

Eindrapport BioNPK



PRODUCTSCHAP AKKERBOUW



BioNPK projectgroep:

D. Vermeulen, Royal Cosun (Projectleider)

M. Litjens, Royal Cosun

M. Adriaanse, Bumaga BV

R. Mulder, AVEBE

M. Guiseppin, AVEBE

R. Winters, Bioclear BV

T. Bouwkamp, Productschap Akkerbouw

December 2013

Inhoudsopgave

1. Inleiding.	3
1.1. Ambitie BioCAB.	3
1.2. Partners BioNPK.	4
2. Doelstelling BioNPK.	4
2.1. Heroriëntatie doelstelling.	5
3. Resultaten voorbereidend onderzoek.	5
3.1. Inventarisatie reststromen partners.	5
3.2. Overzicht technologieën voor winning van mineralen uit waterige reststromen.	6
3.3. Welke mineralen passen in de Nederlandse landbouw?	7
3.4. Scenarioanalyse.	8
4. Projecten.	9
4.1. N- en P-winning (Cosun - Suiker Unie/Sensus; AVEBE).	9
4.2. Mineralenconcentraten op basis van K-zouten (AVEBE; Cosun - Suiker Unie).	11
4.3. Ontzouten van tarwegistconcentraat (Cosun - Duynie).	12
4.4. Biologische mobilisatie van gebonden fosfaat (Bioclear).	13
4.5. Greenfertilizer: Alternatieve productie van NH ₃ (Productschap Akkerbouw/ Kiemkracht).	14
5. Conclusies.	16
6. Kansen in de toekomst.	17
7. Contactgegevens partners.	18
Bijlage 1. Terugwinning van P, N en K uit waterige reststromen.	19
Bijlage 2. Welke mineralen passen bij de akkerbouw?	30
Bijlage 3. Resultaten scenarioanalyse.	36

Samenwerkingsverband
Noord-Nederland

Dit project wordt medegefinancierd door
het Europees Fonds voor Regionale
Ontwikkeling en door het Ministerie van
Economische Zaken, Landbouw en
Innovatie, Pieken in de Delta



Rijksoverheid



Eindrapport BioNPK

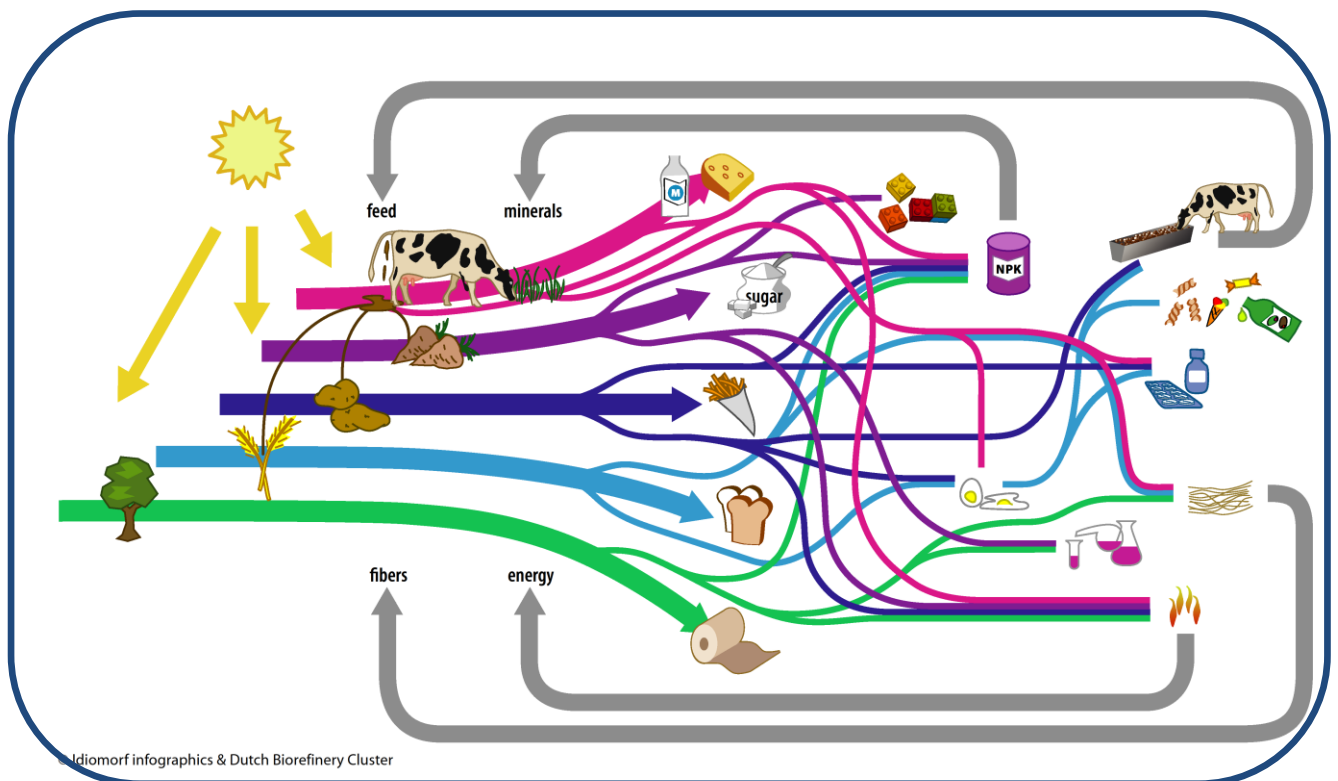
Deze rapportage beoogt een beknopt overzicht te geven van de activiteiten van het BioCAB-deelproject “BioNPK”, waaraan vanaf begin 2011 t/m december 2013 is gewerkt.

1. Inleiding.

BioCAB is een gezamenlijk initiatief van het Dutch Biorefinery Cluster (DBC) en Bioclear. Het project wordt uitgevoerd in een samenwerking tussen industrie en kennisontwikkelaars.

1.1. Ambitie BioCAB.

Het onderzoeksvoorstel heeft als belangrijke doelstelling het realiseren van een samenwerking in de ontwikkeling van technologieën en nieuwe hoogwaardige toepassingen voor de verwerking van (componenten uit) biomassa reststromen: duurzame chemie, nieuwe vezels en waardevolle mineralen. Het beoogt daarbij een duurzame groei van de Noord-Nederlandse Biobased Economy.



Figuur 1.
Grafische voorstelling van de ambitie van BioCAB. Bron: DBC.

Het BioCAB project kenmerkt zich door drie deelprojecten:

1. **BioFIB**: vezelrecovery en cascading: innovatieve isolatie- en fractionerings-technologieën voor vezelhoudende biomassa t.b.v. duurzame materialen, chemie en energie.
2. **BioSYN**: nieuwe chemie door anaerobe fermentatie met multicultures en geavanceerde nascheiding
3. **BioNPK**: geavanceerde technologieën voor mineralenterugwinning uit biobased reststromen t.b.v. het sluiten van de mineralenkringloop.

In dit rapport wordt ingegaan op het deelproject BioNPK*.

1.2. Partners BioNPK.

De partners van BioNPK zijn: Royal Cosun (o.a. Suiker Unie, Sensus, Duynie en Rixona), AVEBE, Bumaga BV, Bioclear BV en Productschap Akkerbouw. Iedere partner heeft zich gecommitteerd in de vorm van het beschikbaar stellen van een budget voor o.a. uren, apparatuur en externe onderzoekskosten, voor het uitvoeren van de werkzaamheden die zijn verdeeld over vier werkpakketten.

2. Doelstelling BioNPK.

De ambitie van BioNPK is gericht op het winnen en zuiveren van mineralen uit waterige reststromen, en die mineralen geschikt te maken voor hergebruik in de landbouw. Door dit hergebruik ontstaan regionale of landelijke kringlopen waardoor applicatie van mineralen verkregen uit fossiele bronnen kan worden gereduceerd. Het produceren van essentiële mineralen voor plantengroei, t.w. N, P en K, kost veel fossiele energie. Bovendien zijn de economisch winbare fosfaatvoorraden in de wereld eindig en ook nog ongelijkmatig verdeeld.

De ambitie is vertaald in onderstaande vier werkpakketten:

- WP1: Technologische en economische evaluatie van (bestaande) chemische en biotechnologische scheidingsroutes voor de winning van N, P en andere zouten (o.a. K) uit waterige (rest)stromen van de biomassa verwerkende industriële partners (industriële onderzoek).
- WP2: Het maken van geformuleerde producten uit de minerale stromen voor specifieke toepassingen, m.n. landbouw (industriële onderzoek).
- WP3: Onderzoek naar de toepassingsmogelijkheden van deze producten in specifieke markten, bijv. als kunstmest in de akkerbouw (experimentele ontwikkeling).
- WP4: Communicatie en promotie van de (nieuwe) mineralen producten en hun toepassingen (experimentele ontwikkeling).

* In dit rapport worden de termen “mineralen”, “nutriënten”, “meststoffen” en “zouten” min of meer als synoniemen gebruikt voor in de landbouw bruikbare (chemische) stoffen.

2.1. Heroriëntatie doelstelling.

In het oorspronkelijke plan zouden binnen het project één of meerdere demo-installaties worden gerealiseerd voor de mineralenwinning. Tijdens de uitvoering van het project is echter gebleken dat er veel bestaande/bekende technieken zijn voor de winning van de genoemde mineralen. Bovendien betreffen het mineralen die geformuleerd zijn tot meststoffen die al (lang) bekend zijn in de markt en die daarom geen omvangrijke veldproeven en/of een speciaal communicatie- of promotieplan vereisen. Dit heeft ertoe geleid dat de meeste projecten die zijn aangezet zich veelal beperken tot de technologische en economische evaluatie van een aantal geselecteerde technologieën op de reststromen van de partners.

3. Resultaten voorbereidend onderzoek.

Vooruitlopend op technologisch onderzoek zijn een aantal voorbereidende activiteiten uitgevoerd die moeten leiden tot een juiste focus in de projecten. Deze voorbereidende activiteiten zijn:

