van de slibvergisting op Amsterdam-West SCP wordt geproduceerd (data uit tabel 3) een overzicht gegeven van de bronnen voor de verschillende grondstoffen en de benodigde tonnages per jaar. Hieruit blijkt dat zowel voor waterstof als kooldioxide nog externe bronnen gevonden moeten worden. Deze zijn cursief weergegeven in de tabel. Voor waterstof kan daarbij gedacht worden aan de productie via elektrolyse van water met 'off-peak' groene stroom. Voor kooldioxide zijn er verschillende leveranciers op de markt die kunnen worden onderverdeeld naar gaskwaliteit/eindgebruiker. Het aanbod van CO₂ in de markt is sterk locatie gebonden en wordt vooral bepaald door transportkosten. De aanbieder ligt daarom bij voorkeur geografisch gezien zo dicht mogelijk in de buurt (STOWA, 2014).

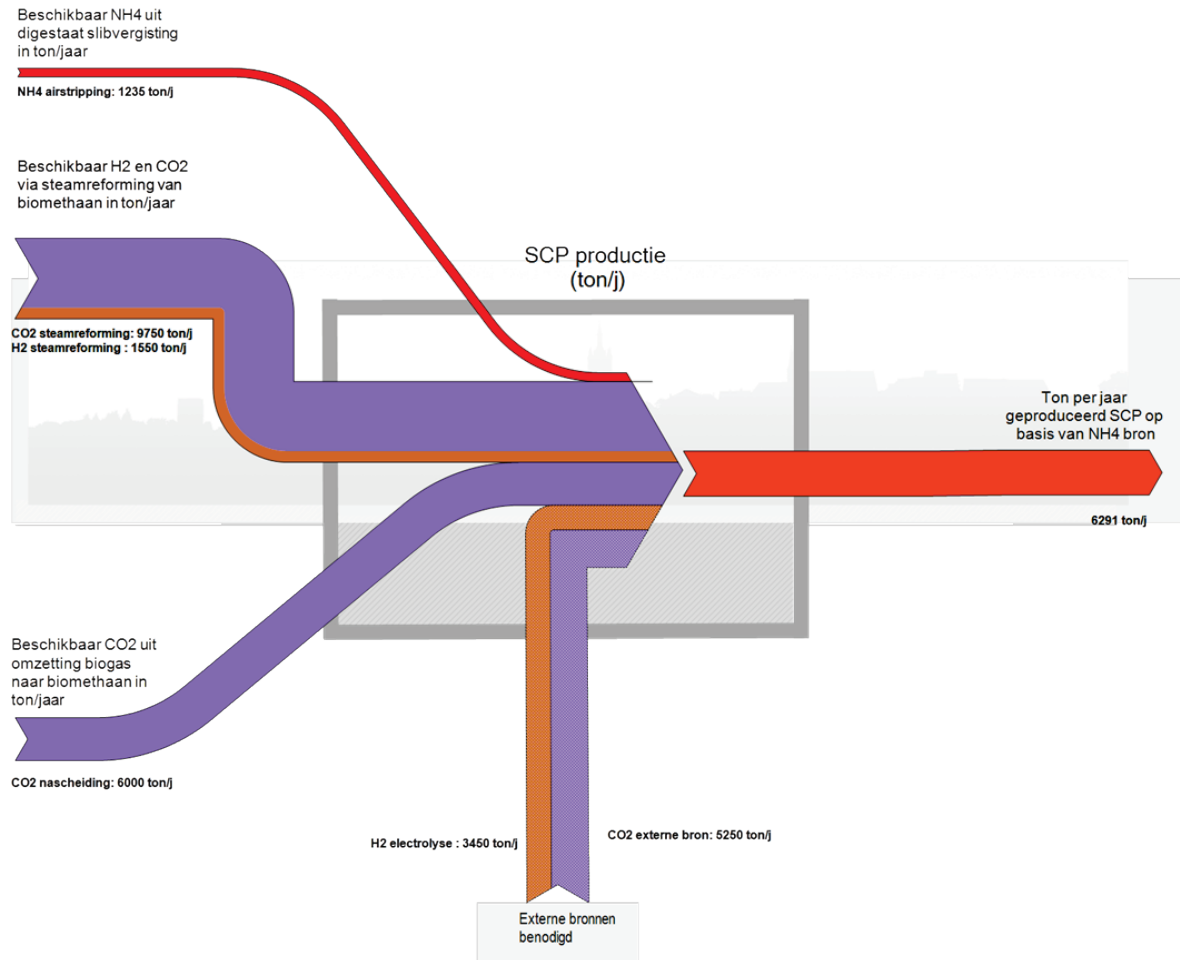
TABEL 4. BRONNENOVERZICHT VOOR DE PRODUCTIE VAN SCP OP BASIS VAN AMMONIUM IN HET DIGESTAAT VAN DE SLIBVERGISTING OP RWZI AMSTERDAM-WEST.

	Amsterdam-West digestaat hoeveelheid in ton/jaar	Bronnen	hoeveelheid in ton/jaar
Productie SCP	6.300		
ammonium NH ₄ -N	1.235	Uit digestaat via strippen	1.235
waterstof H ₂	5.000	Uit biomethaan via steam reforming	1.550
		<i>Via elektrolyse van water</i>	<i>3.450</i>
kooldioxide	21.000	Via opwerking biogas	6.000
		Uit bijproduct steam reforming biomethaan	9.750
		<i>Uit andere externe bron</i>	<i>5.250</i>
zuurstof	18.400	Door beluchting inbrengen	18.400

SCP productie balans PTP

- █ CO2 nascheiding [ton/j]
- █ Geproduceerd SCP met NH4 bron [ton/j]
- █ NH4 airstripping [ton/j]
- █ CO2 externe bron [ton/j]
- █ H2 electrolyse [ton/j]
- █ CO2 steamreforming [ton/j]
- █ H2 steamreforming [ton/j]

Benodigde productie per bron
 RWZI Amsterdam = rvz's Waternet
 BTO rapport: "Terugwinnen van energie- en grondstoffen in de regio Amsterdam", 2015



FIGUUR 4 SANKEY-DIAGRAM MET DE GRONDSTOFFENSTROMEN GEKWANTIFICEERD IN TONNEN PER JAAR VOOR DE PRODUCTIE VAN SCP

2.5 Concurrentie met struvietwinning?

Sinds enige jaren wordt uit het digestaat van de slibvergisting op RWZI Amsterdam West struviet gewonnen door middel van het Airprex-proces. Door een significante verbetering van de slibontwatering, vermindering van ongewenste afzettingen en een verlaging van de fosfaatbelasting van de zuivering worden met dit proces de kosten van de slibverwerking sterk verlaagd (Veltman, 2010). Op grond hiervan is het niet wenselijk om dit proces stop te zetten, waarbij direct de vraag rijst in hoeverre het proces concurreert met het power-to-protein concept.

Bij de vorming van struviet (magnesiumammoniumfosfaat of $Mg(NH_4)PO_4 \cdot 6H_2O$) wordt per mol fosfaat één mol ammonium gebonden. Als op basis van de uitgevoerde proeven in 2010 wordt aangenomen dat met struvietprecipitatie de fosfaatconcentratie in digestaat van 250 naar 40 mg/l kan worden teruggebracht (Veltman, 2010), betekent dit dat ongeveer 40 mg/l ammonium (2,21 mmol/l) wordt 'verbruikt' voor struvietprecipitatie. Ten opzichte van de totale ammoniumconcentratie in het digestaat is deze hoeveelheid te verwaarlozen (1 - 2 %). Op grond hiervan wordt geconcludeerd dat beide processen nauwelijks concurreren en dat het power-to-protein concept in het kader van nutriëntterugwinning in feite een uitstekende aanvulling is op struvietprecipitatie.

2.6 Economische beschouwing business case Amsterdam

In deze paragraaf is een globale economische beschouwing uitgevoerd voor de business case Amsterdam op basis van kentallen zoals opgenomen in tabel 5.

TABEL 5 OVERZICHT ECONOMISCHE KENTALLEN UIT LITERATUURBRONNEN

kosten/opbrengsten	eenheid	waarde	bron
<i>NH₄ uit digestaat</i>			
Luchtstrippen	€/kg NH ₄ -N	2,1 - 2,6 ⁴	(Menkveld, 2015)
	€/kg NH ₄ -N	3,1 - 4,5	(Avecom, 2014)
<i>H₂ productie</i>			
reforming biomethaan	€/kg H ₂	1,70	(Matassa et al., 2015a)
ruw biogas	€/Nm ³	0,125	(Waternet, 2015)
elektrolyse (wind)	€/kg H ₂	1,80	(Matassa et al., 2015a)
<i>CO₂ productie</i>			
pressure swing adsorption van biogas	€/Nm ³ biogas	0,06	(STOWA, 2014)
reforming biomethaan		0	bijproduct H ₂ productie
externe bron	€/kg CO ₂	0,075	(Avecom, 2014)
<i>SCP productie</i>			
operationele kosten	€/ton SCP	200	(Avecom, 2015)
kapitaalskosten	€/m ³ reactor	1.000	extrapolatie (Avecom, 2014)
afschrijving	lineair 10 jaar		(Avecom, 2014)
opbrengst SCP	€/ton SCP	1.000 - 2.000	(Avecom, 2014)
<i>NH₄ omzetting in RWZI</i>			
omzetting door nitr/denitr	€/kg NH ₄ -N	2,3 - 4,5	(Matassa et al., 2015a)

⁴ Uitgangspunt is een concentratie van 2,6 g NH₄-N/l digestaat en toepassing van het NAR-proces conform bron

Bij deze tabel moeten de volgende opmerkingen worden gemaakt:

- Aangenomen is dat biogas wordt omgezet in biomethaan (groengas) via PSA conform de huidige situatie. In dit verband is het relevant om uit te zoeken of steam reforming in de praktijk ook kan worden uitgevoerd met biogas, dat wil zeggen zonder voorafgaande scheiding van CH₄ en CO₂. Hiermee kunnen kosten worden bespaard.
- De CO₂ die wordt gevormd bij de steam reforming van biomethaan wordt normaal gesproken afgescheiden via PSA. In deze situatie is deze stap waarschijnlijk niet noodzakelijk aangezien beide componenten aan de reactor toegevoerd kunnen worden.
- Voor de kapitaalslasten van de benodigde reactoren voor de productie van SCP is een extrapolatie gemaakt van gegevens van Avecom die zij hebben gebruikt voor een studie naar de productie van SCP op de schaal van een boerderij (Avecom, 2014).
- Door ammonium om te zetten naar SCP wordt bespaard op de kosten die in de huidige situatie moeten worden gemaakt voor de omzetting van ammonium via nitrificatie/denitrificatie.

Binnen de business case Amsterdam is berekend dat jaarlijks 6.300 ton SCP kan worden geproduceerd. Uitgaande van 8.000 productie-uren per jaar betekent dit een productie van 790 kg SCP/uur of 18.900 kg SCP/dag. Avecom schat de productie van SCP op 10 kg per m³ reactor per dag, zodat ongeveer 1.900 m³ reactorvolume nodig is (Avecom, 2014).

Op basis van deze gegevens, de data in tabel 4 en de kentallen in tabel 5 is een overzicht opgesteld van de kosten en opbrengsten voor de productie van SCP uit ammonium in digestaat van de slibvergisting op Amsterdam-West (zie tabel 6). Die kosten en opbrengsten zijn berekend per jaar en per ton geproduceerd SCP.