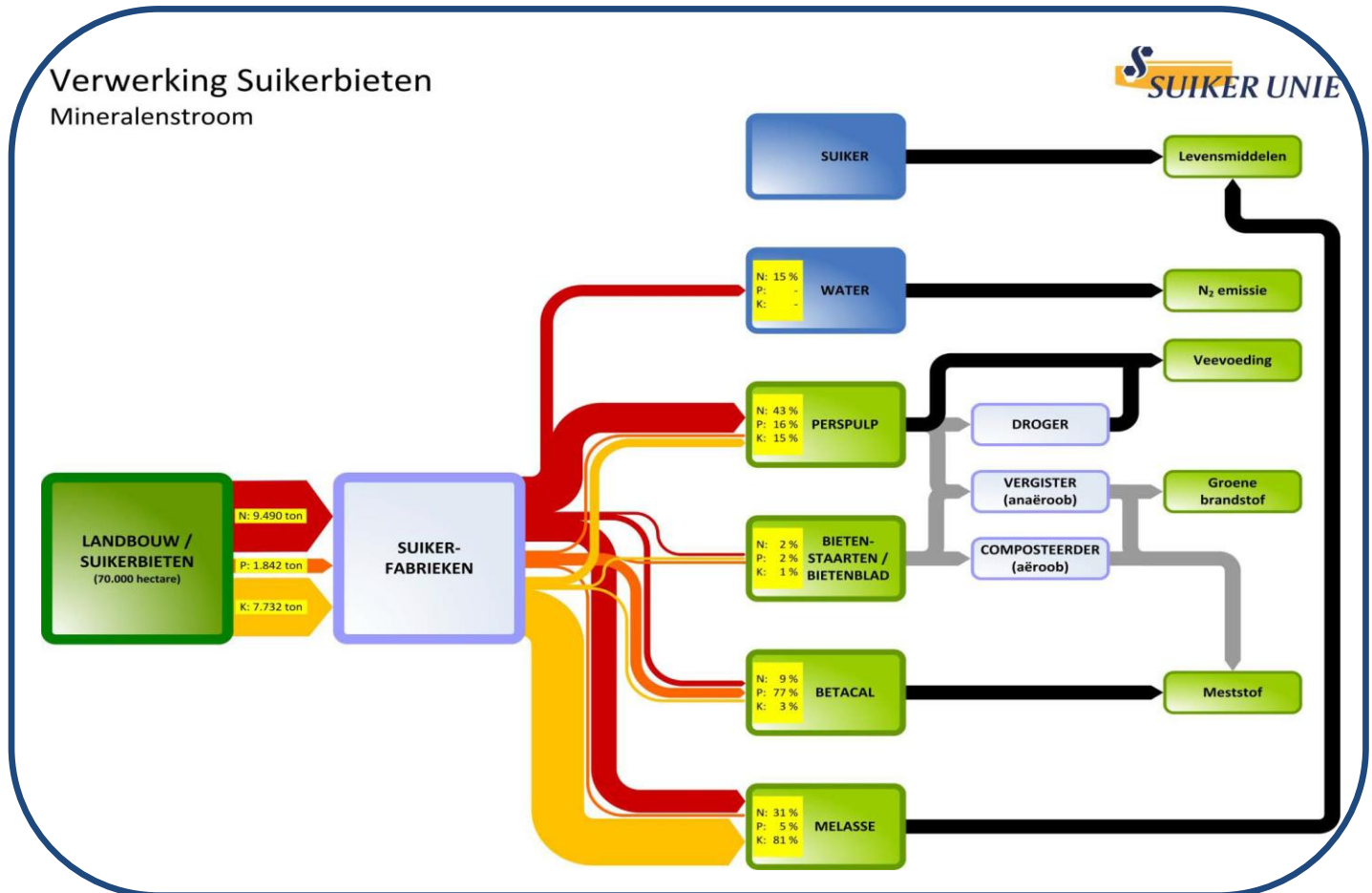
3.1. Inventarisatie reststromen partners.

De inventarisatie van de reststromen (en hun samenstelling) van de partners waaruit mineralen kunnen worden gewonnen heeft geleid tot de volgende opsomming:

- Digestaat uit de twee vergisters van Suiker Unie (uitsluitend gevoed met plantaardige resten, die nagenoeg volledig afkomstig zijn van de suikerbietverwerking; in NL totaal ca. 200.000 ton digestaat per jaar).
- Digestaat uit de vergister van AVEBE (gevoed met onteiwit aardappelvruchtwater; 1,3 - 2,4 miljoen ton digestaat per jaar).
- Tarwegistconcentraat van Duynie (een vloeibare reststroom uit de ethanolproductie; in potentie honderdduizenden tonnen per jaar).

Digestaat van Suiker Unie wordt in een decanteercentrifuge gescheiden in een vaste fractie (de koek) en een waterige fractie (het centraat). De waterige fractie bevat opgeloste NH_3 , PO_4 , K-zouten en andere mineralen en nutriënten. Op dit moment wordt deze stroom gezuiverd in de waterzuivering (Dinteloord) of ingedampt tot een mineralenconcentraat (Vierversluis). Digestaat van AVEBE is een waterige stroom met een substantiële K concentratie. Ook in dit geval kan een mineraalrijke stroom worden verkregen die in de landbouw kan worden ingezet.

Tarwegistconcentraat van Duynie is een diervoeder waarvan de wens is dat het K-gehalte wordt verlaagd. Dit om de toepasbaarheid uit te breiden (o.a. hogere doseringen). Het verkregen K-zout kan in de landbouw worden ingezet als meststof.



Figuur 2.
Schema mineralenstromen bij de verwerking van suikerbieten. Bron: Suiker Unie.

3.2. Overzicht technologische oplossingen voor winning van mineralen uit waterige reststromen.

In de literatuur zijn veel referenties te vinden waarin wordt ingegaan op de winning van m.n. N, P en K uit diverse reststromen. Hierbij valt te denken aan winning uit (communale) waterzuiveringen, dierlijke mest, digestaat, urine of andere waterige reststromen.

Op basis van een literatuuronderzoek, is een inventarisatie gemaakt van de meest relevante technologieën en werkwijzen om deze nutriënten te winnen uit waterige reststromen. Er zitten beproefde technologieën tussen, maar er worden ook technologieën beschreven die nog nader onderzoek vereisen voordat deze daadwerkelijk leiden tot industriële toepassing. (Zie Bijlage 1.)

Het is niet ondenkbaar dat het winnen van relatief zuivere vormen van de mineralen leidt tot te hoge kosten, bijv. door een relatief hoog energie- en/of hulpstoffenverbruik. Mede hierdoor zal het niet altijd leiden tot een rendabele investering. Bovendien wordt de oplossing zo minder duurzaam. Een alternatief kan het

concentreren van de stroom tot een mineralenconcentraat zijn. Hoewel de mineralen dan minder zuiver beschikbaar zijn, kan ook op deze wijze de kringloop van mineralen op duurzame wijze worden gesloten.

Voorbeelden van bekende werkwijzen voor afscheiding/winning zijn:

- Voor NH₃ (om te komen tot oplossingen van ammoniumzouten, zoals ammoniumsulfaat):
 - lucht- of stoomstrippen
 - membraandestillatie
- Voor PO₄:
 - precipitatie/kristallisatie als struviet (K- en NH₄-struviet; slow-release meststof)
 - precipitatie/kristallisatie als Ca-fosfaat (m.n. voor gebruik in P-industrie)
 - winning m.b.v. algen of eendenkroos
 - Bio-P proces.
- Voor K:
 - ionwisseling
 - electrodialyse
- Voor mineralenconcentraten:
 - Indamping (incl. damprecompressie)
 - membraandestillatie
 - omgekeerde osmose (RO)
 - eutectische vrieskristallisatie of -concentratie (EFC)

3.3. Welke mineralen passen in de Nederlandse landbouw?

Omdat expertise op het gebied van de toepassing van mineralen in de Nederlandse landbouw binnen het projectteam ontbreekt, is een externe deskundige gevraagd om ons daarin te adviseren. Daartoe is een bespreking geweest met de heer T. van Dijk van het NMI. (Zie Bijlage 2 voor de notitie “Welke mineralen passen bij de akkerbouw?” van T. van Dijk, NMI.)

Het is hierin duidelijk geworden welke behoeftes er zijn in de landbouw en op welke meststoffen vanuit dat perspectief het onderzoek binnen BioNPK zich zou moeten richten. Dit heeft geleid tot een short list van meststoffen die met meest relevant zijn voor het sluiten van kringlopen van mineralen uit waterige reststromen naar de landbouw.

In relatie tot de waterige reststromen van de partners binnen BioNPK zijn de meest relevante meststoffen/nutriënten:

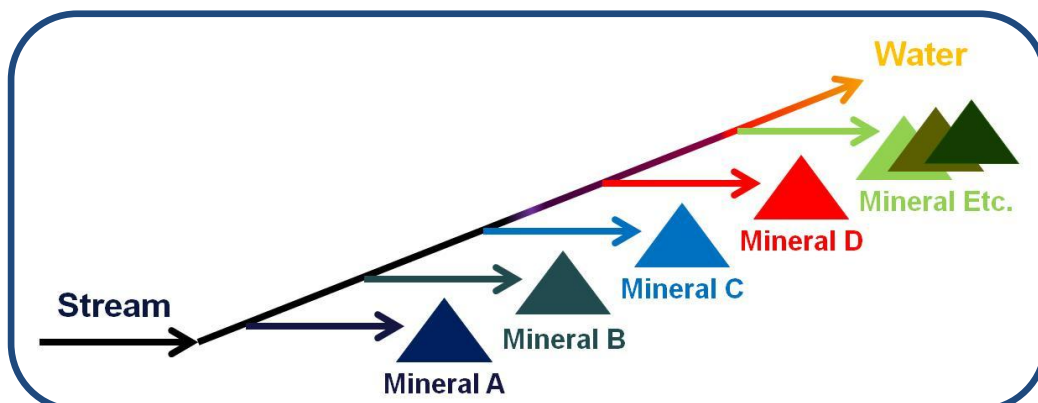
- Enkelvoudige meststoffen, met name stikstof- en kalimestoffen, zoals ammoniumnitraat en kaliumchloride. Aan enkelvoudige fosfaatmeststoffen bestaat nauwelijks of geen behoefte (er is een overmaat aan fosfaat beschikbaar via dierlijke mest).

- Meervoudige meststoffen, met name NP-, NK- of NPK-meststoffen die geen organische stof bevatten, zoals ammoniumfosfaat en kaliumnitraat. Aan P-houdende meststoffen zoals struviet (kalium- of ammoniumvorm; met name voor niche toepassingen en export doeleinden) is minder behoefte.
- (Effectieve) Organische Stof (met bij voorkeur lage N en P gehalten).
- Complexe (geconcentreerde) nutriëntenmengsels.

Voor algemene toepassingen dienen de mineralen of in zuivere vorm verkrijgbaar zijn of moeten in de vorm van (bekende) mengsels van N, P en K worden aangeboden. Dit om precisie dosering te kunnen realiseren of om het aantal bewerkingen op het land te beperken.

3.4. Scenarioanalyse.

Op basis van de verkregen informatie over de reststromen van de partners, mogelijke interessante winningroutes en de vorm van de meststoffen is een scenarioanalyse uitgevoerd. Dit om te komen tot een selectie van een aantal projecten, waarin één of meerdere technologieën gebruikt worden om uit de reststromen de gewenste mineralen te verkrijgen. Hierbij is gekeken naar de stappen die zouden moeten worden doorlopen voor de winning van de belangrijkste mineralen N, P en K uit deze waterige reststromen. Daarbij is ook rekening gehouden met een mix van bestaande technologieën en mogelijk nieuwe werkwijzen die zich nog niet of onvoldoende commercieel bewezen hebben. Hierbij zijn zowel oplossingen beschouwd die leiden tot min of meer zuivere mineralen, als oplossingen die leiden tot mengsels van nutriënten. Deze scenarioanalyse heeft geleid tot een aantal richtingen voor de onderzoeksfase die zijn opgenomen in de onderstaande projecten. (Zie Bijlage 3.)



Figuur 3.

Winning van meerdere mineralen uit een waterige industriële reststroom: niet noodzakelijkerwijs de meest optimale oplossing.

4. Projecten.

Bij de verdeling van de projecten is rekening gehouden met de wens van de partners om zich te richten op die zaken die voor hun van groot industrieel belang zijn omdat ze aansluiten bij de behoefte van het bedrijf en/of omdat ze optimaal aansluiten bij de bestaande kennis en kunde op dit gebied.

Ingegaan zal worden op de doelstelling van de projecten en een korte beschrijving van belangrijke resultaten van het onderzoek. Hierbij is rekening gehouden met de wens om te komen tot een rapportage op hoofdlijnen die de belangen van de bedrijven niet schaden.

4.1. N- en P-winning (Cosun - Suiker Unie/Sensus; AVEBE).

Op dit moment wordt digestaat van de vergisters van Suiker Unie hergebruikt in de landbouw. Bij de scheiding van digestaat in een dikke fractie (de koek; hergebruikt in landbouw) en een waterige fractie met een decanteercentrifuge (het centraat), wordt de waterige fractie ingedampt tot een concentraat wat afgezet wordt in de landbouw of wordt gezuiverd in de waterzuivering. Bij dat laatste gaan zowel het aanwezige N als de aanwezige P voor hergebruik verloren.

Uit (de waterige fractie van) digestaat kunnen NH_3 en/of PO_4 worden gewonnen. Voor het winnen moeten kosten worden gemaakt. Niet alleen moet in een installatie worden geïnvesteerd, maar ook voor de bedrijfsvoering zijn energie en hulpstoffen vereist. Daarnaast is het mogelijk essentieel om stromen een voor- of nabehandeling te geven om de winning mogelijk te maken. Hierbij valt te denken aan een filtratie-stap om zwevend materiaal te verwijderen voordat het wordt behandeld in een stripper of kristallisator.