TABEL 6 OVERZICHT KOSTEN EN OPBRENGSTEN PRODUCTIE SCP VOOR BUSINESS CASE AMSTERDAM

kosten	hoeveelheid (tabel 3)	k€/jaar		k€/ton SCP	
		min	max	min	max
<i>NH₄ uit digestaat</i>					
Luchtstrippen	1.235 ton	2.595	5.560	0,41	0,88
<i>H₂ productie</i>					
reforming biomethaan	1.550 ton	2.635	2.635	0,42	0,42
kosten ruw biogas	11 mln Nm ³	1.375	1.375	0,22	0,22
elektrolyse (wind)	3.450 ton	6.210	6.210	0,98	0,98
<i>CO₂ productie</i>					
pressure swing adsorption biogas	11 mln Nm ³	660	660	0,10	0,10
reforming biomethaan	9.750 ton	0	0	0	0
externe bron	5.250 ton	390	390	0,06	0,06
<i>SCP productie</i>					
operationele kosten	6.300 ton	1.260	1.260	0,20	0,20
afschrijving kapitaalskosten	1.900 m ³	190	190	0,03	0,03
totaal kosten		15.315	18.280	2,43	2,90

opbrengsten					
<i>vermeden NH₄ omzetting in RWZI omzetting door nitr./denitr.</i>	1.235 ton	2.840	5.560	0,45	0,88
<i>SCP productie</i>	6.300 ton	6.300	12.600	1,00	2,00
totaal opbrengsten		9.140	18.160	1,45	2,88

Uit tabel 6 blijkt dat de productie van waterstof als energie-input en de winning van ammonium (uit digestaat) als primaire grondstof vooral bepalend zijn voor de kosten per ton geproduceerd SCP. Op basis hiervan moet worden geconcludeerd dat het loont om onderzoek te doen naar een efficiënte manier om ammonium terug te winnen uit digestaat. Verder moet worden vastgesteld dat een opbrengst van 1.000 €/ton SCP in principe onvoldoende is om de kosten te kunnen compenseren. Op basis van deze uitgangspunten en berekeningen moet de opbrengst van SCP op de eiwitmarkt ten minste 1.500 €/ton bedragen. Op grond van eerste gesprekken met Barentz als handelaar in eiwitten (zie § 3.5) moet dit bedrag als relatief hoog worden gekwalificeerd en zou het in de praktijk moeten betekenen dat SCP een kwalitatief zeer hoogstaand eiwit is.

De totale kosten voor de productie van 6.300 ton SCP op basis van ammonium uit digestaat bedragen 15 tot 18 mln €/jaar. Daartegenover staan opbrengsten van 9 tot 18 mln €/jaar. Op basis van dit resultaat moet worden vastgesteld dat de productie van SCP economisch gezien potentie heeft waarbij het vooral van belang is enerzijds meer duidelijkheid te krijgen over de opbrengsten van het product op de eiwitmarkt (food/feed) en anderzijds meer duidelijkheid over de kosten voor de productie van waterstof en het vrijmaken van ammonium uit de bron.

Bovenstaande vergelijking tussen kosten en opbrengsten van de productie van SCP is gekaderd tot de afvalwaterketen van de stad Amsterdam. Breder maatschappelijk gezien zijn de besparingen groter omdat een deel van de reguliere eiwitproductie, bijvoorbeeld via de productie van vlees, komt te vervallen. Dit betekent dat minder kunstmest hoeft te worden geproduceerd voor het verbouwen van gewassen en vervolgens het vetmesten van dieren. Omdat dit deel van de cyclus een zeer lage efficiëntie heeft van gemiddeld nog geen 17 % kan die besparing aanzienlijk zijn (Matassa et al., 2015b). De 1.235 ton ammonium die jaarlijks in de business case van Amsterdam uit digestaat wordt gehaald, kan dan worden 'vertaald' in een verminderde (kunst)mestproductie van 7.300 ton/jaar. Uitgaande van de kosten voor ammoniak geproduceerd door de kunstmestindustrie van 0,575 €/kg NH₄-N (Avecom, 2014) betekent dit een aanvullende besparing/opbrengst van 4.200 k€/jaar waarmee de economische potentie voor de productie van SCP verder wordt vergroot.

2.7 Globale beschouwing energieverbruiken

In het kader van dit project is geen volledige LCA (levenscyclus analyse) uitgevoerd, maar is wel gekeken naar het primair energieverbruik voor productie van SCP. In tabel 7 is een overzicht gegeven van kentallen die daarbij zijn gehanteerd. Gezien het geringe aandeel in de totale kosten van de productie van CO₂ (zie tabel 6) is voor het energieverbruik een PM post opgenomen. De kosten voor productie van SCP zullen vooral worden bepaald door de productiekosten voor waterstof en het vrijmaken van ammonium uit de afvalwaterketen, waarvoor hier is uitgegaan van luchtstrippen.

TABEL 7 OVERZICHT KENTALLEN VOOR PRIMAIR ENERGIEVERBRUIK UIT LITERATUURBRONNEN

energieverbruik proces	eenheid	waarde	bron
<i>NH₄ uit digestaat</i>			
Luchtstrippen	MJ/kg NH ₄ -N	40	(Menkveld, 2015)
<i>H₂ productie</i>			
reforming biomethaan	MJ/kg H ₂	182	(Spath et al, 2001)
elektrolyse	MJ/kg H ₂	142	(Matassa et al., 2015b)
<i>CO₂ productie</i>			
pressure swing adsorption van biogas	MJ/kg CO ₂	PM1	
reforming biomethaan	MJ/kg CO ₂	0	bijproduct H ₂ productie
externe bron	MJ/kg CO ₂	0	
<i>SCP productie</i>			
energiekosten	MJ/ton SCP	10	(Avecom, 2015)
<i>NH₄ omzetting in RWZI</i>			
omzetting door nitr/denitr	MJ/kg NH ₄ -N	45	(Matassa et al., 2015b)
omzetting Annamox	MJ/kg NH ₄ -N	9	(Matassa et al., 2015b)
<i>N-fixatie door Haber-Bosch</i>	MJ/kg NH ₄ -N	45	(Matassa et al., 2015b)
netto fixatie in landbouw		0,4	(Matassa et al., 2015b)
netto eff. omz. naar varkenseiwit		0,33	(Matassa et al., 2015b)
netto eff. omz. naar rundereiwit		0,05	(Matassa et al., 2015b)

Op basis van de data in tabel 3 en de kentallen in tabel 7 is in tabel 8 een globale energieberekening gegeven voor de productie van SCP. Hierbij zijn twee scenario's onderscheiden, namelijk een scenario waarbij voor de elektrolyse van water gebruik wordt gemaakt van fossiele energiebronnen en een scenario waarbij uitsluitend hernieuwbare energiebronnen worden gebruikt. In die laatste situatie wordt 'off peak' groene stroom gebruikt voor de productie van waterstof als opslagmedium voor de overmaat aan elektrische energie.

TABEL 8 OVERZICHT PRIMAIR ENERGIEVERBRUIK PRODUCTIE SCP VOOR BUSINESS CASE AMSTERDAM

energieverbruik per kg SCP eiwit	benodigd op basis van tabel 2 aandeel op basis van tabel 3	MJ/kg SCP
<i>NH₄ uit digestaat</i>	0,2 kg N/kg SCP	
Luchtstrippen	aandeel 100 %	8
<i>vermeden NH₄ omzetting in RWZI</i>	0,2kg/kg SCP	
omzetting door nitr./denitr.		-9
annamox		-2

<i>H₂ productie</i>	<i>0,8 kg H₂/kg SCP</i>	
reforming biomethaan	aandeel 31 %	{0,31*0,8*182 =} 45
elektrolyse (fossiele energie)	aandeel 69 %	{0,69*0,8*142 =} 79
elektrolyse (hernieuwbare energie)	aandeel 69 %	0
<i>CO₂ productie</i>	<i>3,3 kg/kg SCP</i>	
pressure swing adsorption biogas		PM1
reforming biomethaan		0
externe bron		0
<i>SCP productie</i>		
operationele kosten/energie		10
totaal energieverbruik		
elektrolyse via:		
1 scenario fossiele energie		(133 - 140) + PM1
2 scenario hernieuwbare energie		(54 - 61) + PM1
Vergelijking met conventionele routes		
<i>vermeden fixatie van N via plantaardige route</i>	<i>0,2 kg/kg SCP equivalent</i>	{0,2*45/0,4 =} 23
<i>dierlijke route (varken)</i>		{0,2*45/0,4/0,33=} 69
<i>dierlijke route (rund)</i>		{0,2*45/0,4/0,05=} 450

Het energieverbruik voor de productie van 1 kg SCP wordt op basis van de berekening in tabel 8 geschat op 140 MJ uitgaande van fossiele energiebronnen. Indien voor de productie van waterstof via elektrolyse gebruik wordt gemaakt van hernieuwbare energiebronnen dan is het energiegebruik gelijk aan 60 MJ/kg SCP. Dit komt op basis van de huidige CO₂-emissiefactoren (0,146 kg CO₂/MJ voor grijze stroom) overeen met 9 kg CO₂/kg SCP.

In de tabel is een vergelijking gemaakt met het energieverbruik voor de productie van plantaardig en dierlijk eiwit. Die vergelijking is alleen gemaakt op basis van het energieverbruik voor de productie van stikstof als kunstmest via het Haber-Bosch-proces. Dat betekent dat het energieverbruik voor de bewerking van landbouwgronden, voor het oogsten, voor transporten in de akkerbouw bij de productie van plantaardig eiwit, evenals het energieverbruik voor stallen en veetransporten in de veehouderij in het geval van dierlijk eiwit, niet zijn meegenomen. Uit de vergelijking in tabel 8 blijkt dat, door de inefficiëntie van de conventionele N-cyclus door afspoeling en vervluchtiging van ammoniak in de landbouw waarbij veel stikstof verloren en door lage voedsel-vlees-conversie ratio's, het energieverbruik voor de productie van dierlijk eiwit al relatief hoog liggen in vergelijking met SCP.

In een toekomstig uit te voeren LCA zullen naast het energieverbruik ook andere aspecten in de vergelijking tussen SCP en andere eiwitbronnen moeten worden meegenomen, zoals de productie van biogassen in de conventionele N- cyclus (N₂O, CH₄ en CO₂), het landgebruik en het waterverbruik. Op al deze punten zal de productie van SCP aanzienlijk beter scoren.

2.8 Overige maatschappelijk baten van het power-to-protein concept

Op grond van bovenstaande beschouwing kan worden vastgesteld dat het kortsluiten van de N-cyclus door toepassing van het power-to-protein concept belangrijke opbrengsten heeft voor de samenleving die op dit moment nog niet zijn gekwantificeerd. Concreet betekent dit

onder andere minder productie van kunstmest, minder afspoeling van ammoniak vanuit de landbouw, minder eutrofiering van oppervlaktewater, minder inzet van gewasbeschermingsmiddelen en diergeneesmiddelen, minder uitstoot van broeikasgassen, meer ruimte voor natuur en minder zoetwatergebruik voor irrigatiedoeleinden.

Als de grondstoffen voor de productie van SCP worden geproduceerd met behulp van groene energiebronnen dan is het power-to-protein concept een netto verbruiker van koolzuurgas. Per ton SCP is ongeveer 3,3 ton koolzuurgas benodigd.

Waterstof is een belangrijke grondstof voor de productie van SCP en vormt de energie-input waarop het power-to-protein concept draait. Lokale productie van waterstof op basis van zogenaamde "offpeak" elektriciteit uit zonne-energie of windenergie op hetzelfde terrein heeft als belangrijk voordeel dat de lokale infrastructuur voor transport van elektriciteit niet hoeft te worden aangepast. Dit betekent in de praktijk dat de combinatie van grootschalige decentrale productie van SCP in Nederland in de toekomst gekoppeld aan de afvalwaterketen en de ambities van de waterbedrijven om groene energie te produceren op hun eigen terreinen aanvullende maatschappelijke baten oplevert.

3 Productgerelateerde onderwerpen

3.1 Regelgeving en producteisen voor nieuwe eiwitten

Van belang zijn de volgende vragen:

- Wat zijn de producteisen ten aanzien van eiwitten in Nederland, Europa en wereldwijd?
- Wat is de tijdslijn voor noodzakelijk onderzoek m.b.t. producteisen?
- Wat zijn globaal de kosten die moeten worden gemaakt om aan de regelgeving te voldoen?

Producteisen kunnen zich richten op allergeniciteit en verteerbaarheid van eiwitten, maar bijvoorbeeld ook toxiciteit en pathogeniteit.

In het geval het eiwitten betreft voor menselijke consumptie (food) is de volgende regelgeving van belang:

- General Food La (EG) nr. 178/2002, ofwel de Algemene Levensmiddelen Verordening beschrijft de algemene randvoorwaarden voor wetgeving voor voedselveiligheid zoals traceerbaarheid, verantwoordelijkheidsverdeling, uit de handel halen, recall, meldingsplicht e.d.
- Novel Food Verordening (EG) nr. 258/97. Deze richtlijn regelt de toelating van nieuwe voedingsmiddelen en nieuwe voedselingrediënten, o.a. voor de categorie Voedingsmiddelen en voedselingrediënten bestaande uit of geïsoleerd uit micro-organismen, schimmels en algen. Eisen betreffen o.a. een voedselveiligheidsdossier waarin wordt aangetoond dat er geen gevaar is voor de volksgezondheid. Testen op allergenen zijn nodig. Langdurig traject mede door inzage in andere EU-landen.
- Claim Verordening (EG) nr. 124/2006 heeft betrekking op voedings- en gezondheidsclaims voor levensmiddelen. Doel harmonisatie van claims op Europees niveau en bescherming van de consument. Producten moeten een vergunningsprocedure doorlopen waarin claims worden beoordeeld of ze duidelijk, nauwkeurig en wetenschappelijk onderbouwd zijn.
- Het "hygiëne pakket". De hygiëne van levensmiddelen wordt gereguleerd in drie verordeningen: Verordening (EG) nr. 183/2005 voor de productie van diervoeders, Verordening (EG) nr. 852/2004 voor levensmiddelenbedrijven en Verordening (EG) nr. 853/2004 specifiek voor levensmiddelen van dierlijke oorsprong.
- Etiketteringsrichtlijn 2000/13/EG". Sommige mensen ontwikkelen een allergische reactie na het eten van bepaald voedsel of additieve. Die reactie ontstaat als ze een bepaald voedingsmiddel niet kunnen tolereren en hun immuunsysteem betrokken is bij de symptomen. De stoffen in voedsel die verantwoordelijk zijn voor allergische reacties zijn vaak eiwitten. Relevant in Europees verband is een etiketteringsrichtlijn 2000/13/EG waarin o.a. de etikettering van voedselallergenen is geregeld.

Voor de regelgeving van diervoeder (feed) bestaan andere richtlijnen dan voor menselijke consumptie (food).

- Voor de 'feed route' is vooral de EG verordening 767/2009 relevant, hierin staat dat diervoeders of diervoedingrediënten moeten zijn opgenomen in de lijst met toegelaten producten. Via het 'Feed Materials Register' (www.feedmaterialsregister.eu) worden de nieuwe diervoedingrediënten geregistreerd en aangemeld. Het in de handel brengen van diervoeders brengt tevens voedselveiligheidseisen met zich mee van de Verordening 767/2009/EG (o.a. Art. 4), de Algemene Levensmiddelen Verordening (o.a. Art. 15) en de hygiëne voorschriften uit Verordening 183/2005/EG.
- Toelating van veevoederadditieven is opgenomen in Verordening 1831/2003. Ook voor veevoederadditieven is er een lijst met toegelaten producten: het European Union Register of Feed Additives (Spruijt, J. et al. 2014). (ec.europa.eu/food/food/animalnutrition/feedadditives/registeradditives_en.htm)

De producteisen voor food-toepassingen zijn veel strikter en daarbij moet ook aan meer voorwaarden worden voldaan. In de volgende paragraaf zijn per routing (feed of food) de voorwaarden nader uiteengezet.

3.1.1 Feed (diervoeder)

Wanneer een diervoeder niet in de lijst van het 'Feed Materials Register' voorkomt dient deze te worden aangemeld via een notificatie conform art. 24 lid 6, Verordening 767/2009/EG (Spruijt, J. et al. 2014). Het via het power-to-protein concept gevormde Single cell protein komt (nog) niet in het register voor en moet daarom worden aangemeld als een nieuw diervoeder. De aanmelding zal beoordeeld worden door de *European Food Safety Authority* (EFSA) die verantwoordelijk is voor het evalueren van de aangeleverde gegevens en een advies uitbrengt richting de commissie voor autorisatie van een nieuw diervoeder. Na een positieve beoordeling, zal de EFSA een concept opstellen met regelgeving voor de toelating van het nieuwe diervoeder in de Europese Unie. Dit concept zal de procedure ingaan waarbij alle betrokken lidstaten in de "*Standing Committee on Plants, Animals, Food And Feed*" hun uitspraak kunnen doen.

(http://ec.europa.eu/food/food/animalnutrition/feedadditives/legisl_en.print.htm)

Het bedrijf Nutrinsic heeft onlangs een Single Cell Protein, genaamd ProFLoc™, voor diervoeder op de markt gebracht. ProFLoc™ is een duurzaam alternatief voor andere plantaardige of dierlijke bronnen voor eiwitten. ProFLoc™ wordt geproduceerd van een reststroom nutriënten uit de voedsel- en drankenindustrie. In de VS is een productiefaciliteit gerealiseerd met een capaciteit van 5.000 ton/jaar. Het product komt overigens in juni 2015 nog niet voor in het (Europese) Feed Materials Register.

Conform informatie van Barentz BV komt de toelating van een voedingsstof als diervoeder in de praktijk neer op het certificeren van het product conform GMP+ (GMP Plus), waarbij GMP staat voor Good Manufacturing Practices (mondelinge informatie, 16 juni 2015). De "+" staat voor de integratie van HACCP in het certificatiesysteem (zie www.gmpplus.org)

3.1.2 Food (novelfoods)

Europese Unie

Om "nieuwe" eiwitten op de markt te brengen voor menselijke consumptie bestaat er een Novel Food Verordening (EG) nr. 258/97 waar een nieuw eiwit aan moet voldoen. Deze richtlijn regelt de toelating van nieuwe voedingsmiddelen en nieuwe voedselingrediënten, o.a. voor de categorie 'Voedingsmiddelen en voedselingrediënten' bestaande uit of geïsoleerd uit micro-organismen, schimmels en algen. Wanneer dit eiwit wordt geclassificeerd als een

zogenaamd 'novel food' zal de aanvrager van dit nieuwe initiatief een applicatiedossier moeten aanleggen met daarin alle essentiële informatie die benodigd is om aan de voorwaarden te kunnen voldoen en autorisatie te kunnen krijgen. De hele toelatingsprocedure kan 3 tot 5 jaar in beslag nemen. Voor het MKB wordt de procedure over het algemeen gekwalificeerd als 'te kostbaar'. Hierdoor is in de praktijk de introductie van novel foods vooral voorbehouden aan grote bedrijven.

Het dossier voor een nieuw eiwit zal de volgende elementen moeten bevatten (Wagenberg et al., 2014):

- Administratieve gegevens
- Globale omschrijving (classificaties van de novel food)
- Identificatie van essentiële informatie en vereisten
 - Specificaties van de novel food
 - Effect van het productieproces op de novel food
 - Gebruikersgeschiedenis van de bron van de novel food
 - Verwachte inname van de novel food
 - Informatie van menselijke inname en blootstelling van de novel food
 - Microbiologisch onderzoek
 - Toxicologisch onderzoek
- Consultation of structured schemes
 - Details van chemisch, microbiologisch en fysieke kenmerken van de Novel food moeten worden gespecificeerd.
 - Allergeniciteit potentie moet worden vastgesteld
 - Ook moet er onderzoek gedaan zijn naar levensduur, opslagvereisten, houdbaarheidsdatum en gebruikers instructie.
- Evaluatie en conclusie van de aanvrager

De Europese Commissie heeft in het voorjaar van 2015 een nieuw voorstel voor de herziening van de Novel Food Verordening opgesteld. De Europese parlementaire commissie voor Milieu, Volksgezondheid en Voedselveiligheid is in juli 2015 akkoord gegaan met dit ontwerp wetsvoorstel. Het voorstel houdt in dat een nieuw systeem voor toelating wordt opgezet op basis waarvan de toelatingsprocedure voor novel foods aanzienlijk wordt vereenvoudigd, dat wil zeggen goedkoper, efficiënter en sneller (18 maanden). Hiermee moet een einde worden gemaakt aan slepende toelatingsprocedures die nieuwe producten tot nu toe van de markt konden houden. In de praktijk betekent dit dat innovatie op voedingsgebied wordt bevorderd en ook kleine ondernemingen de kans krijgen om innovatieve voedingsproducten op de markt te brengen.

Het Europees Parlement zal in september 2015 definitief oordelen over het wetsvoorstel.

Nederland

De Nederlandse wetgeving volgt de Europese Novel food verordening. Wel moet aanvullend een procedure worden gevolgd bij het College ter Beoordeling van Geneesmiddelen (CBG), zie www.nieuwevoedingsmiddelen.nl (bron: NVWA). Ook kan daar inhoudelijk informatie worden gevonden van Novel foods en kunnen ondernemers dit raadplegen indien er vragen zijn.

Bij de commissie Veiligheidsbeoordeling Nieuwe Voedingsmiddelen (VNV) (gelieerd aan CBG) wordt de aanvraag voor een nieuw voedingsmiddel behandeld door een onafhankelijke commissie van deskundigen. De deskundigheid betreft een breed spectrum aan vakgebieden die relevant zijn voor de wetenschappelijke veiligheidsbeoordeling van een nieuw

voedingsmiddel (toxicologie, voedingskunde, microbiologie, gastro-enterologie, epidemiologie, statistiek, moleculaire biologie en allergologie).

Samen met de medewerkers van het Bureau Nieuwe Voedingsmiddelen vormt de commissie VNV op grond van de door de aanvrager verstrekte informatie een wetenschappelijk oordeel over de veiligheid van het product. Het beoordelingsrapport dient als advies aan de minister van VWS.

Hoe een nieuw voedingsmiddel op de markt moet worden gebracht staat nader toegelicht op de website van CBG: http://www.cbg-meb.nl/CBG/nl/nieuwe_voedingsmiddelen/toelating/Hoe_breng_ik_een_nieuw_voedingsmiddel_op_de_markt/default.htm

Op basis van een enquête uitgevoerd in opdracht van het Ministerie van Economische Zaken, Landbouw en Innovatie in 2012 blijkt dat bedrijven, publieke en juridische organisatie in Nederland de volgende - voor deze studie relevante - belemmeringen ervaren met betrekking tot de Novel Food Verordening (Wagenberg et al., 2012):

- Het voldoen aan de Verordening wordt als zeer lastig, tijdrovend en duur ervaren. Bovendien zijn de kosten vooraf moeilijk in te schatten.
- De autorisatieprocedure voor markttoelating wordt als 'niet rationeel' gezien omdat duidelijke eisen ontbreken.
- In de Verordening ontbreekt de definitie van hoe aan te tonen dat een nieuwe inhoudsstof 'allergeen' is.
- De complexiteit van het gegarandeerd mest-vrij krijgen van algen die gekweekt zijn op het groeimedium mest (mogelijke analogie met eiwit uit bronnen afvalwaterketen).
- Bedrijven realiseren zich gedurende hun innovatieproces soms niet op tijd wat de wettelijke eisen zijn.
- Duurzaamheidsvoordelen worden niet meegenomen in de afweging voor toelating onder de Verordening. Voedselveiligheid is nu het eerste en enige criterium.

Noord-Amerika

Voor de Noord-Amerikaanse markt zal een nieuw voedselproduct het predicaat GRAS moeten krijgen. De status GRAS staat voor: "Generally Recognized As Safe". Onder de secties 201 (s) en 409 van de "Federal Food, Drug and Cosmetic Act" staat beschreven dat elke toevoeging die met opzet toegevoegd wordt aan voedsel als "Foodadditive" wordt gezien, en heeft toestemming nodig van de FDA (<http://www.fda.gov/Food/IngredientsPackagingLabeling/GRAS/>). Als een foodadditive al een GRAS-status heeft, mag het toegevoegd worden.