Binnen het project zijn de volgende activiteiten uitgevoerd:

1. Uitvoering van een deskstudie door een externe deskundige (M. Schöller; TRION-PuriTec Consulting & Engineering) naar de meest optimale technologieën op het gebied van NH_3 en PO_4 verwijdering uit digestaat van de Suiker Unie en AVEBE vergisters. Dit moet leiden tot een economische evaluatie en kan een startpunt zijn voor aanvullende experimenten.

Uit de resultaten van deze studie voor Suiker Unie blijkt dat de variabele kosten van de winning van N en P niet opwegen tegen de opbrengsten van de te produceren meststoffen (ammoniumsulfaat en struviet). Bovendien zijn er significante investeringen gemoeid met de noodzakelijke procesapparatuur en kosten nodig voor de bediening ervan. Naast de relatief hoge kosten voor energie en hulpstoffen wordt de economie van het proces nadelig beïnvloed door de relatief lage concentraties van m.n. PO_4 in de vloeibare fractie van het digestaat.

Per SU vergister, goed voor ca. 10.000.000 m³ groen gas van Slochteren-kwaliteit uit ca. 100.000 ton biomassa, is per jaar bijv. slechts ca. 750 ton ammonium-

sulfaat ($(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$) en ca. 75 ton struviet (als $\text{MgNH}_4\text{PO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) uit digestaat te winnen*. Struviet- en ammoniakwinning uit centraat is met deze hoeveelheden/concentraties en met de huidige opbrengstprijzen niet rendabel. Een groot deel van het P is organisch gebonden of aanwezig als (zeer) kleine struvietkristallen. Met de afscheiding van de vaste stof wordt dit afgescheiden met de koek en komt maar 20 tot 25% van de P in de waterige fase. Mogelijkheden om meer P te mobiliseren uit het digestaat tot ortho-fosfaat, voorafgaand aan de vast/vloeistof-scheiding, worden door Bioclear onderzocht (zie 4.4.).



Figuur 4.
Struvietkristallen. Bron: Cosun.

Voor de stroom van AVEBE geldt dezelfde conclusie ten aanzien de terugwinning van NH_3 . Bij de huidige marktcondities (prijzen grondstoffen, opbrengst $\text{NH}_4\text{-N}$ verbindingen) is de terugwinning van ammoniak economisch niet haalbaar. Voor fosfaat ligt de situatie anders. Digestaat van AVEBE is rijker aan fosfaat, waardoor ca. 400 ton P teruggewonnen kan worden. Dit deelproces is economisch interessant, echter niet in combinatie met de terugwinning van stikstof. Door het proces zo in te richten dat enkel fosfaat als struviet teruggewonnen wordt, wordt een financieel aantrekkelijke mogelijkheid geboden.

2. Parallel aan de bureaustudie zijn er proeven uitgevoerd met ultrafiltratie (pilot-opstelling van A3 Watersolutions met keramische membranen) als een mogelijke behandeling van centraat uit de decanteercentrifuge voorafgaand aan bijvoorbeeld struvietwinning of NH_3 -stripping. Verwijdering van zwevende stof als voorbehandeling is van belang om vervuiling van procesapparatuur en/of van het

* Er zijn nogal wat verschillen te vinden in de schrijfwijze voor fosfor en fosfaat. Vb. 100 kg P (fosfor) is equivalent met 229 kg P_2O_5 , 306 kg PO_4 (ortho-fosfaat) en 791 kg ammoniumstruviet ($\text{MgNH}_4\text{PO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$).

product te voorkomen (zoals insluiting van organische stof tijdens kristallisatie/precipitatie van struviet).

Gebleken is dat het zwevende stof gehalte van centraat sterk fluctueert en dat de performance van de ultrafiltratie wordt verbeterd als het centraat eerst wordt gezeefd en wordt ontdaan van relatief grof materiaal. UF is een relatief dure techniek. Een technologische evaluatie en kosten/baten-analyse worden gemaakt. Aanvullend wordt gekeken naar mogelijk goedkopere alternatieven.

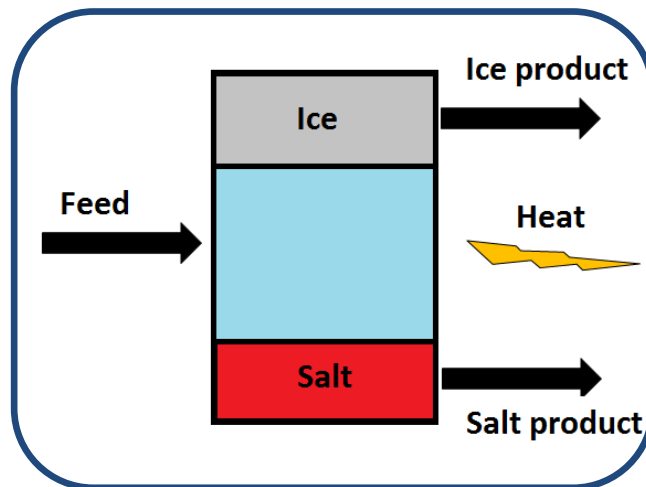
3. Onderzoek naar de winning van struviet uit een afvalwater van Sensus is recent ook uitgevoerd. In de huidige situatie wordt het hierin aanwezige fosfaat met FeCl_3 en $\text{Ca}(\text{OH})_2$ geprecipiteerd. Het fosfaat wordt zo met de wortelgrond afgescheiden in de bezinker. Bij Sensus is sprake van een stroom van 500 - 750 kg winbare P per dag gedurende ca. 200 dagen per jaar (wortel- en diksap-campagne). Of de winning als struviet een economisch interessante optie is, is in belangrijke mate afhankelijk van de kwaliteit en prijs van struviet en de kosten voor de proceshulpstoffen. Deze prijzen kunnen sterk variëren van jaar tot jaar. Aan de hand van de informatie van Paques wordt de business case uitgewerkt.

4.2. Mineralenconcentraten op basis van K-zouten (AVEBE; Cosun - Suiker Unie).

De meeste waarde wordt gegenereerd door de nutriënten afzonderlijk te isoleren. Voor fosfaat zijn goede mogelijkheden voorhanden. Moeilijker wordt het om uit een verdunde stroom, kalium op een financieel aantrekkelijke manier te winnen. In dit deelonderzoek is daarom gewerkt aan een proces waarbij de nutriënten geconcentreerd worden middels indamping of kristallisatie.

Het onderzoek naar het indampen van digestaat was er op gericht om de ammonia als waarde component in de meststof te behouden, en niet als kostenpost in het procescondensaat. De sturing van de pH van digestaat voor indamping is daarbij van groot belang. Proeven op laboratoriumschaal hebben aangetoond dat een voldoende lage pH ervoor zorgt dat de ammonia niet in het procescondensaat terecht komt. Voor het aanzuren wordt een goedkoop zuur gebruikt, zoals zwavelzuur. In een grotere pilot-indamper is geconstateerd dat na vergaande indamping kaliumsulfaat afgescheiden kan worden. Deze kristallen laten zich goed afscheiden. De proeven hebben aangetoond dat er geen noemenswaardige vervuiling van het warmte-overdragend oppervlak optreedt. De samenstelling van het concentraat kan beïnvloed worden door te variëren met de indikfactor. Hierdoor bevat het concentraat meer of minder kalium naast stikstof en fosfaat. Het energieverbruik van indampen kan vergaand gereduceerd worden door gebruik te maken van mechanische dampcompressie en hergebruik van warmte.

Het produceren van het mineralenconcentraat als zelfstandige activiteit is niet rendabel. Het Groen Gas project van AVEBE met de naam Potato Power heeft een technologische route waarbij het produceren van een mineralenconcentraat een financieel verantwoorde keuze lijkt te zijn.



Figuur 5.

EFC. Bron: B. de Graaff, *Eutectic Freeze Crystallization*, EFCseparations BV, 2012.

Een alternatieve technologie voor het concentreren van minerale en organische stromen is eutectische vriesconcentratie (EFC). Deze technologie maakt het mogelijk mineralen en organisch materiaal te concentreren waar membraan technologie te veel energie vergt. Op basis van literatuur onderzoek blijkt dat een energiereductie t.o.v. indampen van meer dan 50% mogelijk zou kunnen zijn. Tevens zou een fractionering van enkele zouten theoretisch mogelijk moeten zijn. Een combinatie van reverse osmose (RO) en EFC is voor zouthoudende stromen al aangetoond. Voor dit doel zijn enkele pilot-testen uitgevoerd met een modelmengsel op basis van protamylase (een ingedikte aardappel reststroom) in een EFC opstelling gecombineerd met een continue tegenstroom waskolom (TNO technologie). De eerste testen toonden aan dat water goed verwijderd kan worden. De beheersing en stabiliteit van de efficiënte waskolom vergen echter nog veel ontwikkeling. In een vervolgproject wordt deze route verder uitgewerkt.

4.3. Ontzouten van tarwegistconcentraat (Cosun - Duynie).

Tarwegistconcentraat (TGC) is een nevenstroom van de bioethanolproductie, die door Duynie wordt vermarkt als diervoeder. TGC is een slurry van circa 25 % droge stof (DS). Het bevat relatief veel zout (Na: 16 g/kg DS, K: 15,5 g/kg DS en SO₄: 17,5 g/kg DS), wat de toepassing als diervoeder beperkt. Om die reden is het interessant om vooral K zoveel mogelijk te verwijderen. Aangezien in de landbouw behoefte is aan K, is het interessant om te zien of het verwijderde K (en mogelijk andere mineralen) kan worden ingezet als meststof.



Figuur 6.
Tarwegistconcentraat. Bron: Cosun.

Eerder uitgevoerde precipitatietesten waren niet succesvol. Daarom is er interesse om nieuwe technieken te testen, zoals electrodialyse (ED) of capacitieve deionisatie (CDI). Uit overleg met specialisten is duidelijk geworden dat CDI vooral geschikt is voor veel lagere zoutgehaltes dan aanwezig in TGC, dus dat is geen interessante techniek. ED is een interessante techniek om in de praktijk te testen met TGC in een pilot installatie, maar er wordt gevreesd voor een flinke vervuiling van de installatie door het TGC. Er zijn geen praktijktesten uitgevoerd.

4.4. Biologische mobilisatie van gebonden fosfaat (Bioclear).

Bij de scheiding van digestaat tussen een vaste fractie (de koek) en een vloeibare fractie (het concentraat) wordt het merendeel van het aanwezige P afgescheiden met de koek. Dit komt doordat P voornamelijk aanwezig is in de vorm van organische gebonden fosfor (in de microbiële cellen bijvoorbeeld) en door de aanwezigheid van microkristallen van o.a. struviet en calciumfosfaat, die bij de heersende pH beperkt oplosbaar zijn. Slechts een klein deel van de in digestaat aanwezige P (20-25%) is aanwezig als (opgeloste) ortho-fosfaat (PO_4). Dit fosfaat zal zich na de decanteercentrifuge m.n. in de vloeibare fractie bevinden.

Bioclear heeft onderzocht of (micro)biologische processen ingezet kunnen worden om fosfaat in digestaat van Suiker Unie te mobiliseren. Het doel van deze bewerking is dat fosfaat uit de dikke fractie (de koek) verplaatst wordt naar de dunne (waterige) fractie (het concentraat). Dit mes snijdt aan twee kanten: enerzijds wordt de dikke fractie meer fosfaatarm, wat de afzetmogelijkheden vergroot, terwijl anderzijds de hoeveelheid fosfaat in de dunne fractie toeneemt, wat eventuele terugwinning effectiever kan maken.