Ook hier geldt dat een dossier met alle onderzoeksinformatie op toxisch, microbiologisch, chemisch en fysisch gebied vereist is. Om dit predicaat te krijgen zullen de volgende richtlijnen gevolgd moeten worden:

- *"Under sections 201(s) and 409 of the Act, and FDA's implementing regulations in 21 CFR 170.3 and 21 CFR 170.30, the use of a food substance may be GRAS either through scientific procedures or, for a substance used in food before 1958, through experience based on common use in food.*
- *Under 21 CFR 170.30(b), general recognition of safety through scientific procedures requires the same quantity and quality of scientific evidence as is required to obtain approval of the substance as a food additive and ordinarily is based upon published studies, which may be corroborated by unpublished studies and other data and information.*

- *Under 21 CFR 170.30(c) and 170.3(f), general recognition of safety through experience based on common use in foods requires a substantial history of consumption for food use by a significant number of consumers.”*

3.1.3 Producteisen

Voordat een nieuw eiwit op de markt mag komen als een nieuwe grondstof voor diervoeder of een novel food moet het product getest zijn op allergeniciteit. Dit gebeurt door middel van een toxicologisch onderzoek dat moet uitsluiten of er eigenschappen zijn in het eiwit die een allergische reactie veroorzaken op het immuunsysteem. De uitdaging in het toxicologisch onderzoek is om de eigenschappen die een allergische reactie op het immuunsysteem veroorzaken te identificeren. Dit kan door de peptidelengtes met analyses in eiwitten vast te stellen (Russel D. et al., 2000). Een peptide is een molecuul dat bestaat uit een klein aantal aminozuren dat verbonden is met peptidebindingen. Een peptide onderscheidt zich van een eiwit door het geringe aantal aminozuren in het molecuul, maar kan zelf dienen als bouwsteen voor een eiwit. Wanneer een allergische reactie is te verwachten van een novel food moet de aanvrager in het dossier een etiketvoorstel maken voor op het product (Zie etikettenrichtlijn 2000/13/EG) (Wagenberg et al., 2014). Voor de novel foods in gehydrolyseerde vorm is een onderzoek vereist waarbij de peptidelengtes in het gehydrolyseerde product worden vastgesteld. Wanneer de grootte van de peptiden aanwezig in de novel food naar grote waarschijnlijkheid geen belemmering zullen vormen en niet zullen zorgen voor allergische reacties, dan mag het etiketvoorstel worden verwijderd (Wagenberg et al., 2014).

Met het bedrijf Agri Nutrition als onderdeel van de Barentz Groep (zie ook § 3.5) is in het kader van dit project uitgebreid gesproken over factoren die van belang zijn voor de toepassing van SCP in diervoeding. Om te beginnen is het gehalte aan aminozuureiwit van belang voor de voedingswaarde. Meestal is naast de stikstof gebonden in aminozuren ook niet-eiwit stikstof aanwezig (NPN of non-protein nitrogen). NPN wordt in enkelmagige dieren niet omgezet in aminozuurstikstof. Een hoog gehalte aan NPN, veelal kernmateriaal of nucleotiden, kan om die reden de aminozuurvertering nadelig beïnvloeden. Een belangrijke vraag is dan ook of in de biosynthese van SCP gestuurd kan worden op de bijdrage van NPN in het product. Overigens is fractioneren van NPN en N-eiwit ook een optie. De eiwitkwaliteit en -waarde gaat dan omhoog en NPN (kernmateriaal) is daarnaast interessant als smaakversterker (additief).

Het gehalte aan mineralen is eveneens van belang voor de voedingswaarde van het product. Vooral het percentage opneembaar fosfor is belangrijk te weten. Hoeveel fosfor zit er in het product en in welke vorm.

Naast het gehalte aan aminozuren is het in de diervoeding belangrijk te weten welk percentage van de aminozuren in de dunne darm opgenomen worden. Dit bepaalt de verteerbaarheid van het product en wordt uitgedrukt als SID-waarde. Deze SID waarde, (Standardized Ileal Digestibility) kan zowel in vitro als in vivo worden bepaald. In het geval van hoogwaardig eiwit wordt de dierproef gedaan met biggen van ± 4 weken oud en daarvoor is ongeveer 30 - 50 kg product nodig. Voor een enzymatische labtest is slechts enkele honderden grammen nodig.

In de praktijk is de verteerbaarheid van een hoogwaardig eiwit product afhankelijk van het type droging dat wordt gebruikt. Uit onderzoek met dierlijke eiwitproducten blijkt dat spray drogers en paddle drogers weliswaar duur zijn, maar wel de hoogste eiwitverteerbaarheid opleveren (van >90 respectievelijk 84 %). Bij drum drogers en disk drogers ligt die waarde substantieel lager (70 respectievelijk 50 %). Dit houdt verband met de toepassing van relatief hoge droogtemperaturen bij de laatstgenoemde droogtechnieken. Dit is een belangrijk aspect om op termijn rekening mee te houden.

Oplosbaarheid van het eiwit in water is ook een belangrijk criterium. Als de oplosbaarheid goed is kan het worden toegevoegd aan melk voor kalveren en biggen. Dat verhoogt de waarde van het product aanzienlijk.

Ten slotte speelt ook bij diervoeder allergeniciteit een rol. Ook hier zijn in vivo en in vitro testen beschikbaar op bekende allergenen. Op voorhand verwacht Barentz op dit punt weinig problemen omdat het hier een nieuw gevormd eiwit betreft.

3.1.4 Conclusie

Er moet bij verschillende commissies en registers op nationaal en Europees niveau een aanvraag worden gedaan als novel food. Dit novel food moet toxicologisch, microbiologisch, chemisch, fysisch en naar allergeniciteit worden onderzocht en de informatie moet worden toegevoegd aan het aanvraagdossier. Ook zal de novel food qua regelgeving en onderzoeksverplichtingen aan alle richtlijnen moeten voldoen. Verstandig is om bij de aanvraag een zo volledig mogelijk dossier aan te leveren (dit om de tijdsduur te verkorten). In het rapport *Guideline for making application dossiers for novel proteins (Wagenberg et al., 2014)* staat beschreven dat de aanvraag complex is en ook veel tijd kost, omdat er verschillende procedures zijn bij verschillende registers. Dit maakt een aanvraag van een novel food in algemene zin kostbaar. Daarnaast moet uitvoerig laboratoriumonderzoek worden verricht ten behoeve van het aanvraagdossier. Over de exacte omvang van de kosten kon in deze studie geen specifieke informatie worden verzameld.

3.2 Bestaande data SCP

3.2.1 Voedingswaarde SCP

Voor SCP geproduceerd door aerobe lithotrofe (autotrofe) waterstofoxiderende bacteriën in de reactor van Avecom is de voedingswaarde eenmalig onderzocht. Het aminozurenprofiel (met tryptofaan) is gemaakt door het laboratorium van Eurofins (zie bijlage I). Het aminozurenprofiel van het eetbare eiwit (SCP) is vergeleken met een aminozurenprofiel van plantaardig en dierlijk eiwit. De eerste resultaten laten zien dat het gehalte aminozuren-eiwit is vastgesteld op 54,5%. Dit is hoger dan het gerapporteerde visvoer dat 54% aminozuren bevat. CD-Protein is een eiwitrijke voedingstof dat een vergelijkbaar aminozuurprofiel heeft als dierlijk eiwit en rijker is dan plantaardige eiwit. Het ruwe eiwitgehalte is vastgesteld op 70 %, met 4% vet en 7 % celmateriaal. Uitgaande van 10-20 % biopolymeren in de cel (PHA, PHB), die het product aanvullend een prebiotische waarde geven, kan de massabalans worden gesloten. Hiermee lijkt de claim gerechtvaardigd dat SCP een eiwitrijke voedingsbron is met een aminozurenprofiel vergelijkbaar met dierlijk eiwit en meer waardevol dan dat van plantaardig eiwit (Avecom, 2014).

3.2.2 Feed conversion ratio SCP

Voor dit onderdeel is de feed conversion ratio bepaald voor de single cell protein geproduceerd door lithotrofe (autotrofe) waterstof oxiderende bacteriën en vergeleken met die van andere eiwitbronnen waaronder insecten. De feed conversion ratio geeft aan hoeveel van het voedsel dat een dier of organisme tot zich neemt, wordt omgezet in eiwit. Broekhoven et. al. van de Wageningen Universiteit geeft voor de feed conversion ratio twee definities:

- *De feed conversion ratio is expressed on a fresh matter base as the feed conversion ratio (FCR): $FCR = \text{weight of ingested food} / \text{weight gained}$*
- *Feed conversion efficiency was expressed on a dry matter base as the efficiency of Conversion of Ingested food (ECI): $ECI = \text{weight gained} / \text{weight of ingested food} * 100$*

Voor single cell protein, geproduceerd via het power-to-protein concept, wordt uitgegaan van een FCR van 0,5. Die waarde is als volgt berekend:

Om 1 kg droge stof van bacteriën te maken, is 2.5 kg voedingsstoffen nodig (= 2.5 kg CZV = 2.5 kg suiker/zetmeel equivalent) (mondelijke informatie Verstraete, 2015). 1.0 Kg droge stof bacteriën komt bij een gehalte aan 20% droge stof neer op 5.0 kg bacteriën levend gewicht. De Feed Conversion Ratio (FCR) is dan 0.5 (2,5/5), namelijk netto benodigd 2.5 kg voedsel voor omzetting door organotrofe bacteriën wat 5 kg levende bacteriën (20% DS) oplevert (Verstraete et al., 2015)

In de literatuur zijn vele FCR's te vinden. Voor dit onderzoek zijn we uitgegaan van een FCR range.

In onderstaande tabel zijn de feed conversion ratio's weergegeven voor verschillende organismen:

TABEL 9 OVERZICHT van feed conversion ratio's voor verschillende organismen

Organisme	FCR	Yield
Micro-organismes PTP	0.5	0.4
Insecten	1,5-3	
Pluimvee	1.7-2,5	
Varkens	3	
Runderen	7-20	

Voor insecten is de FCR 1,5 terwijl deze voor micro-organismes 0,5 bedraagt. Deze verhouding van 1:3 is zeer kenmerkend voor de efficiëntie waarmee micro-organismes omgaan met het vermogen van omzetting tot product (proteïne). Hiervoor wordt ook de maatstaf yield gebruikt. Yield is de opbrengst van product per hoeveelheid substraat (Pronk, TU-Delft 2015).

3.2.3 Voor en nadelen van single cell protein ten opzichte van andere eiwitbronnen.

Insecten hebben als voordeel dat ze gemakkelijk te kweken zijn met minimale technische benodigdheden en daarom een lager startkapitaal nodig hebben. Daarbij zijn ze in structuur wanneer gevriesdroogd of gefrituurd knapperig en hebben ze een notensmaak. Het feit dat insecten volledig nog in structuur en vorm worden aangeboden, kan ook een nadeel zijn aangezien de pootjes en voelsprietten dan nog in tact zijn en dit in het westen als ongewenst wordt ervaren. Voor andere werelddelen zoals Azië, Latijns Amerika en Afrika wordt dit niet als een belemmering gezien. Daar is het eten van insecten al vele generaties ingeburgerd. In Nederland is de acceptatie voor het eten van insecten aan het veranderen gezien het verschijnen van het eerste insectenkookboek en de eerste gevriesdroogde insecten die in het assortiment van supermarkten worden aangeboden.

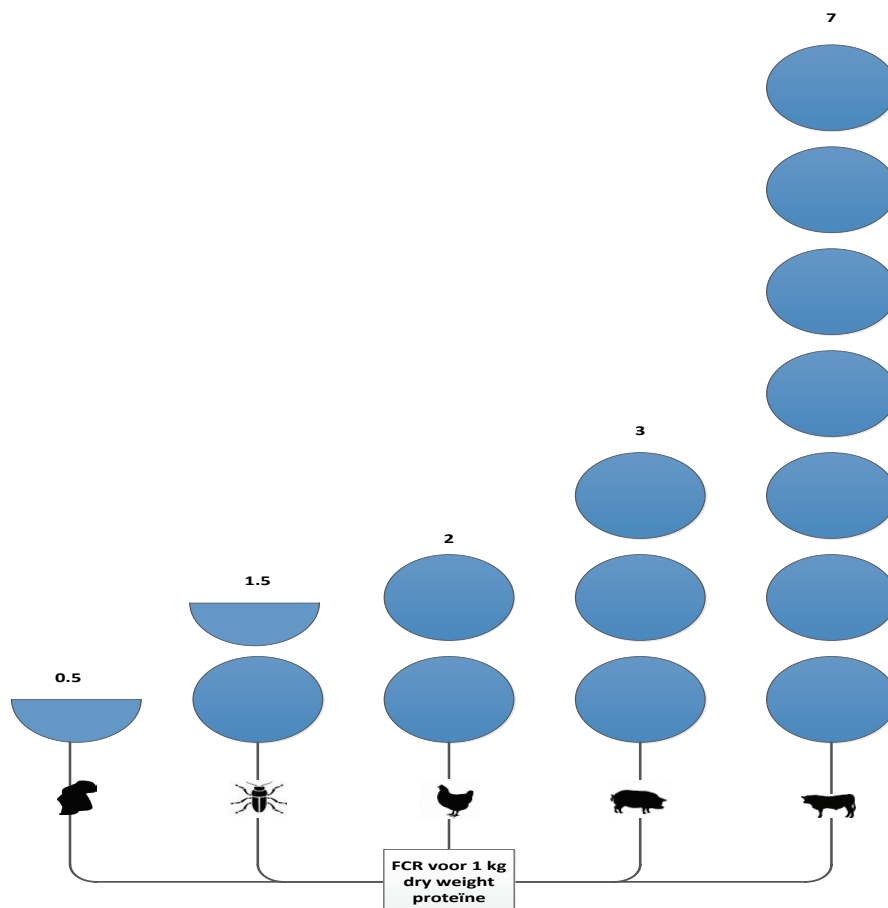
Afhankelijk van de opwerkingsmethode komt SCP in principe als product in poedervorm beschikbaar. Dit heeft als voordeel dat het eenvoudig verwerkt kan worden tot producten voor de diervoederindustrie en/of voor menselijke consumptie. Verder heeft SCP geen specifieke smaak of ongewenste consistentie wat de toepasbaarheid van het product verder vergroot.

Het microbiom dat SCP produceert heeft verder als voordeel aanzienlijk efficiënter te zijn in de opname en omzettingsproces van voedingsstoffen tot eiwitten. In figuur 5 is de feed

conversion ratio weergegeven van micro-organismen, insecten en vee. Hieruit blijkt dat de productie van SCP-eiwit drie keer efficiënter is dan insecteneiwit en 4 tot 14 keer efficiënter dan dierlijk eiwit.

SCP worden gemaakt uit vrij beschikbare componenten (CO_2 , NH_3 , H_2 , O_2) die veelal goed voorradig zijn. Dit vereist een hoog industriële toepassing waarmee, bij een relatief kleine footprint, met grote snelheid en efficiëntie eiwit kan worden geproduceerd. Hierbij draagt de productie van SCP bij aan reductie van stikstof op de RWZI's en aan de hoogwaardige toepassing van methaan. De emissie die samenhangt met de consumptie van eiwitten in Nederland (vlees, eieren en zuivel) bedraagt ongeveer 21.5 Mton CO_2 -eq. Dit is ongeveer 10% van de totale nationale emissies van Nederland. Voor alleen vlees gaat het om 16,5 Mton CO_2 . Deze cijfers zijn vergelijkbaar met de CO_2 emissie van al het personenverkeer in NL (Stichting Natuur en Milieu, 2012). SCP biedt een alternatief voor dierlijke eiwitten wat het milieu-impact van de eiwitconsumptie in Nederland aanzienlijk kan verkleinen.

De waardevermeerdering en de ruime beschikbaarheid van de grondstoffen om SCP te maken evenals de veelzijdigheid van het product leveren goede kansen op.



FIGUUR 5: FEED CONVERSION RATIO VOOR SINGLE CELL PROTEINS, INSECTEN, PLUIMVEE, VARKENS, EN RUNDEREN

3.3 Acceptatie door het publiek

Bij de meningsvorming van het publiek over een bepaald industrieel product spreken we over sociale perceptie. Deze vorm van perceptie kan worden gekleurd door ervaringen, culturele achtergrond, levensgeschiedenis en persoonlijkheidskenmerken. De mening over een product kan negatief of positief, gekleurd of bevooroordeeld zijn. Hoe dan ook is de perceptie van het publiek voor een bedrijf van essentieel belang aangezien een negatieve perceptie (al dan niet bevooroordeeld) kan leiden tot imagoschade. Productie van SCP op basis van restproducten uit de afvalwaterbehandeling kan weerstand oproepen bij het publiek. Daarbij speelt de associatie met riool, fecaliën en stankoverlast een belangrijke rol.

Productmarketing en bijbehorende communicatie vormen een apart vakgebied met een specifieke expertise. Het is aan te bevelen om in een vervolgproject gebruik te maken van deze expertise. In deze paragraaf is vooral gezocht naar analogie met ervaringen ten aanzien van publieke acceptatie bij het sluiten van de waterkringloop. Directe kringloopsluiting van water of direct hergebruik van andere stoffen uit afvalwater in de voedingsmiddelenindustrie, dat wil zeggen zonder tussenkomst van een natuurlijke buffer, roept ook weerstand op bij het grote publiek. In het geval van drinkwaterlevering is gebleken dat op plaatsen waar mensen beseffen dat er watertekorten bestaan en zij de gevolgen daarvan begrijpen, men eerder bereid is alternatieve maatregelen te accepteren. Desondanks wordt in veel gebieden die met watertekorten kampen direct hergebruik van afvalwater voor drinkwater niet geaccepteerd. In analogie is het ook voor eiwitten, als een van onze belangrijkste voedingsstoffen, uit te leggen dat op basis van de groei van de wereldbevolking, klimaatverandering en onze toenemende consumptie er een toenemende noodzaak ontstaat voor het zoeken naar alternatieven voor onze conventionele eiwitproductie via landbouw, veeteelt en visserij. Maar ook in dat geval zal men direct hergebruik van grondstoffen vanuit de communale watercyclus maar moeilijk accepteren.

Een belangrijke uitzondering in het geval van drinkwater is Singapore waar direct hergebruik van gezuiverd afvalwater wel wordt geaccepteerd, dankzij een uitgebreide strategie gericht op publiek besef en acceptatie. Voorstanders van direct hergebruik prefereren het hergebruiken van hun eigen afvalwater boven afvalwater afkomstig van een algemene bron.

In 2008 heeft KWR onderzoek gedaan naar de tevredenheid, voorkeuren en acceptatie van klanten met betrekking tot de drinkwaterlevering [KWR, 2008]. De acceptatie van hergebruikt water speelt in dat onderzoek ook een rol. De conclusie is dat het sluiten van de kringloop voor drinkwater algemeen niet als een attractieve oplossing wordt beschouwd. Het leidt tot wat de "yuck factor" is gaan heten. Een aantal beschouwingen uit het rapport zijn ook zinvol bij de beschouwing van het sluiten van kringlopen in de voedingsmiddelenindustrie:

- Zelfs als het hergebruikte water van de beste kwaliteit is, moet rekening worden gehouden met een emotionele barrière.
- Die emotionele barrière is lager als de afstand van de gebruiker tot de bron van het water voor kringloopsluiting kleiner is ofwel gebruikers zijn eerder geneigd om hun eigen afvalwater her te gebruiken dan afvalwater uit een algemene bron.
- Het is moeilijk om in algemene termen de emotie van mensen over kringloopsluiting te beschrijven omdat sociale, culturele factoren en soms zelfs religieuze factoren die emotie sterk beïnvloeden.
- De afwezigheid van expliciet bewijs voor angst tegen kringloopsluiting, betekent niet automatisch dat men ook werkelijk onbezorgd is.

Waarom zijn er dan toch projecten waarin direct hergebruik van RWZI-effluent als drinkwater wordt geaccepteerd door het publiek, zoals NEWater in Singapore en het Goreangab Water

Reclamation project in Namibië? De kritieke succesfactor ligt bij het erkennen van de noodzaak om een allesomvattende oplossing te vinden voor het ontwikkelen van publieke acceptatie en steun. In Singapore is dat bereikt door het opzetten van een bezoekerscentrum voor het publiek waardoor gestalte is gegeven aan bewustwording en acceptatie. Sinds de opening van het NEWater Visitor Centre in 2003 is het een belangrijke toeristische attractie geworden en een plek van belang voor de lokale gemeenschap. De bevolking is trots op wat er is gerealiseerd en trots op het vermogen van de stad om in de eigen watervoorziening te kunnen voorzien (zonder afhankelijk te zijn van Maleisië).

Nancarrow et al. (2009) hebben een model ontwikkeld en getest voor het voorspellen van op menselijk gedrag gebaseerde beslissingen met betrekking tot de acceptatie van kringloopsluiting via een rioolwaterzuivering met gebruiksopties waarbij sprake is van direct contact met het water. De belangrijkste uitdaging daarbij was het beantwoorden van de vraag waarom in algemene zin het publiek de noodzaak en logica wel inziet van het sluiten van de kringloop, maar tegelijkertijd terughoudend blijkt bij het gebruik ervan. De belangrijkste opbrengst van het model was het identificeren en adresseren van de sleutelfactoren die (meest waarschijnlijk) leiden tot steun van de gemeenschap voor kringloopsluiting. Het model is getoetst bij een regionale studie in Zuidoost Queensland in Australië waar was aangekondigd dat kringloopsluiting nodig was voor het zeker stellen van de drinkwatervoorziening in de toekomst. De kringloop zou worden gesloten door het gezuiverde effluent toe te voegen aan de waterreserves in een voorraadbekken (dam). Uit de resultaten blijkt dat de volgende omstandigheden direct aanleiding geven tot een toename van de kans om positief te beslissen over de voorgenomen kringloopsluiting (*Intended behaviour*):

- minder negatieve emoties bij het voorgenomen besluit;
- de perceptie dat belangrijke medeburgers het besluit zullen ondersteunen;
- een overtuiging in het feit dat het voorgenomen besluit berust op betrouwbare overwegingen;
- de perceptie van een laag gezondheidsrisico bij kringloopsluiting.

Meer negatieve emoties (*Emotion*) over kringloopsluiting leiden direct tot:

- een grotere perceptie van de dreiging van een falend systeem, wat weer leidt tot
- een hoger niveau van bewustzijn voor gezondheidsrisico's als gevolg van het voorgenomen besluit.

Een hoger niveau van vertrouwen (*Trust*) in autoriteiten leidt tot:

- een lager niveau van bewustzijn voor gezondheidsrisico's
- een lagere perceptie van de dreiging van een falend systeem.

Volgens de auteurs tonen de resultaten aan dat kennis (*knowledge*) als variabele nauwelijks van invloed is. Dit verklaart volgens hen het relatief geringe succes van scholingscampagnes. Die dragen nauwelijks bij tot acceptatie. Wel relevant is dat de autoriteiten investeren in een open en consistente communicatie met het publiek over onderwerpen die het publiek zorgen baren. Dit resulteert in vertrouwen (*trust*) en het model laat zien dat dit helpt om zowel de percepties van een falend systeem als gezondheidsrisico's te verlagen. Dit leidt vervolgens weer tot minder emotionele reacties ("*yuck factor*") en een verlaging van het effect van tegenstanders die juist inspelen op die emoties. (Opmerking: de "*yuck factor*" is de afwijzing door het publiek door een weerzinwekkend gevoel dat ontstaat bij de perceptie van het drinken van opgewerkt effluent van een rioolwaterzuivering).