Gebleken is dat er drie, deels biologische, principes zijn waarmee fosfaat gemobiliseerd kan worden: chelaatvorming, enzymproductie en electrochemische

reductie. De eerste twee processen zijn inzetbaar op een breed spectrum aan fosfaatverbindingen, het laatste proces is specifiek voor bepaalde ijzerfosfaatverbindingen. Gebleken is dat enzymatische processen zich niet lenen voor het beoogde doel; de processen worden te slecht begrepen en worden op biologisch niveau te slecht beheerst, om ontwikkeling van technologie te motiveren.

Chelaatvorming leent zich vanuit biologisch oogpunt wel voor technologieontwikkeling. Een tweetal concepten is geanalyseerd op toepassing van een biologisch proces gebaseerd op dit principe: invoegen in de vergister en nabehandeling dikke fractie. Het eerste scenario is om biochemische redenen niet realistisch, het tweede scenario kan wel werken. In dit scenario is het echter waarschijnlijk dat het mobiliserend effect sneller en goedkoper op chemische wijze gerealiseerd kan worden. Omdat de hoeveelheid fosfaat die geproduceerd kan worden klein is en omdat de marktdifferentiatie waarin fosfaatarme dikke fractie beter gewaardeerd wordt dan fosfaatrijke nog niet tot stand is gekomen, ontbreekt in de huidige markt de economische prikkel om een dergelijk proces nader uit te werken.

De derde optie, waarbij specifiek fosfaat wordt gemobiliseerd uit bepaalde ijzerfosfaatverbindingen is biologisch mogelijk. Een technologisch proof-of-principle is succesvol gebleken. Voor deze techniek lijkt een nichemarkt te bestaan. Bioclear is voornemens de technologische en economische haalbaarheid nader te onderzoeken.

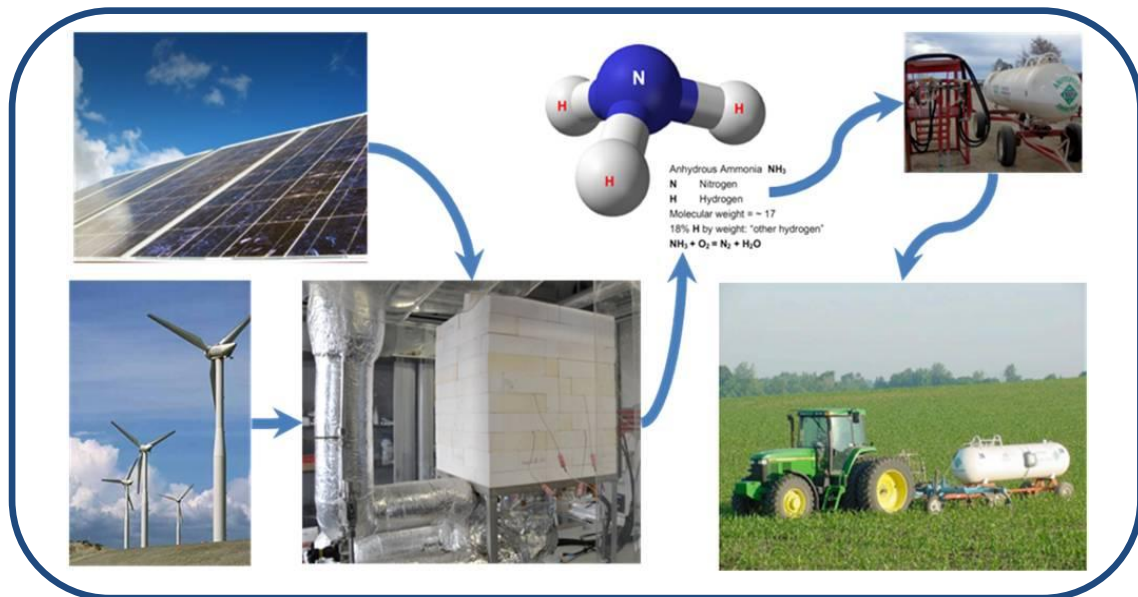
4.5. Greenfertilizer: Alternatieve productie van NH₃ (Productschap Akkerbouw/ Kiemkracht).

Het Greenfertilizer project is niet geformuleerd op basis van de uitgevoerde scenarioanalyse maar is pas in 2013 geïnitieerd door Kiemkracht als project van het Productschap Akkerbouw en gefinancierd met een deel van het budget dat gereserveerd was voor het uitvoeren van veldproeven.

Het project betreft het gebruik van duurzaam opgewekte elektriciteit, bijvoorbeeld met zonnecellen en/of windturbines, voor het op kleine schaal produceren van NH₃. In het proces wordt ammonia geproduceerd met behulp van stoom en zuurstofgeleidende elektroden (Solid Oxygen Electrolyzer Cells). NH₃ kan gebruikt worden op het eigen bedrijf als meststof of brandstof.

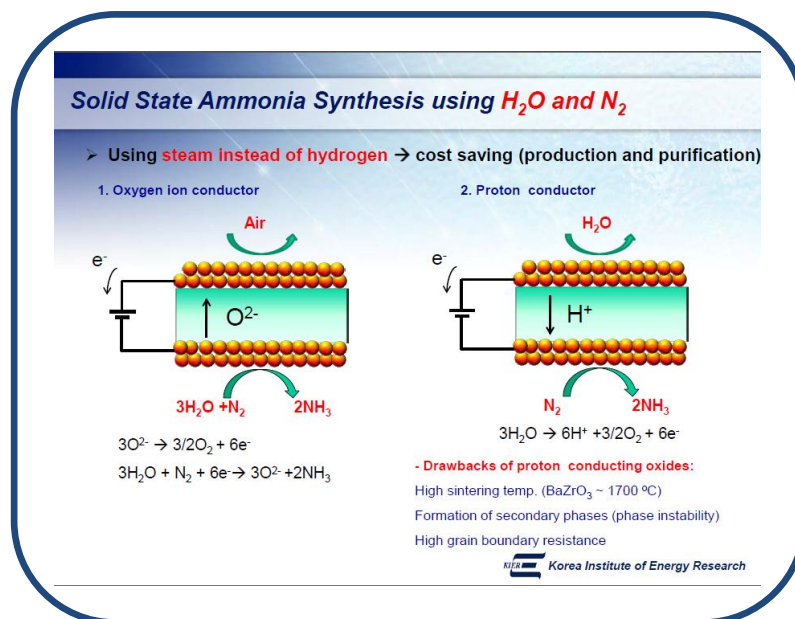
In de eerste oriëntatie is gebleken dat:

- Op basis van simulaties het proces theoretisch/energetisch mogelijk is en kan worden uitgevoerd.
- De technische economische evaluatie enerzijds positief is als alleen de afschrijving van de brandstofcel wordt meegenomen, en anderzijds negatief is als ook de afschrijving van de zonnecellen wordt meegenomen.
- Het proof-of-principle is aangetoond in het lab: men was in staat ammoniak te produceren!



Figuur 7.
 Project "Greenfertilizer". Bron: R. van Haren, Kiemkracht.

Op basis van deze resultaten wordt onderzocht wat de mogelijkheden zijn om verdere stappen te maken naar een commercieel succes. Dit betreft o.a. vergroting van de productiesnelheid door optimalisatie van de procescondities en bij voldoende economische perspectieven de bouw van een pilot-installatie. Deze scale-up valt buiten het programma van BioNPK.



Figuur 8.
 De tekening links toont een detail van de O_2 -geleidende elektrode.
 Bron: <http://nh3fuel.files.wordpress.com/2013/10/nh3fcx-chung-yul-yoo.pdf>.

5. Conclusies.

Winning van mineralen uit industriële reststromen voor hergebruik in de landbouw, om zo te komen tot gesloten kringlopen, kan een zowel duurzame als economisch interessante optie zijn. Of het in een bepaalde concrete situatie tot een economisch aantrekkelijke business case komt is sterk afhankelijk van de omvang van de reststroom, het gehalte aan te winnen mineraal, de opbrengstprijzen van het mineraal en de operationele kosten van het proces. Naarmate meer energie- en/of hulpstoffen nodig zijn, zal het proces minder duurzaam en duurder worden.

Over de winning van mineralen uit waterige (rest)stromen bestaat een omvangrijke collectie literatuur over reeds uitgevoerde onderzoeken. Dicht bij huis valt te denken aan bijvoorbeeld struvietwinning bij de aardappelverwerkende industrie en uit urine en NH_3 -winning uit verwerking van dierlijke mest. Veel van de gebruikte technologieën zijn bekend en installaties commercieel verkrijgbaar. Dat het niet op grote schaal wordt ingezet heeft vooral te maken met het ontbreken aan rendabele business cases.

Daarnaast is gebleken dat het bij de winning van de mineralen over het algemeen gaat om in de markt al bekende meststoffen, waarvan relatief veel literatuur op het gebied van de toepassing in de landbouw, bijv. in de vorm van veldproeven, beschikbaar is. Dit heeft ertoe geleid dat de invulling van het BioNPK-programma is aangepast. Nadruk is komen te liggen op het toetsen van werkwijzen voor het winnen van mineralen uit de reststromen van de partners. Experimenteel onderzoek is ook op pilot-plant niveau uitgevoerd.

De belangrijkste conclusies zijn:

1. Winning van mineralen uit reststromen kan een duurzame oplossing vormen voor het creëren van kringlopen naar de landbouw. Echter, veel industriële business cases zijn negatief. Het winnen van mineralen vergt niet alleen veel energie maar kent ook een significant hulpstoffenverbruik, waardoor het alternatief “niets doen” nu nog een aantrekkelijker economische optie is. De fabricagekostprijs van traditionele (fossiele) kunstmeststoffen is anno 2013 vaak veel lager dan door winning uit industriële reststromen mogelijk is.
2. NH_3 -winning uit (centraat van) digestaat van de vergisters van Suiker Unie en AVEBE is op dit moment nog geen rendabele optie. Dit wordt veroorzaakt door de combinatie van de relatief lage concentraties, de lage opbrengstprijzen van de verkregen meststoffen en de operationele kosten (energie en hulpstoffen).
3. Struvietwinning uit centraat van de Suiker Unie vergisters is geen rendabele optie vanwege het relatief lage fosfaatgehalte in combinatie met een lage opbrengstprijzen. Het grootste deel van de fosfor wordt met de vaste organische stof afgescheiden. Uit het afvalwater van Sensus en uit digestaat van AVEBE biedt struvietwinning wel goede economische perspectieven. Bij Sensus wordt door een proceswijziging fosfaat dan niet meer met FeCl_3 en $\text{Ca}(\text{OH})_2$ neergeslagen en met de wortelgrond naar de grondberging afgevoerd, maar wordt het als ammoniumstruviet gewonnen.

4. Concentraten van mengsels van nutriënten lijken nu financieel interessanter te zijn dan winning van mineralen in zuivere vorm, en mogelijk aantrekkelijker dan de huidige wijze van verwerking van de stroom. Hierbij zal wel gebruik gemaakt moeten worden van energiezuinige oplossingen, zoals hergebruik van restwarmte of mechanische damprecompressie. Een voorbeeld van een relatief nieuwe energiezuinige techniek is eutectische vriesconcentratie.
5. Substantiële verwijdering van kalium(zouten) uit tarwegistconcentraat is op dit moment technologisch-financieel niet haalbaar.
6. Specifieke biologische processen voor het mobiliseren van in organisch of anorganische stof (grond, biomassa) gebonden nutriënten, zoals van fosfor in biomassa-reststromen, bieden in de toekomst misschien mogelijkheden voor economisch interessante processen. Deze oplossingen vereisen nog aanvullend onderzoek.
7. Productie van NH_3 m.b.v. elektriciteit, in relatief compacte brandstofcellen, biedt mogelijkheden om op lokaal nivo (bijv. op boerenbedrijf) direct te kunnen beschikken over een essentieel en universeel gebruikt nutriënt. De elektriciteit kan duurzaam worden opgewekt met bijv. zonnecellen. Aanvullend onderzoek is nodig om de haalbaarheid van dit concept vast te stellen.

6. Kansen in de toekomst.

Bij de winning van mineralen uit waterige reststromen is nu vooral sprake van het toepassen van bekende technologieën voor de noodzakelijke fysische en chemische bewerkingen. Voorbeelden zijn luchtstrippen (van NH_3), kristallisatie (van struviet) of indampen (van mineralenoplossingen). In het BioNPK-programma is vooral aandacht besteed aan deze (bewezen) technieken omdat die op relatief korte termijn kunnen worden geïmplementeerd in bestaande processen.

Toekomstig onderzoek moet ook gericht worden op mogelijk interessante werkwijzen die nu nog niet, maar in de toekomst mogelijk wel, rendabel kunnen worden toegepast.

Voorbeelden hiervan zijn:

- Fixeren van N en/of P uit waterige stromen in biomassa (bijv. het eiwitrijke lemna/eendenkroos, wat vervolgens als veevoer kan worden gebruikt).
- Eutectische vriesconcentratie als alternatief voor het traditionele indampen/concentreren.
- Op biologische wijze mobiliseren van gebonden P tot ortho-fosfaat uit grond en biomassa.
- Kleinschalige productie van ammoniak met brandstofcellen op basis van duurzaam opgewekte elektriciteit (Greenfertilizer project).

7. Contactgegevens partners.

- Dutch Biorefinery Cluster: www.dutchbiorefinerycluster.nl
Postbus 424, 9700 AK Groningen

- Royal Cosun: www.cosun.nl
Postbus 3411, 4800 MG Breda
info@cosun.com

Dirk Vermeulen
Cosun Food Technology Centre
dirk.vermeulen@cosun.com

Mike Litjens
Cosun Food Technology Centre (tot 1 juni 2013: Duynie)
mike.litjens@cosun.com

- Bumaga BV: www.bumaga.nl
Postbus 5486, 6802 EL Arnhem
info@bumaga.nl

Michiel Adriaanse
Kenniscentrum Papier en Karton
m.adriaanse@kcpk.nl

- AVEBE: www.avebe.nl
Postbus 15, 9640 AA Veendam
info@avebe.com

Marco Guiseppin
AVEBE
marco.guiseppin@avebe.com

Rick Mulder
AVEBE Operations
rick.mulder@avebe.com

- Bioclear BV: www.bioclear.nl
Postbus 2262, 9704 CG Groningen
info@bioclear.nl

Rik Winters
winters@bioclear.nl

- Productschap Akkerbouw: www.productschapakkerbouw.nl
Postbus 908, 2700 AX Zoetermeer

Tjitse Bouwkamp
t.f.bouwkamp@hpa.agro.nl

Bijlage 1

TERUGWINNING VAN P, N EN K UIT WATERIGE RESTSTROMEN.

D.P. Vermeulen, CFTC, versie: 25-10-2011

Opm.: Verwijzingen naar bronnen ontbreekt.

Onderstaande beschrijvingen betreffen technologische mogelijkheden tot de terugwinning van N, P en K, soms in aparte stappen en soms in combinatie, maar zodanig dat sprake is van enige vorm van winning waarbij het product geschikt is voor hergebruik (bijv. als vervanger van kunstmest of als grond- of hulpstof in de chemische industrie). Routes die leiden tot niet-herbruikbare vormen worden niet besproken.

Voor hergebruik als kunstmestvervanger is het verder gewenst dat sprake is van een product dat direct, of na beperkte aanvullingen met andere mineralen om te komen tot een totaalconcept, kan worden toegepast in de land- en tuinbouw.

In sommige gevallen, zoals bijvoorbeeld bij de dunne, waterige fractie van het digestaat uit een anaerobe vergister, kan het interessant zijn om de gehele stroom, zonder verlies van nutriënten te concentreren tot een oplossing die eenvoudig kan worden gedoseerd en vanwege de concentratiestap lagere transportkosten en verspreidingskosten heeft. Dit kan een basis alternatief zijn in het sluiten van kringlopen waarmee de andere opties kunnen worden vergeleken.

Terugwinningroutes voor P

Algemeen

Met de term fosfaat wordt een groot aantal fosfor-verbindingen aangegeven. Veel fosfaat is gebonden aan organisch materiaal of in de vorm van polymeren. Ortho-fosfaat, PO_4^{3-} , is hier maar een deel van. Veel verwijderingstechnieken betreffen het verwijderen van ortho-fosfaat. Om ook het "gebonden" fosfaat te verwijderen zijn veelal speciale ontsluitingsmethodieken nodig.

Chemische/Fysische routes

Neerslaan met Fe of Al

Toegepast als mogelijkheid om fosfaat te binden aan slib. Vaak een proces gekozen op basis van historische werkwijzen. Is niet echt interessant als het gaat om de recovery van fosfaat. In principe kan de AlPO_4 -vorm worden gerecycled en gebruikt in de P-industrie in het thermische proces (enige in Europa is Thermphos). FePO_4 , verkregen door precipitatie met FeCl_3 is meer algemeen, maar kan niet worden gerecycled via de P-industrie and heeft een lage of geen meststofwaarde. Thermphos geeft aan dat Fe/P-verhouding $< 0,3$ mol/mol moet zijn. In beide gevallen is sprake van een aanzienlijke overdosering van 2 tot 3 keer de stoichiometrische dosering, vanwege competitie reacties. Slibproductie tussen 10 en 20 kg DS worden als gangbaar beschouwd. Het slib moet eerst worden ontwaterd en verbrand voor gebruik in de fosforindustrie.

Er worden/zijn processen ontwikkeld waarbij het gebonden fosfaat vrijgemaakt wordt uit as of slib. Voorbeelden zijn het BioCon proces dat fosfaat als fosforzuur uit as van verbrand slib terugwint. Naast fosforzuur wordt o.a. ook ijzersulfaat en kaliumbisulfaat geproduceerd. Andere processen voor terugwinning van P uit assen zijn Sephos (TU Darmstadt), PASCH (TU Aachen) en EcoPhos. Thermische processen voor winning uit assen zijn o.a. Outotec (na overname van AshDec) en Slibverwerking Noord-Brabant (SNB) (via Thermphos).

Precipitatie met Ca

- Met name in rioolwaterzuiveringsinstallaties toegepast, hoewel steeds minder. Ca-fosfaat kan middels precipitatie of via kristallisatie op entkristallen, bijv. zand worden gewonnen. Via kristallisatie is het aandeel organische stof relatief gering. De laatste jaren zie je daar steeds meer ontwikkeling naar struviet.

- Veelal wordt kalkmelk gedoseerd en zal eerst reageren met de aanwezige alkaliteit tot de vorming van calciumcarbonaat. Wanneer de alkaliteit verbruikt is, zal de pH van het water toenemen en zal hydroxyapatiet gevormd worden volgens: $10 \text{ Ca}^{2+} + 6 \text{ PO}_4^{3-} + 2 \text{ OH}^- = \text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2 \downarrow$. Dit is theorie. Onder praktische omstandigheden worden ook andere fosfaatverbindingen gevormd, onder meer $\text{CaHPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, $\text{Ca}_8\text{H}_2(\text{PO}_4)_6 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ en amorf calciumfosfaat.
- Ca-P is een goed alternatief voor fosfaaterts in de P-industrie, zoals Thermphos (indien organische stof gehalte laag is). De huidige relatief lage prijs van dit erts echter maakt het proces niet aantrekkelijk.
- Levert slechts P op. Vaak in pelletvorm met 5 tot 15% P. Het bevat namelijk vaak organisch materiaal als verontreiniging.
- Bij precipitatie ontstaat een volumineus neerslag dat zich vanwege de vaak kleine deeltjesgrootte slecht laat filtreren en ontwateren. Bovendien vindt veel scaling plaats op ongewenste plekken.
- Aanwezigheid van (bi)carbonaat in bijv. digestaat kan leiden tot afzettingen en mogelijk is het strippen van CO_2 bij relatief lage pH (ca. 4,5) noodzakelijk.
- Hoge investeringskosten en hoge kosten voor de hulpstoffen.
- Het gevormde Ca-P heeft een lagere biobeschikbaarheid.

Er zijn enkele leveranciers van technologie:

- DHV. Het Crystalactor fluid-bed kristallisatieproces wordt toegepast in diverse rioolwaterzuiveringsinstallaties (o.a. Geestmerambacht; 1998), waarbij veelal zand als ent dient. Kalk(melk) wordt gedoseerd aan de voeding. Levert Ca-fosfaat in (mogelijk) diverse vormen afhankelijk van de procescondities. Er ontstaan pellets van verschillende afmetingen die ontmengen (grote deeltjes beneden en de kleinere bovenin het bed). Eens in de zoveel tijd wordt een deel van het materiaal onderin de reactor (de grotere deeltjes) afgelaten. De pellets werden eerst gestort. Vervolgens als pluimveevoeder in gezet, maar worden sinds 1999 zonder opbrengst afgeleverd aan Thermphos als fosfaatbron (200 ton/jaar). De kosten zijn ca. € 6,- per kg P verwijderd. De verwachting is dat dit kan dalen tot € 4,50 - 5,50 per kg P verwijderd. Vanwege het chemicaliënverbruik is de werkwijze niet echt duurzaam noch rendabel. In juni 2010 is de installatie gestopt en geconserveerd. De installatie was zeer aan onderhoud toe en grotendeels afgeschreven (info Simon Gaastra, Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier). Mogelijk dat de korrelreactoren in later stadium voor struvietwinning worden ingezet.
- P-RoC (Phosphorus Recovery from Waste Water by Crystallisation) is ontwikkeld door een samenwerkingsverband van het Forschungszentrum Karlsruhe en de Universiteit van Karlsruhe (KIT: Karlsruhe Institute of Technology). De kristallisatie vindt plaats op CSH entmateriaal (calcium silicate hydrate).

Winning als struviet

- Met name in waterzuiveringsinstallaties heeft struviet, wat wordt gevonden in afzettingen in tanks, leidingwerk en pompen, zich ontwikkeld van probleem tot oplossing. Afscheiding uit de stromen voordat het zich kan afzetten heeft de technologie een boost gegeven.
- Er zijn processen die struviet gecontroleerd laten kristalliseren en er zijn precipitatieprocessen. Het struviet uit kristallisatieprocessen is in het algemeen minder verontreinigd en constanter van samenstelling.
- Er bestaat een K- en een NH_4 -vorm van struviet. Met verschillende oplosbaarheid en optimale procescondities die wel overlap vertonen. Verschil in kristalvorm is (mede) afhankelijk van de pH. In aanwezigheid van zowel kalium als ammonium zal veelal een mengsel van K- en ammoniumstruviet ontstaan. Deze struvieten worden in vergelijkbaar pH domein geproduceerd. De oplosbaarheden zijn verschillend, dus er kunnen dus verschillende mengsels ontstaan afhankelijk van pH en samenstelling van de oplossing.
- In aanwezigheid van zowel kalium als ammonium ontstaan mengsel van K- en ammoniumstruviet, omdat beide stoffen precipiteren bij soortgelijke condities. Het is niet zo dat de samenstelling significant te sturen is in de richting van de ene of de andere vorm (informatie van Michiel Schöller).
- In aanwezigheid van Ca kan ook calciumfosfaat neerslaan. Dit is mede afhankelijk van de pH en de verhouding Ca/Mg. Aanwezigheid van Ca kan de productie van struviet verstoren door het neerslaan van calciumfosfaat. Optimaal is de verhouding Ca/ PO_4 kleiner dan 1.
- Er zijn tegenstrijdige verhalen t.a.v. geschiktheid voor toepassing van struviet in P-industrie (Thermphos) voor de productie van meststoffen uit fosfaaterts. Ammoniumstruviet is in ieder geval minder geschikt.