Het door Nancarrow *et al.* ontwikkelde model is opgezet voor (indirecte of directe) kringloopsluiting en inzet van water als drinkwater. Hoe kunnen de resultaten worden vertaald naar de casus waarbij SCP wordt geproduceerd uit grondstoffen afkomstig uit de communale afvalwaterbehandeling?

Om te beginnen heeft het blijkbaar geen zin om als producent uit te leggen hoe het proces technisch verloopt (*knowledge*). Ook als technologisch gezien het gebruik van restproducten uit de afvalwaterbehandeling vrijwel uitsluitend via de gasfase verloopt en door tussenkomst van andere processen (omzetting biomethaan naar waterstof, strippen van ammoniak uit digestaat) kan worden aangetoond dat er slechts een zeer beperkt risico is op de aanwezigheid van ziekteverwekkers in het uiteindelijke product. Communicatie over het feit dat restproducten van de afvalwaterbehandeling worden toegepast, is wel verstandig. Bij het achterwege laten van communicatie loopt men het risico dat mensen er via andere wegen toch notie van krijgen. De kans dat mensen dan emotioneel gaan reageren is veel groter met alle negatieve gevolgen van dien, waaronder de introductie van de “*yuck factor*”. Het is verstandiger als bedrijf proactief te communiceren over het voornemen zodat vertrouwen (*trust*) wordt opgebouwd en men zich minder zorgen maakt over de productkwaliteit en de eigen gezondheid. Daarbij moeten de overwegingen van het bedrijf om voor het proces te kiezen aannemelijk en acceptabel zijn en betrouwbaar overkomen bij het publiek. De communicatie moet open en consistent zijn en bovendien moeten de feiten kloppen.

De publieke acceptatie zal ongetwijfeld sterk verbeteren in het geval SCP als diervoeder wordt toegepast (in plaats van het direct toe te voegen aan de menselijke voedselketen). In dat opzicht gaat eveneens de analogie op met de toepassing van een natuurlijke buffer bij het sluiten van de waterkringloop.

3.4 Scan alternatieve toepassingen

Naast de toepassing van SCP als feed/food zijn de industriële productie van yeast extract en de productie van foodgrade lijmen uit SCP alternatieve industriële toepassingen. In beide gevallen gaat het overigens om een aanzienlijk kleinere afzetmarkt.

Yeast extract is een relatief duur product dat wordt bereid uit gistcellen. Door biomassa voor de productie van SCP te hydrolyseren kan een alternatief voor gistextract worden geproduceerd.

Bij de productie van lijm wordt vooral gedacht aan foodgrade lijmen die in de voedingsmiddelenindustrie worden toegepast daar waar verpakkingen in contact komen met voedsel.

3.5 Toetsing van het concept bij potentiële afnemers

Potentiële afnemers voor SCP moeten worden gezocht in de food en de feed, dat wil zeggen voedingsproducenten en producenten van diervoeding (veevoeder, visvoer, PET-food). Daarnaast kan worden gedacht aan farmaceutische producten, bijvoorbeeld EPS (alginaten) die een immunologisch actieve werking hebben.

Voor de voedingsmiddelenindustrie zijn belangrijke argumenten voor het gebruik van SCP de diervriendelijkheid van het product en het feit dat het product ‘diervrij’ is en daarmee geschikt voor vegetariërs en veganisten. Doelbedrijven: Friesland Campina, Cosun, Corbion, Unilever, DSM en Darling Ingredients. Met deze bedrijven is tijdens het onderzoek contact gezocht. Vooral nog moet worden vastgesteld dat de bedrijven, met uitzondering van DSM, op dit moment geen interesse hebben in de technologie.

Belangrijk argument voor het toepassen van SCP als voedingsstof voor huisdieren is dat het glutenvrij (nu veel granen) is en eiwitten bevat die niet uit de voor mensen bestemde voedselketen stammen. Doelbedrijven in dit verband zijn Biomin en Knowhouse. Tijdens het onderzoek zijn gesprekken gevoerd met de firma Barentz in Hoofddorp. Barentz BV is een leverancier van ingrediënten voor de farmaceutische, voedingsmiddelen en diervoederindustrie. Ze verzorgen vooral de verkoop en distributie van ingrediënten en hebben zelf een aantal productielocaties waar specifieke mengsels worden bereid (blending). Volgens de contactpersonen bij Barentz is eiwit en vooral de duurzame productie van eiwit wereldwijd een 'hot topic' aan het worden. Voor eiwit met meer dan 70 % zuiverheid ligt de actuele verkoopprijs al boven de 1.000 €/ton. De verwachting is dat die prijs verder zal gaan stijgen omdat de vraag naar duurzaam geproduceerd eiwit gaat toenemen en in algemene zin steeds meer eiwitschaarste zal gaan optreden. Barentz heeft aangeboden om in een vervolproject vooral de marktkant te beoordelen door bijvoorbeeld onderzoek te doen naar de inzetmogelijkheden van een product en de daarvoor benodigde modificaties. Verder is Barentz bereid juridische ondersteuning te bieden die nodig is bij het op de markt brengen van een 'novel protein'.

4 Brongerelateerde onderwerpen

4.1 Overzicht productiemogelijkheden waterstof als primaire bron

Waterstof wordt tegenwoordig steeds meer gezien als compacte energiedrager en daarmee als een goede mogelijkheid om 'over geproduceerde' elektrische energie in op te slaan. Om die reden wordt veel onderzoek gedaan naar enerzijds nieuwe efficiënte productiemethoden voor waterstof en anderzijds naar efficiënte methoden om waterstof te verbranden. De hele ontwikkeling van brandstofcellen is onder andere hierop gebaseerd. The productie van waterstof uit hernieuwbare energiebronnen zal naar verwachting in de toekomst geleidelijk de huidige fossiele bronnen gaan vervangen. Deze technologische ontwikkelingen zullen op korte termijn zorgen voor een prijsverlaging voor 'groene' waterstof (Bartels et al., 2010).

Bij de productie van SCP is waterstof de brandstof of energie-input voor de lithotrofe microbiële mengcultuur in de reactor. Deze energie-input wordt in feite gebruikt voor de reassemblage van ammonium en kooldioxide tot eiwit. Gezien het duurzame karakter van dit productieproces dient voor de productie van waterstof als primaire bron ook duurzame technologie te worden ingezet. In relatie tot de behandeling van afvalwater en de aard van de daarbij betrokken bedrijven zijn de volgende opties denkbaar:

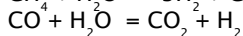
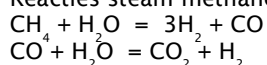
- steam reforming van biomethaan dat vrijkomt bij de slibvergisting of vrijkomt bij anaerobe waterzuiveringsprocessen;
- conventionele elektrolyse van water waarbij gebruik wordt gemaakt van 'off peak' elektriciteit opgewekt uit duurzame energiebronnen op het terrein van de RWZI, zoals wind- of zonne-energie
- conventionele elektrolyse van water waarbij gebruik wordt gemaakt van elektriciteit die vrijkomt bij de verbranding van biomethaan in een warmtekrachtcentrale.

Voorbeeld van technologieontwikkeling

De firma Hygear heeft onderzoek gedaan naar Reformate Enhanced Solid Oxide Electrolyser (RESEO) een vorm van (vast oxide) elektrolyse die verbeterd wordt door het gebruik van reformaat gas in de vorm van methaan of biogas. Dat reformaatgas reageert aan de anode met zuurstofionen tot koolzuurgas en water waardoor de zuurstofionen makkelijker door het membraan worden getrokken. Uiteindelijk betekent dit dat minder elektriciteit nodig is om waterstof te produceren (Dat verminderde elektriciteitsverbruik wordt gecompenseerd door verbruik van methaan). Met dit systeem kan een efficiëntie worden bereikt van tussen de 76 en 84 %. De efficiëntie van bestaande elektrolyse is ongeveer 70 %. Uit contact met Hygear (Dick Liefink, 19 februari 2015) blijkt dat het onderzoek bij een oriënterende studie is gebleven en niet heeft geresulteerd in een pilot. Volgens de referent is de technologie echter nog steeds interessant om verder te ontwikkelen

Hygear is overigens een producent van kleinschalige waterstofproducerende apparaten (5 - 50 Nm³/uur) op basis van 'steam methane reforming' in combinatie met PSA (Pressure Swing Adsorption) waarbij uiteindelijk 99,5 - 99,999 % zuiverheid wordt verkregen.

Reacties steam methane reforming



Hygear heeft interesse getoond in het project Power to Protein project.

4.2 Overzicht routes ammoniakwinning

De kracht van het idee voor productie van SCP met waterstofoxiderende bacteriën ligt vooral in de mogelijkheid om de stikstofcyclus kort te sluiten door mineraal stikstof (als ammonium) direct weer vast te leggen in eiwitten.

In de bestaande N-cyclus wordt NH_3 via het Haber-Bosch proces geproduceerd. Dat is een energie-intensief proces (ongeveer 1-2 % van de wereldenergieconsumptie wordt hieraan besteed). Het ammoniak wordt onder andere ingezet als meststof in de landbouw voor de teelt van voedingsstoffen (eiwitten uit planten of dieren) waarbij ook veel verliezen optreden. In de voedselketen komt het stikstof vervolgens weer vrij als ureum en ammoniak vooral in urine. In de huidige situatie van mestverwerking en rioolwaterbehandeling worden deze verbindingen veelal door nitrificatie en denitrificatie omgezet naar vrij stikstofgas waarmee de cyclus wordt gesloten. Voor de klassieke nitrificatie/denitrificatie is ongeveer net zoveel energie nodig als voor de productie van de equivalente hoeveelheid ammonium. Bij het Annamox proces is dat ongeveer 60 % lager. Het kortsluiten van de stikstofkringloop via de productie van SCP levert een belangrijk energiebesparing, voorkomt verliezen in de bemestingsketen en levert een efficiëntere voedselproductie op.

Bronnen voor ammonium:

- Aparte inzameling van urine via gescheiden sanitatie;
- Scheiding van mest in een natte en droge fractie;
- Digestaat van de slibvergisting op rioolwaterzuiveringen;
- Digestaat van de mestvergisting.

Methoden voor het terugwinnen van ammonium uit deze bronnen:

- Luchtstrippen en vervolgens binden van het ammoniak als ammoniumsulfaat of het ammoniak als gas toevoeren aan de reactor;
- Electrodialyse;
- Struvietprecipitatie (samen met fosfaat)
- Adsorptie via ionenwisseling.

Deze technologieën kenmerken zich over het algemeen door een hoog energieverbruik. Aangezien ammonium de meest essentiële grondstof is voor het power-to-protein concept en de kosten voor het winnen van deze grondstof bepalend zullen zijn voor de productiekosten, is het vinden van een efficiënte wijze voor ammonium-recovery een uitdaging.

Nijhuis Industries heeft een technologie ontwikkeld gebaseerd op luchtstrippen (NAR = Nijhuis Ammonia Recovery) die energie-efficiënt en daarmee kosteneffectief is voor de winning van ammonium uit het digestaat van de slibvergisting. Daarnaast is Nijhuis Industries bezig met het ontwikkelen van een nieuwe technologie waarmee ammonium uit de hoofdstroom van de RWZI kan worden verwijderd. Samen met onder andere Avecom is een projectvoorstel ingediend in het kader van het Horizon 2020 subsidieprogramma van de EU.

4.3 Overzicht bronnen kooldioxide en betekenis i.v.m. CO₂-doelstellingen

De volgende aspecten zijn relevant:

- Wat zijn de directe effecten van het inbouwen van CO₂ met betrekking tot de CO₂-doelstellingen;

- Wat zijn de netto bijeffecten van verminderd energieverbruik door het kortsluiten van de stikstofkringloop, energieverbruik voor H₂-productie en andere unit operations.

Voor de Waterschappen die beleidsdoelstellingen hebben afgesproken in het *Meerjaren afspraken Energie efficiency* (MJA3) en het klimaatakkoord dienen broeikasgasemissies in 2020 in vergelijking tot peiljaar 1999 met 30% te zijn afgenomen.