- pH van de oplossing moet groter zijn dan 8 voor precipitatie van struviet. De optimale pH is ca. 9,5. Er zijn diverse bronnen van Mg mogelijk, MgO , $Mg(OH)_2$ en $MgCl_2$. Sommige processen gebruiken exclusief één van deze vormen, in andere processen kunnen meerdere bronnen worden benut. MgO en $Mg(OH)_2$ hebben ook een effect op de pH. Er zijn verschillen in oplosbaarheid. De Mg dosering is met name bepaald door de fosfaatconcentratie. Meestal is de Mg/P-verhouding 1,0 - 1,2 : 1. N is vaak in overmaat aanwezig. $MgCl_2$ heeft als voordeel dat het goed oplosbaar is zonder de pH te beïnvloeden.
- Sommige afvalwaters hebben een relatief hoge pH en een hoog carbonaatgehalte. Een noodzakelijke decarbonatiestap bij pH ca. 4,5 en vervolgens een aanzuring, vereist nogal wat chemicaliën.
- pH regeling kan worden gedaan door toevoeging van OH^- , zoals bijv. met MgO , maar ook beluchte reactoren komen voor (o.a. fluid bed en air lift systemen). Door het strippen van CO_2 wordt de pH zo verhoogd. CO_2 strippen in een aparte unit (bij lage pH van ca. 5) kan ook relevant zijn als eerste stap om ongewenste afzettingen van m.n. (bi)carbonaat in o.a. het leidingwerk en pompen te voorkomen. Verpompen onder druk kan daarbij uitkomst bieden. Scaling op de reactorwand en effluent leidingwerk is een continu aandachtspunt. Hierbij kan materiaalkeuze een rol spelen.
- Groot aantal pilot projecten en industriële toepassingen (er loopt/liep een project gesubsidieerd door SenterNovem naar de bruikbaarheid, de samenstelling en toepassingsvorm. DLV Plant doet hierin onderzoek naar werkzame bestanddelen en proefveld onderzoek. (Info komt uit: Neerslagmagazine.nl, 3-2009).
- Struviet is een slow release meststof met een waarde die met name gerelateerd is aan het P-gehalte. Vanwege Mg gehalte is het zeer geschikt voor sport- en grasvelden. P-gehalte i.h.a. dichtbij theoretisch. Laag gehalte aan zware metalen. Laag gehalte van organisch materiaal is van belang, omdat het anders te veel onzuiverheden bevat. Dit laatste is met name van belang voor de P-industrie.
- Het molecuul bevat kristalwater wat door een voorzichtige temperatuurbehandeling kan worden verlaagd. P-gehalte kan zo worden verhoogd van 12,5% naar 21% (verlies van 5 van de 6 gebonden H_2O groepen).
- Ammoniumstruviet kan thermisch worden omgezet tot ammoniak en Mg-fosfaat. Dit proces is afgekort tot CAFR (Chemical Ammonium Precipitation and Recycling).
- Als struviet gewonnen wordt uit digestaat van een anaeroob proces, zal ook het CZV gehalte kunnen dalen door biologische activiteit in de struvietreactor, met name als het proces versterkt wordt door beluchten.
- Er is veel literatuur op het gebied van onderzoek naar de afscheiding van struviet uit relevante stromen. Bovendien zijn er installaties die op grote schaal struviet winnen.
- Er zijn diverse aanbieders van deze technologie. Je ziet of precipitatieprocessen, die vaak in een gemengde reactor worden uitgevoerd, en kristallisatieprocessen. Het tweede type processen zijn gebaseerd op het beheersen van de oververzadiging en kristallisatie op entkristallen. Menging in de reactor kan worden bereikt door te beluchten (en hierdoor een interne recirculatie op gang brengen) of middels een roerwerk. Beluchten heeft naast het mengen nog twee andere effecten: strippen van CO_2 en hierdoor pH verhoging en CZV afbraak.
- Voordeel van processen met een mechanische menging t.o.v. gaslift of FB reactoren is dat de mengcondities in de reactor los van de beluchting kan worden geregeld.

Voorbeelden van processen zijn:

- DHV. Crystalactor FB process o.a. geïnstalleerd bij AVEBE ($150 \text{ m}^3/\text{uur}$). Werkt analoog aan de Ca-P winning met een ent waarop de struviet wordt afgezet. Deze installatie is overigens niet meer in bedrijf. Overige installaties staan bij waterzuiveringen bij Westerbork (demonstratieplant; 1988) en Geestmerambacht. De producten worden verwerkt in de fosfaatverwerkende industrie (Thermphos).
- Pearl process van Ostara (bestaat sinds 2005), de licentiehouder van de technologie die is ontwikkeld door de Universiteit van Br. Columbia. In FB reactor worden struvietkorrels gemaakt onder gecontroleerde toevoeging van $MgCl_2$. Entmateriaal bestaat uit gerecyclede kleine deeltjes. Er zijn reeds een aantal full-scale installaties bij rioolwaterzuiveringwerken. Materiaal wordt als Crystal Green verkocht. Proces is rendabel voor (geconcentreerd) afvalwater met meer dan 75 mg/l fosfaat bij een vracht van minimaal 65 kg/dag fosfaat. Hoe hoger het P-gehalte hoe hoger het rendement van de terugwinning. Bij de RWZI Olburgen is een installatie van Ostara in bedrijf. P wordt uit een water afkomstig van Aviko gewonnen. Grontmij gaat Pearl's technologie testen op verschillende toepassingen (artikel uit 2010).

- Phosnix proces is een ontwikkeling van Unitika (Japan). Is ook een FB pellet airlift reactor met een drafftube, waarbij gerecyclede kleinere deeltjes als entmateriaal wordt gebruikt. Lucht wordt in de reactor geblazen. Er wordt ook NaOH naast $Mg(OH)_2$ gedoseerd voor pH correctie. Mg:P verhouding is 1:1. pH is 8,2 - 8,8. De verblijftijd is 10 dagen en de deeltjes groeien aan tot 0,5 - 1 mm groot. De kleinere worden gebruikt als entmateriaal na zeping. De lucht dient eigenlijk voor de menging en niet voor pH verhoging. Zijn diverse installaties in bedrijf. Struviet wordt als kunstmestvervanger gebruikt.
- Anphos-proces is een ontwikkeling van Colsen. In 2002 is een haalbaarheidsstudie afgerond naar realisatie van een alternatieve defosfateringstechniek bij LambWestonMeijer. $Mg(OH)_2$ of $MgCl_2$ is de bron voor Mg. Op basis van de testresultaten zijn de kosten incl. kapitaalslasten over 5 jaar ca. € 2,75/kg P. De exploitatiekosten bedragen ca. € 0,30/kg P. De full-scale installatie is mede m.b.v. LIFE-subsidie van EC gerealiseerd. De kristallisatie wordt geënt door een deel van het product te recirculeren. Begin 2005 werd de installatie opgeleverd en in gebruik genomen met een capaciteit van 200 m³/uur. Uit de stroom wordt ca. 85% P gewonnen (van 58 naar 8 mg/l P). Komt vrij uit de centrifuge met 50-60% drogestof. Product wordt als test verwerkt bij Thermphos. (Eerdere testen met K-struviet vertoonden geen nadelige effecten in hun processen.) Er zijn meerdere installaties geleverd en in voorbereiding (o.a. RWZI Cuijk). In de installatie wordt eerst NH₃ gestript en de opgevangen NH₃ en met zwavelzuur omgezet naar ammoniumsulfaat. Vervolgens wordt struviet als slurry gewonnen. Ontwatering vindt plaats in een lekbak tot 60% DS. Struviet gaat naar Duitsland.
- Phospaq proces (een ontwikkeling van Paques): Een installatie is geleverd aan Aviko (Waterstromen waterzuivering Steenderen). Uit het effluent van de UASB wordt 80% van het fosfaat verwijderd. De productie is 400 ton/jr aan struviet. Ontwatering tot 70%DS vindt plaats in een schroefpers. Na de struviet winning wordt het effluent behandeld met Anammox, waarbij 90% van het ammoniak wordt omgezet. Het Phospaq proces is o.a. gebaseerd op beluchting en gebruik van MgO als magnesiumbron. Het zorgt voor het strippen van CO₂ waardoor de pH stijgt en struviet kristalliseert. Daarnaast leidt de beluchting tot verlaging van CZV gehalte van de stroom.
- DHV/Geochem Research/TUD precipitatieproces in mechanisch geroerd vat levert K-struviet uit 700.000 ton/jr kalfmest in Putten (NL), begin 1998. Het P-gehalte van het effluent kan onder de vereiste 30 mg/l voor verwerking in een rioolwaterzuivering. Maakt gebruik van MgO als Mg-bron. Het dentrificeren was niet compleet waardoor ook een deel ammoniumstruviet werd gevormd. Stabiliteit van de MgO suspensie gaf technische opstartproblemen. Zevende stof beïnvloedde het proces bij gehalte > 1000 mg/l. Het materiaal wordt afgezet naar Thermphos.
- GMB heeft zelf een proces ontwikkeld voor winning van ammoniumsulfaat en ammoniumstruviet uit urine (SaNiPhos). Plant voor de verwerking van 5.000 m³/jaar urine (o.a. uit Moeders-voor-Moeders programma) staat in Zutphen en is in 2010 opgeleverd. Eigen ontwikkeling van een geroerde tank (ca. 1 m³) voor een continue werkwijze. De plant draait slechts een deel van de tijd. Struviet wordt uit het effluent gehaald via een zeef. De fijnere kristallen worden met een hydrocycloon afgescheiden en teruggevoerd naar de reactor. Uit het effluent wordt NH₃ gestript bij pH ca. 10 en 60°C. Het ammoniak wordt opgelost in zwavelzuur tot een ca. 40%-ige oplossing. Er zijn een aantal rapporten verschenen van het initiatief van GMB en Waterschap Rivierenland. Stowa financierde de ondersteuning door LeAF (onderdeel van WUR-Milieutechnologie).
- AirPrex is een ontwikkeling van Berliner Wasserbetriebe (BWB). CO₂ wordt gestript met lucht en $MgCl_2$ wordt gedoseerd. Het werkt op basis van een tweetraps precipitatieproces. De reactor is van een "airlift" type met een conische bodem waaruit de kristallen worden onttrokken. Lucht wordt gebruikt voor de CO₂ uitdrijving. Inzet van NaOH voor de pH regeling. 90% recovery van P is mogelijk bij pH 9,5. De molverhoudingen zijn: N:P = 6:1 en Mg:P = 1,5:1. MgO kan ook worden gebruikt. Het proces is o.a. bij RWZI Emmen en in de RWZI Amsterdam West (Waternet) i.s.m. Stowa getest. Deze laatste installatie bestond uit een reactor van 25 m³. Hierin werd ca. 5 m³/uur aan "digested sludge" ingevoerd en $MgCl_2$ gedoseerd. Ca. 500 m³/uur aan lucht t.b.v. CO₂ strippen wordt in de reactor ingevoerd. Na de reactor wordt een decanteercentrifuge ingezet voor de afscheiding van de vaste stof. Flocculant wordt gedoseerd voor de centrifuge. Kosten zijn € 1,54 - 1,92 per kg P_{product} en de opbrengst is € 0,26 - 0,46 per kg P_{product}. Benodigde Mg: 2 - 3 kg $MgCl_2$ (32%)/kg P_{product}. Het product voldoet aan de Duitse kunstmest normen.
- NuReSys is een ontwikkeling van Akwadok (B) en staat voor Nutrients Recovery System. Bij aardappelverwerker Agristo (ook bij Clarebout Potatoes (B) staat in installatie) staat sinds 2009 een installatie. Deze verwerkt 1440 m³/dag afvalwater en produceert 300 kg struviet per dag. Installatie is uitgerust met een stripper voor CO₂ verwijdering en pH verhoging. De reactor kent

een turbulente zone bovenin de reactor met een roerwerk en een bezinkingszone. Deze tweetraps kristallisatie heeft sterke overeenkomsten met het Airprex proces. Fijnregeling van de pH met NaOH en $MgCl_2$ als magnesiumbron.