Dit kan gerealiseerd worden door energiebesparingsmaatregelen, duurzame energieproductie en reductie van lachgasemissies afkomstig van RWZI's (STOWA, 2014)

De terugwinning van CO₂ als bron voor eiwitproductie kan bijdragen aan een reductie van CO₂ emissies. Daarbij vindt door gebruik van een CO₂ bron die eerst als emissie werd uitgestoten een belangrijke waardevermeerdering plaats door er een hoogwaardig eiwitproduct van te maken. Uit de beschrijving van de business case Amsterdam in § 2.5 blijkt dat de vraag naar CO₂ in het Power to Protein concept zodanig groot is, dat aanvullende bronnen nodig zijn. Zo kan het Power to Protein concept een meer dan evenredige bijdrage leveren aan de gestelde doelstellingen van emissiereductie voor Waterschappen.

In het project *CO₂ winning op RWZI's van de STOWA uit 2014* is onderzoek gedaan naar de potentie van CO₂-terugwinning op de RWZI (STOWA, 2014). Uit het rapport blijkt dat Waterschappen een beperkte rol in volume beschikbaar CO₂ zal kunnen spelen op de huidige CO₂-markt. Het marktaandeel van Waterschappen bedraagt maximaal 4%. Er zijn maar een beperkt aantal leveranciers actief in Nederland en deze hebben relatief veel macht op de CO₂-markt.

Er zijn verschillende scheidingsopties voor CO₂ uit een gaststroom (STOWA, 2014):

- Cryogene scheiding: hierbij wordt door koeling CO₂ vloeibaar gemaakt zodat het kan worden gescheiden van de restgassen. Deze methode levert een hoge kwaliteit CO₂ (99 % zuiver) die onder andere voldoet aan de Kiwa-ATA norm.
- Chemische absorptie: deze methode levert, na cryogene scheiding, het beste scheidingsrendement. Het product kan worden afgezet in de glastuinbouw. Voor de levensmiddelenindustrie is cryogene nazuivering vereist.
- Wisseladsorptie en membraanfiltratie: deze technieken leveren een product dat, ongeacht de afzetmarkt, nog cryogene nazuivering vereist. Fysische adsorptie: hierbij worden grote hoeveelheden lucht gebruikt om CO₂ te desorberen en af te voeren. Als gevolg resteert een sterk verdunde CO₂-stroom, hetgeen winning van dit product economisch niet haalbaar maakt.

Het is op dit moment niet duidelijk welke zuiverheid het CO₂ gewonnen uit biogas moet hebben voor de productie van SCP. Indien de levensmiddelenindustrie op basis van de regelgeving hoge eisen gaat stellen aan de zuiverheid van het CO₂ uit biogas, dan kan dat een potentiële bedreiging zijn voor de haalbaarheid van de SCP-productie. Cryogene scheiding is namelijk een vrij kostbare techniek met een kostprijs per Nm³ biogas die 2 tot 3 keer hoger ligt dan die voor de andere technieken..

4.4 Overzicht mogelijke fosfaatbronnen

Voor de productie van SCP moeten in mindere mate aan de reactor mineralen worden toegevoerd waaronder fosfaten. Belangrijke fosfaatbronnen zijn onder andere struviet (magnesiumammoniumfosfaat) een gecombineerde ammonium/fosfaat bron, centraat uit de biologische defosfatering of digestaat uit de slibvergisting.

5 Conclusies en aanbevelingen

Het power to protein concept is ontwikkeld door de Universiteit Gent en Avecom en richt zich in essentie op het kortsluiten van de stikstofcyclus (N-cyclus) door rechtstreeks ammonium in te bouwen in microbiel eiwit. Binnen het concept wordt gebruik gemaakt van lithotrofe waterstofoxiderende bacteriën die waterstof gebruiken als energiebron voor de vorming van single cell protein of SCP uit koolzuurgas, zuurstof en ammonium. Daarnaast zijn in aanzienlijk kleinere hoeveelheden mineralen nodig zoals fosfaat.

Deze studie richt zich specifiek op het kortsluiten van de N-cyclus in de afvalwaterketen (RWZI) waarbij ammonium uit de afvalwaterketen wordt gebruikt als grondstof voor de productie van SCP. Binnen de gebruikelijke opzet van de afvalwaterbehandeling wordt het met het rioolwater aangevoerde ammonium grotendeels omgezet naar stikstofgas via nitrificatie/denitrificatie. Omdat RWZI's steeds meer worden beschouwd als grondstoffen- en energiefabriek is het tegenwoordig gebruikelijk om zuiveringsslib anaeroob te vergisten zodat biogas wordt geproduceerd. Bij deze vergisting komt tevens een grote hoeveelheid ammonium vrij via het digestaat (natte fractie). Dat digestaat wordt normaalgesproken (na behandeling) teruggevoerd naar de RWZI. Het ammonium in deze specifieke stroom kan worden benut voor de productie van SCP. Het biogas zelf is een bron voor kooldioxide en methaan dat via steam reforming kan worden omgezet in waterstof en (meer) kooldioxide.

Eerste resultaten van Avecom met een kleinschalige opstelling gevoed met high-grade industriële gassen tonen aan dat SCP een eiwitrijke voedingsbron is met een aminozuren profiel vergelijkbaar met dierlijk eiwit. Het product heeft een bijzonder lage feed conversion ratio ten opzichte van andere eiwitbronnen wat wijst op een zeer hoge efficiëntie in omzetting van de voedingsbronnen waardoor het bijdraagt aan het terugdringen van de emissies van broeikasgassen. Verder heeft het product geen smaak of ongewenste consistentie.

In deze studie is voor de stad Amsterdam onderzocht wat de potentie is voor productie van SCP uit ammonium in digestaat van de slibverwerking op RWZI Amsterdam West. Daarnaast zijn uiteraard ook andere business cases denkbaar, die in deze studie niet zijn beschouwd, zoals:

- Lokaal koppelen aan processen op agrarische bedrijven met mestvergisting. Lokaal kringloop kortsluiten voor stikstof (zie linkerdeel figuur 2).
- Lokaal koppelen aan aquacultuur (viskweek). Kringloop kortsluiten voor stikstof en water.

Uit de Amsterdam-casus volgt een enorme potentie waarbij jaarlijks 6.300 ton eiwit kan worden geproduceerd. Extrapolatie op basis van inwonerequivalenten naar heel Nederland levert een potentie op van 125.000 ton SCP per jaar. Hiermee kan voor 36 % van de bevolking in de eiwitbehoefte worden voorzien (geen rekening houdend met de huidige overconsumptie van eiwitten waardoor het percentage afneemt tot 26 %).

Uit de business case Amsterdam volgt dat de slibvergisting direct, maar ook indirect via steam reforming van methaan, onvoldoende waterstof en kooldioxide produceert. Hiervoor zijn aanvullende externe bronnen noodzakelijk. Voor waterstof is elektrolyse met 'off peak'

groen stroom een optie. Voor kooldioxide wordt bij voorkeur gezocht naar een nabijgelegen industriële bron of aanbieder. Uit de globale economische beschouwing blijkt dat de winning van ammonium (via luchtstrippen) en de elektrolyse van water vooral bepalend zijn voor de kosten per ton geproduceerd SCP. Het is daarom van belang onderzoek te doen naar efficiëntere technieken om ammonium terug te winnen uit waterstromen.

De productie van SCP heeft economisch gezien potentie maar dat hangt sterk af van de kosten voor de productie van de grondstoffen ammonium en waterstof en de verkoopwaarde van eindproduct. Als de hoeveelheid (kunst)mest die wordt uitgespaard voor de productie van equivalente hoeveelheid dierlijk eiwit wordt meegerekend, dan is er sprake van een positieve balans.

Naast een positieve balans tussen kosten en opbrengsten zijn ook de volgende productgerelateerde onderwerpen van belang bij het op de markt brengen van SCP:

- Complexe wet- en regelgeving voor toelating van een 'novel food'. Dit geldt voor het op de markt brengen van SCP zowel als menselijke en dierlijke voedingsbron. Deze regelgeving maakt de introductie tijdrovend en kostbaar.
- De noodzaak (op basis van die wetgeving) voor microbiologische en toxicologisch onderzoek van het gevormde SCP. Verder is onderzoek naar voedingswaarde, verteerbaarheid en mogelijke allergene reacties die het SCP oproept bij mens en dier van belang.
- Acceptatie van novel food op basis van reststoffen uit de afvalwaterketen door het publiek. De kans op acceptatie kan worden verhoogd door een open en consistente communicatie over het product waarbij geen informatie wordt achtergehouden en waarbij het niet nodig is om in detail uit te leggen hoe het proces technisch verloopt. Publieke acceptatie zal worden verbeterd door SCP als feed te gebruiken in plaats van food.

Voor zowel de kwaliteitsaspecten als de publieke acceptatie lijkt het op voorhand gunstig dat het SCP uitsluitend wordt geproduceerd uit componenten die in of via een gasfase aan de reactor worden toegevoerd. Hierbij wordt aangenomen dat ammonium via luchtstrippen uit de bron (digestaat) wordt verwijderd. Hoewel dit op voorhand geen sluitende garantie geeft, kan het in de gasfase brengen van de componenten worden gezien als een eerste barrière tegen ongewenste chemische en microbiologische componenten.

Verder zijn de opwerkingsmethoden van grondstoffen zelf van belang. Voor de opwaardering van biogas naar biomethaan waarbij kooldioxide wordt afgescheiden kunnen verschillende methoden worden toegepast die verschillende zuiverheid leveren van het kooldioxide. Cryogene nazuivering levert het meest zuivere product, maar deze methode is relatief duur. Opwerking van biomethaan tot waterstof via steam reforming kan, gezien de condities waaronder dit plaatsvindt, worden gezien als een absolute barrière tegen micro-organismen. Een belangrijke vraag op dit punt is overigens in hoeverre biogas wel moet worden opgewaardeerd tot biomethaan voor het toepassen van steam reforming. Indien de steam reforming kan worden uitgevoerd met onbehandeld biogas dan scheelt dit aanzienlijk in de kosten voor het produceren van de grondstoffen.

Op grond van deze studie worden volgende aanbevelingen gedaan:

Grondstoffen gerelateerd

- Er is nader onderzoek nodig naar het risico dat met de bronnen ammonium, kooldioxide en waterstof (via biomethaan) ongewenste stoffen waaronder organische

microverontreinigingen en pathogenen worden aangevoerd naar de reactor voor SCP. Dit onderzoek is bepalend voor de benodigde opwerkingsstappen en is daarmee een belangrijke factor voor de productiekosten van SCP.

- Daarbij is parallel onderzoek nodig naar de meest optimale opwerkingsmethoden voor de grondstoffen voor de productie van SCP. Vooral het geschikt maken van de ammoniumbron en de productie van waterstof zijn kostenbepalend.
- Nader onderzocht moet worden of steam reforming in de praktijk ook kan worden uitgevoerd met biogas, dat wil zeggen zonder voorafgaande scheiding van CH_4 en CO_2 . Hiermee kunnen kosten worden bespaard. Daarnaast wordt de CO_2 die wordt gevormd bij de steam reforming van biomethaan normaal gesproken afgescheiden via PSA. Onderzocht moet worden of in deze situatie deze stap nog noodzakelijk is, aangezien beide componenten aan de reactor toegevoerd kunnen worden.
- Bij het opschalen van de productie moet aandacht worden besteed aan de veiligheidsaspecten rondom de toevoer en opslag van waterstof als energiedrager.