- Prisa staat voor Phosphorus Recovery by ISA, het Institute of Environmental Engenening van de RWTH Aachen (D). De technologie behelst het vrijmaken van organisch gebonden fosfaat uit zuiveringsslib. De struvietwinning is op basis van een precipitatieproces, waar geen unieke elementen in zitten. Het proces gebruikt een mengvat waarin NaOH voor pH correctie wordt gedoseerd en MgO als magnesiumbron en alkaliteitsleverancier. In de reactor vindt de precipitatie plaats. In pilot plant onderzoek was $pH > 9,2$ en de molverhouding $Mg:N:P = 1,5:6:1$, wat een P-winning van meer dan 90% gaf.
- Rem-Nut proces, wat is gebaseerd op simultane verwijdering van ammonium en fosfaat m.b.v. ionwisseling en het vervolgens winnen ervan als struviet. Dit proces is ontwikkeld voor stromen met een relatief laag P-gehalte door Universiteit van Bari met gelden van het NRC (National Research Council) in Italië. T.a.v. struvietwinning vergelijkbaar met andere systemen.

Onderzocht moet worden hoe de kristallisatieprocessen, zoals van DHV en Ostara, zich verhouden met de meer op precipitatie gerichte (goedkopere?) processen van bijv. Colsen. De mogelijke voordelen van de kristallisatieprocessen zijn een laag gehalte aan organische stof (is dit een echt voordeel voor toepassing in land- en tuinbouw) en het product in een pelletvorm die mogelijk direct toegepast kan worden in kunstmestverspreiders. Bovendien kan het een effect hebben op de ontwatering na de verwijdering uit de stroom. Vormgeving van geprecipiteerd product verdient ook bestudering. Zwevend materiaal kan het proces beïnvloeden doordat het als ent gaat fungeren.

Opmerking 1:

Thermphos kan sommige vormen van het herwonnen fosfaat verwerken en doet dat op basis van no cost - no pay. In 2001 wordt aangegeven dat het gerecyclede P product een Ca of Al zout moet zijn en niet struviet (Fe/P-verhouding moet $<0,3$ mol/mol). Dit hoewel ook wordt gerapporteerd dat met K-struviet en mogelijk zelfs met ammoniumstruviet er geen verwerkingsproblemen zouden zijn. Het ammoniak gaat dan wel verloren en moet uit de geproduceerde afgassen worden verwijderd. Aanwezigheid van organisch materiaal kan bij verwerking in de P-industrie mogelijk wel problematisch zijn omdat het aanleiding geeft tot minder sterke pellets na vermalen en sinteren (die als grondstof worden ingezet in het Thermphos-proces). Koolstofconcentratie dient daarom lager te zijn dan 5wt%.

Opmerking 2:

Er bestaat ook een microbiologisch geïnduceerde struvietvorming. Er is pilotonderzoek uitgevoerd rond deze methode (Precipur van Avecom). Hierbij worden ureolytische bacteriën gevoed met afvalwater dat een hoge fosfaatconcentratie bevatte. Mg en ureum wordt in overmaat gedoseerd. Door ureolyse wordt ammonium vrijgemaakt en werd een pH bereikt van 9, waarbij struviet wordt gevormd. Nader onderzoek is nodig om vast te stellen of deze methode zich kan meten met de chemische precipitatie.

Bio(techno)logische routes

Winning m.b.v. algen en eendenkroos

Algen

Algen worden op beperkte schaal commercieel toegepast. Ingrepro heeft een aantal hoge marge producten in de diervoeding, maar de volumes zijn nog zeer klein. Eén optie is het om het product direct op land te brengen. Kan ook worden gedroogd en als veevoer worden gebruikt of tot slow-release kunstmest worden verwerkt. Een andere mogelijkheid is het materiaal te vergisten en vervolgens uit het digestaat P terugwinnen. Voor eendenkroos zijn er verschillende kleine initiatieven.

In een rapport van Algenproefboerderij Eemsdelta (dec 2010) wordt aangegeven dat algenteelt een kansrijk gewas is dat vele potentiële toepassingen kent. De keuze om algenteelt primair aan te wenden voor eiwitproductie lijkt een goede insteek. Er is echter nog geen betrouwbare business Case uitgewerkt. Er moet een stap gezet worden om van laboratorium en kleine initiatieven te komen tot algen als landbouwgewas voor de agrarische sector en afgeleide algenverwerkende industrie. Deze verkenning focust op varkensvoer, omdat deze toepassing op relatief korte termijn het meest kansrijk wordt geacht. Als tussenstap is het aanleggen van een algenproefboerderij van 10 Ha noodzakelijk. Deels om aan te tonen dat het in ons klimaat mogelijk is, deels om al doende te leren en opschalingseffecten te kunnen beoordelen een afgeleide algenverwerkende industrie. Het Stowa heeft een rapport laten opstellen in 2010 door 3 waterbeheerders en 5 ingenieursbureaus om met algen

nutriënten uit de overloop van de nabezinkertank van een RWZI te verwijderen. Het oogmerk van deze studie is dus een geheel andere als de vorige, maar er wordt wel N en P vastgelegd in biomassa.

De onderzoeksvraag: Hoe kan algentechnologie in de Nederlandse zuiveringsituatie, als energiezuinige en kostenefficiënte, nageschakelde maatregel voor de verwijdering van stikstofverbinding en fosfaten worden ingezet om daarmee een bijdrage te leveren aan een goede ecologische en chemische toestand van het oppervlakte water in 2015?

De hoofdconclusies:

- Effluent polishing met algen is technisch en effectief haalbaar, maar voor Nederland geen techniek die onder alle omstandigheden toepasbaar is.
- De kosten zijn vergelijkbaar met zandfiltratie, maar het ruimte beslag is voor geurbaniseerde gebieden erg groot en de nutriënten worden alleen in de zomermaanden voldoende verwijderd.
- In specifieke gevallen, met name in het landelijk gebied, kan algentechnologie niettemin een relevante optie zijn.
- De verhoogde pH van het behandelde effluent is een aandachtspunt.

Lemna

Een alternatief voor Algen is eendenkroos. Ook hier zijn er verschillende kleine initiatieven. Eendenkroos (Lemna) is efficiënter vanwege betere opname van N en P. Het consortium Eendenkroos Digestaat Veevoer (EDV) wordt gesubsidieerd door LNV.

In 2001 is in opdracht van Bogey Venlo BV, CSM Suiker BV en AVEBE BA door ATO onderzoek uitgevoerd naar het gebruik van industrieel proceswater als voedingsmedium voor eendenkroos (Lemna) alsmede de isolatie en karakterisering van potentieel waardevolle ingrediënten uit Lemna. Dit project werd gesubsidieerd door de Nederlandse Onderneming Voor Energie en Milieu (NOVEM), programma Subsidieverlening Milieugerichte Technologie.

In de eerste fase van het project is een opzet gebouwd voor het evalueren van de stikstof en fosforopname door Lemna. Onder gecontroleerde omstandigheden (temperatuur, relatieve vochtigheid, lichtintensiteit) zijn verschillende nutriëntenmedia getest en is de groei van het Lemna gemonitord. Onder optimale omstandigheden is een stikstofopname gevonden van 20 mmol N/m²/12 lichtenuren en 2 mmol P/m²/12 lichtenuren. Als modelnutriënten zijn ammoniumnitraat en pyrfosfaat aangehouden. Deze componenten zijn representatief voor voedingsstoffen aanwezig in suikerproductie- respectievelijk aardappelverwerkingswater.

Aangezien in de huidige procesvoering bij CSM Suiker B.V. ook een additionele nutriëntstroom (bietenwater) wordt gebruikt bij de zuivering van proceswater, kan Lemna in principe ook op grote schaal worden ingezet als opnamebron van stikstof en koolstof. Bij een dergelijke applicatie wordt door het Lemna tevens CO₂ gefixeerd, afkomstig uit de lucht. Semi-empirische voorspellingen wijzen op een fixatie van 6 - 18 mmol CO₂/m²/dag, afhankelijk van factoren als seizoen en lichtintensiteit. Een dergelijke procesvoering lijkt technisch haalbaar, al zijn additionele gegevens nodig met betrekking tot bijvoorbeeld oogstsystemen.

In de tweede fase van het project zijn isolatieprotocollen ontwikkeld voor de isolatie van een eiwit- en zetmeelrijke fractie uit Lemna Minor. Op pilotschaal zijn dusdanige hoeveelheden van een eiwit- en zetmeelrijke fractie geproduceerd, zodat karakterisering mogelijk werden. Testen hebben uitgewezen dat er in de onderzochte Lemna Minor maximaal 27% eiwit aanwezig is (op droge stof basis), waarvan naar verwachting maximaal 14% wateroplosbaar is. Een donkergroene en sterk geurende eiwitfractie (70% eiwit), verkregen middels een proces gebaseerd op het selectief neerslaan van eiwitten, bleek gering oplosbaar (maximaal 17.5% bij pH 7) in water. De oplosbare eiwitten waren laag moleculair (< 5 kDa); de aminozuursamenstelling was zodanig dat humane toepassingen in principe mogelijk zijn.

Op dit moment de voornaamste beperking voor grootschalige toepassingen van eiwitfracties in humane applicaties. Applicaties voor dier- of visvoerders zijn wel interessant. Hierbij dient te worden overwogen of alleen het drogen van de verse Lemna een kwalitatief voldoende hoogwaardig product levert. Productie van genoemde eiwitrijke fractie volgens het gehanteerde protocol is te kostenintensief (schatting 1-1,50 €/kg) om voor deze toepassing een economisch haalbaar systeem te

ontwikkelen. Voor non-food applicaties gericht op filmvormende eigenschappen is het extract niet geschikt. Echter, als brandvertrager in synthetische polymeren biedt het product wellicht meer mogelijkheden.

De geïsoleerde zetmeelfractie bleek zeer fijnkorrelig (deeltjesgrootte gemiddeld $\approx 5 \mu\text{m}$) en bevatte relatief weinig amylose (17%). Vanwege de zeer lage opbrengst (0,8% op natte basis) en het mede daardoor intensieve zuiveringsprotocol is grootschalige productie van een zetmeelfractie uit Lemna Minor economisch niet haalbaar.

Op basis van de behaalde resultaten, evenals vele discussies met belanghebbenden, is vastgesteld dat een combinatie van Lemna als (1) opnamemedium van nutriënten zoals aanwezig in industrieel proceswater en (2) als bron van niet-dierlijke eiwitten vanuit technisch oogpunt waarschijnlijk haalbaar is. Hiertoe zijn echter additionele testen nodig op pilotschaal, bijvoorbeeld middels een initiatief zoals dat op moment van schrijven wordt ontplooid in Flevoland (realisatie Lemna-teelt-systeem, gekoppeld aan viskweek). Verder zijn via publicaties in diverse regionale dagbladen de mogelijkheden van het inzetten van Lemna bij een groot publiek kenbaar gemaakt. Ook na het project blijven de projectpartners actief betrokken bij de exploitatie van de onderzoeksresultaten en de beschreven mogelijkheden en vereiste vervolgvormen.

Winning met schimmels en bacterie

Er zijn micro-organismen die fosfaat opnemen. Of dit efficiënt gebeurt is twijfelachtig. Er zijn nog geen voorbeelden in de praktijk. Het zijn complexe processen.