Product gerelateerd

- Er is pilot onderzoek nodig waarbij slechts voor één van de grondstoffen de koppeling wordt gemaakt met de afvalwaterketen en de andere grondstoffen als high-grade industriële gassen of producten worden toegevoerd, zodat inzicht ontstaat in de effecten op de microbiologie en toxicologie van het microbioom in de reactor. Het ligt voor de hand om pilot onderzoek in eerste instantie te richten op de grondstof ammoniak/ammonium.
- Er is nader onderzoek nodig naar een effectieve en efficiënte opwerkingsmethode voor de in de SCP-reactor geproduceerde biomassa naar een bruikbaar product.
- In verband met de (product)eisen die worden gesteld aan eiwitten bij introductie op de markt, wordt aanbevolen al in een vroeg stadium een partij bij het onderzoek te betrekken die juist op dit punt expertise kan inbrengen.
- Het traject om SCP als novel food op de markt te brengen moet nauwkeuriger in beeld worden gebracht voor wat betreft tijdspad en kosten.
- Parallel aan het pilot onderzoek zou moeten worden gestart met het toetsen van het power-to-protein concept bij maatschappelijke organisaties. Die weg moet voorzichtig worden betreden met een open, consistente communicatie waarbij niet alleen duidelijk wordt gemaakt waar we op dit moment staan en waar we naar toe willen, maar ook wat we op dit moment nog niet weten en om die reden nader onderzoeken.
- Ten behoeve van de marketing en communicatie over het product wordt overigens aanbevolen in een vroeg stadium specifieke expertise in te winnen.

6 Referenties

Agentschap NL. Divisie Energie en Klimaat. Evaluatie van de vergisters in NL. Oktober 2013.

Avecom. Report H₂ to protein produces at farmscale from feed compatible components. Oktober 2014.

Avecom. Mondelinge informatie Silio Matassa overleg 31 juli 2015.

Matassa, S., N. Boon, W. Verstraete (2015a). Resource recovery from used water: the manufacturing abilities of hydrogen-oxidizing bacteria. WATER RESEARCH. 68. p.467-478, 2015

Matassa, S., D.J. Batstone, T.Hülsen, J. Schnoor, W.Verstraete (2015b). Can direct conversion of used nitrogen to new feed and protein help feed the world? Environ. Sci. Technol. 2015, 49, 5247 - 5254

Innovatienetwerk. Susteine. Single Cell Protein als alternatief voor soja: een haalbaarheidsstudie. Oktober 2005.

Hygear. Openbaar eindrapport Reformate Enhanced Solid Oxide Electrolyser (RESEO). Rapport HYG-SOE-RP.006. January 2011.

Nasseri, A.T. S. Rasoul-Amini, M.H. Morowvat, Y. Ghasemi. Single Cell Protein: Production and Process. Am. Journal of Food Technology 6(2), p. 103 -116, 2011.

Odegard, I.Y.R. , Bergsma, G.C. Y.R. Milieueffecten van verbeteropties voor de Nederlandse eiwitconsumptie, Stichting Natuur en Milieu, CE Delft, Delft 2012

Holthuijsen, S. & S. Koning (2013) Technisch Jaarverslag Afvalwater 2012. Waternet.

Huby, R.D.J., R.J. Dearman, I Kimber. Why Are Some Proteins Allergens? Toxicological Sciences 55, p. 235 -246, 2000.

Kimber, I. N.I. Kerkvliet, S.L. Taylor, J.D. Astwood, K. Sarlo, R.J. Dearman. Toxicology of Protein Allergenicity: Prediction and Characterization. Toxicological Sciences 48, p. 157-162, 1999.

KWR (2008). Consumer satisfaction, preferences and acceptance regarding drinking water services - An overview of literature findings and assessment methods. Rapport BTO2008.017.

KWR (2015). Terugwinnen van energie- en grondstoffen in de regio Amsterdam. BTO-speerpuntonderzoek voor Waternet. Concept mei 2015.

Menkveld, W. (2015). Recovery of ammonium from digestate as fertilizer. Presentation at the 1st IWA Resource Recovery Conference. Gent September 2015.

Spath, P.L. and M.K. Mann. Life cycle analysis of hydrogen production via natural gas steam reforming. National Renewable Energy Laboratory (NREL), Technical Report 570-27637, 2001.

Spruijt, J., Weide, R. van der, Krimpen, M. van. Kansen voor micro-algen als grondstofstroom in diervoeders. ACRRES, Wageningen UR. ACRRES-rapport 2014-619

STOWA. CO₂-winning op RWZI's. Stowa-rapport 21, 2014.

Veltman A. en J. de Danschutter, Teruwinen van fosfaatkunstmest uit zuiveringsslib verlaagt kosten van slibverwerking. H₂O/11, 2010.

Wagenberg, C.P.A. van, M.M. Eppink, S.R.M. Janssens, J. van der Roest, A.A. van der Sluis en M. van der Spiegel. Ontwikkeling en vermarkting van nieuwe eiwitten. Ervaren belemmeringen en oplossingen. LEI, Wageningen UR. LEI-rapport 2011-061. 2012

Wagenberg, C. van, B. Janssens, C. Kalk en A. van der Sluis. Guidelines for making application dossiers for novel proteins, Novel food dossiers: from black box to tool box. LEI, Wageningen UR. LEI-rapport 2014-075. 2014

Waternet. Schriftelijke informatie Enna Klaversma. 2015.

Websites

Nederland

- http://www.cbg-meb.nl/CBG/nl/nieuwe_voedingsmiddelen/toelating/Hoe_breng_ik_een_nieuw_voedingsmiddel_op_de_markt/default.htm
- www.nieuwevoedingsmiddelen.nl

Europa

- www.feedmaterialsregister.eu
- http://ec.europa.eu/food/food/animalnutrition/feedadditives/legisl_en.print.htm
- ec.europa.eu/food/food/animalnutrition/feedadditives/registeradditives_en.htm
-

USA/Canada

- <http://www.fda.gov/Food/GuidanceRegulation/GuidanceDocumentsRegulatoryInformation/ucm217685.htm>

Bijlage I Samenstelling SCP



Staalnummer	325-2014-00009301	Datum	10/12/2014	Pagina	1/1
Beproeversverslag	AR-14-JG-010061-01 / 325-2014-00009301				



Avecom NV

Ter attentie van **Mevr. Harmien Verstraete**
Bloemendalestraat 138
8730 Beernem
BELGIUM

Kopie aan : Dhr. Stef Vervaeet (stef.vervaeet@avecom.be)

Email harmien.verstraete@avecom.be

Technische contactpersoon voor uw order :			
Onze referentie :	325-2014-00009301/ AR-14-JG-010061-01	Type :	EX
Identificatie van het analysemonster :	24/11/2014 RE-14-002-69		
Datum ontvangst :	25/11/2014	Datum aanvang analyses :	25/11/2014
Staalname/transport :	Koerierdienst		
Gevraagde analyses :	PDJ02: Amino-zuren profiel (met tryptofaan)		

Amino-zuren		Resultaten (onzekerheid)	
DJ004	DJ Amino-zuren Methode : ISO 13903:2005; EU 152/2009 (F)		
(a)	Hydroxyproline	<0.05 (LOQ)	g/100 g
(a)	Ornithine	0.0963 (± 0.0193)	g/100 g
(a)	Threonine	3.06 (± 0.17)	g/100 g
(a)	Asparaginezuur	5.45 (± 0.28)	g/100 g
(a)	Serine (totaal)	2.36 (± 0.14)	g/100 g
(a)	Lysine (totaal)	3.10 (± 0.18)	g/100 g
(a)	Valine (totaal)	3.57 (± 0.23)	g/100 g
(a)	Proline (totaal)	2.41 (± 0.20)	g/100 g
(a)	Alanine (totaal)	5.14 (± 0.27)	g/100 g
(a)	Phenylalanine (totaal)	2.75 (± 0.15)	g/100 g
(a)	Isoleucine (totaal)	2.70 (± 0.22)	g/100 g
(a)	Glycine (totaal)	3.48 (± 0.22)	g/100 g
(a)	Tyrosine (totaal)	2.38 (± 0.26)	g/100 g
(a)	Arginine (totaal)	3.48 (± 0.21)	g/100 g
(a)	Leucine (totaal)	4.59 (± 0.32)	g/100 g
(a)	Histidine (totaal)	1.15 (± 0.16)	g/100 g
(a)	Glutaminezuur (totaal)	6.13 (± 0.28)	g/100 g
DJ011	DJ Cystine, methionine (amino-zuur, oxidatieve) Methode : ISO 13903:2005; EU 152/2009 (F)		
(a)	Methionine	1.25 (± 0.10)	g/100 g
(a)	Cystein +Cystine	0.367 (± 0.033)	g/100 g
DJ009	DJ Tryptofaan Methode : EN ISO 13904; EU 152/2009 (F)		
(a)	Tryptofaan (Totaal)	1.04 (± 0.08)	g/100 g

HANDTEKENING	Eef Hendrickx Analytical Service Manager
---------------------	---

Rapport elektronisch gevalideerd door Eef Hendrickx

TOELICHTING
Dit document kan slechts in zijn geheel gereproduceerd worden ; de op het verslag voorkomende resultaten hebben enkel betrekking tot de beproefde objecten.
De resultaten zijn bekomen en gerapporteerd in overeenstemming met onze algemene verkoopvoorwaarden, beschikbaar op aanvraag.
Wanneer een declaratie voor conformiteit of niet-conformiteit wordt uitgevoerd, dan wordt de meetonzekerheid geassocieerd met het resultaat in rekening gebracht om het resultaat te vergelijken met de wettelijke limieten of de specificaties. De onzekerheid werd niet in rekening gebracht voor standaarden waarbij de meetonzekerheid reeds inbegrepen is.
De testen worden geïdentificeerd door een 5-karakter code, de beschrijving is beschikbaar op aanvraag.
De testen geïdentificeerd door de 2-letter code DJ zijn uitgevoerd in laboratorium Eurofins Steins Laboratorium (Vejen - Vitamin). Het symbool (a) identificeert onder accreditatie DS EN ISO/IEC 17025 DANAK 222 uitgevoerde tests.

Eurofins Food Testing Belgium (Brugge)
Lieven Bauwensstraat 6
BE-8200 Brugge
BELGIUM

Telefoon +32 50 45 00 60
Fax +32 50 31 02 54
logistics-food-BE@eurofins.com
www.eurofins.be

BTW BE 0831.186.664

Bijlage II Informatie Feedkind™ en UniProtein®

Naam proteïne	Producent	Kenmerken Proteïne	Alternatief	Afzetmarkt	Juridisch	
FeedKind™ protein	Calysta Nutrition	<ul style="list-style-type: none"> - Gemaakt van microben, met een fermentatie proces vergelijkbaar met gist. Conversie van natural gas in proteïnes. -70% proteïne - Geen GMO product - Poeder vorm of korrelvorm verkrijgbaar 	Voor soja en vismeel niet concurrerend met de menselijke voedselketen	Proteïnes voor aquacultuur industrie	Trademark, en patent op biologisch samenstellen van vetzuren en alcohol uit Carbon . Goedgekeurd voor gebruik in de Europese Unie	http://calystanutrition.com/feedkind-protein/product/ http://calysta.com/media/videos/ http://worldwide.espacenet.com/publicationDetails/biblio?FT=D&date=20150409&DB=EP&ODOC&locale=nl_NL&CC=AU&NR=2013342143A1&KC=A1&ND=4
UniProtein®	UniBio A/S (U-loop technologie ontwikkeld door de Technical University of Denmark)	<ul style="list-style-type: none"> - 71% proteïne - laag vochtigheidsgehalte (5%), not hydroscopic - Poeder vorm verkrijgbaar -Kleur bruin, stofgrootte met een particle size of 150-200 µm -lang houdbaar 	Voor soja en vismeel	Proteïnes voor diervoeder en aquacultuur industrie	UniBio A/S heeft het recht om op het gepatenteerde proces te gebruiken No. PA199900690. Geregistreerd bij de Europese Unie en toegestaan in de USA, Mexico, Canada and Europe.	http://uniprotein.eu/our-products/chemical-composition/ http://www.unibio.dk/ http://worldwide.espacenet.com/publicationDetails/biblio?DB=EPODOC&II=0&ND=3&adjacent=true&locale=nl_NL&FT=D&date=20001205&CC=AU&NR=4744100A&KC=A

Aminozuurprofiel van UniProtein ten opzichte van vismeel