EBPR (Enhanced Biological Phosphorus Removal) proces of Bio-P proces

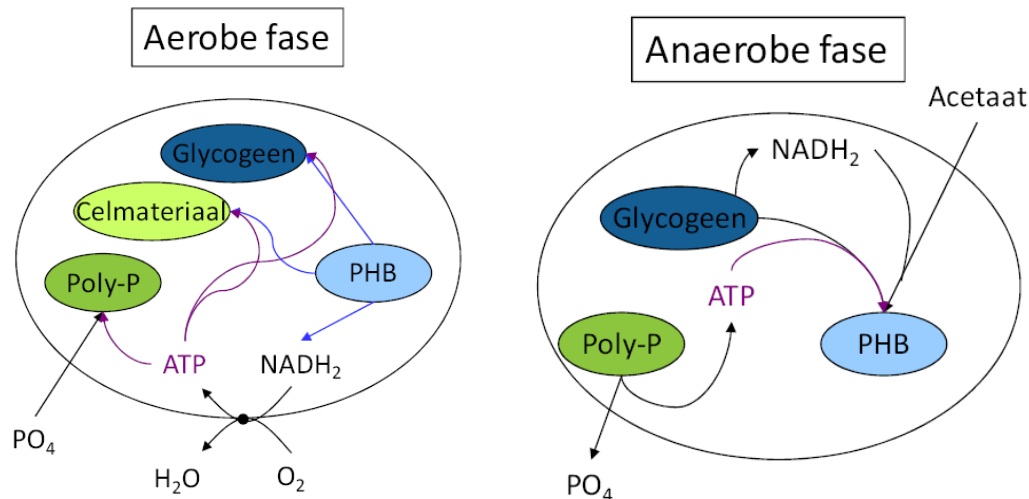
Voordeel is dat geen reagentia nodig zijn. Het principe is gebaseerd op afwisseling van anaerobe en aerobe condities in aparte compartimenten. Het anaerobe proces zorgt voor het vrijmaken van ortho-fosfaat van de biomassa naar de vloeistoffase. Op het moment dat aerobe condities zich voordoen wordt door de Poly-P bacteria tussen 2 en 4 keer meer fosfaat opgenomen dan in het klassieke proces (van waterzuivering). Dit wordt opgeslagen als polymeer in granules.

De in de biomassa opgeslagen P wordt weer vrijgemaakt als ortho-fosfaat als de biomassa in anaerobe condities komt. Een groot deel van het opgeslagen fosfaat komt zo in een geconcentreerdere vorm terug in fosfaatrijk ontwaterd slib of effluent en moet vervolgens hieruit worden gewonnen. Het potentiële winningsrendement voor P is ca. 45% (info Grontmij).

Noodzakelijke voorwaarden zijn: er zijn makkelijk converteerbare organische verbindingen in de anaerobe zone noodzakelijk (m.n. organische zuren), een lange anaerobe contacttijd en strikte anaerobe condities (dus geen zuurstof of nitraat aanwezig). Als richtwaarde voor de CZV/P verhouding wordt algemeen 15:1 tot 100:1 aangehouden, afhankelijk van de biodegradeerbaarheid van het organisch materiaal in het afvalwater. K en Mg zijn ook noodzakelijk, omdat de P opname gepaard gaat met de opname van deze ionen. De Mg behoefte bedraagt 0,26 g Mg/g P terwijl de K behoefte 0,33 g K/g P bedraagt. Ca kan als alternatief dienen voor Mg.

Er zijn twee uitvoeringsvormen, één o.b.v. toepassing in de hoofdstroom en de tweede op basis van een behandeling van een deel van het recycle slib in een anaerobe tank. Dit is het Phosstrip proces van Phosstrip Abwassertechnik GmbH. Het claimt een betere controle te geven van het proces gericht op het bereiken van de P-norm voor de lozing.

Slib uit dergelijke routes moet eerst worden ontwaterd en verbrand om te worden gebruikt in de fosforindustrie.



Terugwinningroutes voor N

Algemeen

Stikstof is veelal aanwezig als in waterige oplossingen opgeloste ammoniak ($\text{NH}_3/\text{NH}_4^+$) en organisch gebonden stikstof in de vorm van aminozuren en eiwitten andere celbestanddelen. Bij verwijderingstechnieken voor stikstof moet daarom ook hier goed nagegaan worden dat iedereen gelijke taal spreekt en dat de chemische analysemethodieken afgestemd zijn op deze componenten.

Fysische/Chemische routes

Strippen van ammoniak (en winning als zout door absorptie in zuurmilieu).

- Door een voldoende hoge pH te kiezen (ca. 10) kan NH_3 efficiënt uit waterige afvalstromen worden verwijderd.
- Door het gestrippte ammoniak te absorberen in een zuur (bijv. zwavelzuur) kan een oplossing van een ammoniumzout worden verkregen. Met zwavelzuur kan een ca. 40wt% ammoniumsulfaatoplossing worden verkregen. Met salpeterzuur kan een ammoniumnitraatoplossing worden geproduceerd. Oplossingen van ammoniak in water (ca. 25%) hebben functies als grond- of hulpstof in de chemische industrie.
- Relatief veel onderzoek is verricht aan het strippen in het algemeen (bijv. verwijdering van oplosmiddelen) en aan het strippen van NH_3 . Aanwezigheid van gesuspendeerd materiaal en van (bi)carbonaat kan leiden tot vervuiling en scaling.
- Strippen blijft een relatief dure techniek. Stoomstrippen kan een iets goedkopere techniek zijn, maar is afhankelijk of de benodigde warmte kan worden geleverd. Er is ook een significante elektriciteitsvraag voor de ventilator. Bij het strippen met lucht zijn de kosten (investering + operationeel) proportioneel met de hoeveelheid lucht. Bij een hogere temperatuur nemen de kosten af door de kleinere luchtstroom. Onderzoek (STOWA rapport 1995-12) laat zien dat een temperatuur van ca. 50°C voor het strippen uit mest economisch optimaal is.
- Het verkrijgen van droog product kost (aanvullend) relatief veel energie en verhoogt de kosten.

Leveranciers van ammoniak striptechnologie zijn o.a.:

- Colson heeft een proefinstallatie staan in Axel (op basis van het Amfer proces). Deze produceert ammoniumsulfaat (AS). De kosten en opbrengsten zijn mede afhankelijk van het gebruikte zuur en de kwaliteit. Het zuur bepaald mede de materiaalkeuze van de installatie.
- Een variant is de ontwikkeling van prof. Schuiling, een werkwijze welke wordt geleverd door Grontmij (het zgn. "MASH" procedé). MASH staat voor Magnesium Ammonium Sulfaat Hydraat dat wordt gevormd door MgSO_4 (vast?) aan de gevormde ammoniumsulfaatoplossing te doseren. MASH heeft een geringere oplosbaarheid dan AS en kristalliseert veel gemakkelijker uit. Op lab schaal is proof-of-principle aangetoond met een geconcentreerde ammoniumsulfaat oplossing, een

afvalwaterstroom uit een zure gaswassing. Zowel de operationele als de investerings- en onderhoudskosten worden verondersteld lager te liggen, vooral in vergelijking met een proces waarbij het geproduceerde AS moet worden gedroogd. Het proces is gepatenteerd en de rechten voor de commercialisatie liggen bij Grontmij.

Ionwisseling

Ammonium kan in principe op een kationwisselaar worden gevangen. Nadeel is dat niet met standaard harsen kan worden gewerkt omdat ook andere kationen aanwezig zijn die worden gevangen door de hars. Vooral aanwezig Na en K verstoren dit proces. Leveranciers van harsen kunnen meer informatie verschaffen.

In feite moeten meer specifieke harsen worden gevonden/ontwikkeld. Het is zeer de vraag of deze techniek commercieel interessant genoeg is om een stikstof meststof te isoleren. Vanwege de financiële kant en het lange ontwikkelingstraject voor BioNPK wordt deze route niet verder uitgewerkt.

Membraanscheiding

Er is onderzoek gedaan naar een hydrofobe hollow-fiber membraanmodules met gas gevulde poriën die de overdracht van ammoniak van de oplossing naar een tweede oplossing (zuur) realiseren, terwijl andere stoffen achterblijven. Het proces is alleen getest op pilot schaal.

De te behandelen vloeistof moet vrij zijn van deeltjes i.v.m. verstopping van de poriën.

De verwachte kosten zijn vergelijkbaar met die van strippen. De behandelde vloeistof bevat nog kleine hoeveelheid ammonium.

Bio(techno)logische routes

In de zuivering van afvalwater wordt vooral gebruik gemaakt van technieken om ammonium via nitriet of nitraat grotendeels om te zetten in N₂. Het gaat in feite om werkwijzen voor de efficiënte vernietiging van bruikbare N.

Nitrificatie

Nitrificatie is de biologische oxidatie van ammonium tot nitriet gevolgd door de oxidatie van dit nitriet tot nitraat. Nitrificatie speelt een belangrijke rol in de waterzuivering bij het verwijderen van stikstof uit het afvalwater. Hierbij wordt nitrificatie gevolgd door denitrificatie. Voor de denitrificatie is een elektrondonor nodig. Hiervoor wordt meestal organisch materiaal uit huishoudelijk afvalwater gebruikt (bijvoorbeeld resten van feces), maar sulfide is ook mogelijk.

De oxidatie van ammonium in uiteindelijk nitraat gebeurt door autotrofe bacteriën. De eerste stap naar nitriet wordt onder andere gedaan door Nitrosomonas en Nitrospira. De tweede stap naar nitraat wordt hoofdzakelijk gedaan door Nitrospira en Nitrobacter.

De verschillende soorten bacteriën komen in de natuur (en in industriële systemen) meestal tegelijk voor. Het is echter mogelijk om een systeem te maken, waarbij alleen nitriet geproduceerd wordt. Hierbij wordt gebruikgemaakt van het feit dat ammoniumoxiderende bacteriën bij hogere temperatuur (boven de 30 °C) sneller groeien dan nitrietoxiderende bacteriën. Op deze wijze kan een waterzuiveringssysteem worden gemaakt waarin ammoniumoxiderende bacteriën zich kunnen handhaven en nitrietoxiderende bacteriën niet.

Eerste stap van ammoniak naar nitriet: $\text{NH}_4^+ + 1\frac{1}{2} \text{O}_2 \rightarrow \text{NO}_2^- + 2 \text{H}^+ + \text{H}_2\text{O}$.

Hydroxylamine is een intermediair in dit proces. De vorming van H⁺ geeft aan dat nitrificatie een verzurend proces is. Vanwege de zuurvorming wordt veelal kalk gedoseerd op de pH op de optimale waarde (ca. 8) te houden. Aanwezigheid van vrij-NH₃-N boven zekere waarde is veelal toxisch, vandaar dat dit proces ook bij een lagere pH wordt bedreven.

Tweede stap van nitriet naar nitraat: $\text{NO}_2^- + \frac{1}{2} \text{O}_2 \rightarrow \text{NO}_3^-$

Totaalvergelijking: $\text{NH}_4^+ + 2 \text{O}_2 \rightarrow \text{NO}_3^- + 2 \text{H}^+ + \text{H}_2\text{O}$

Het optreden van spontane denitrificatie reduceert het waardevolle nitraat tot waardeloos N₂ en erger tot N₂O.

In het algemeen wordt slechts een deel van het ammonium omgezet naar nitraat. Vergeleken met ammonium is nitraat niet vluchtig en daarom kan een oplossing (het effluent van de nitrificatie) goed worden geconcentreerd. Bij een omzetting van 50% $\text{NH}_3\text{-N}$ wordt een oplossing van ammoniumnitraat verkregen die mogelijk kan worden geconcentreerd (bijv. middels membraanproces). Nadeel blijft dat concentraties van waardevolle N vaak relatief laag is en dat het concentreren niet altijd goedkoop kan worden gerealiseerd.

Gebruik van duckweed (Lemna).

Betreft in feite productie van eiwit as feed. Naast N wordt ook P vastgelegd (zie aldaar).

Terugwinningroutes voor K (en andere kationen)

Chemische/Fysische routes

Struviet

Kalium kan als kaliumstruviet worden gewonnen analoog aan de productie van ammoniumstruviet. De procescondities zijn vergelijkbaar, maar de toepasbaarheid kan anders zijn door de andere samenstelling. De ammonium concentratie moet daarbij gering zijn omdat anders mengsels van K- en ammoniumstruviet worden gevormd. Strippen van ammoniumhoudende stromen is vaak niet compleet, waardoor K-struviet in veel gevallen met ammoniumstruviet zal zijn vervuild.

In sommige stromen is de verhouding K:P zo groot (> 10) dat maar een klein deel van het K op deze wijze kan worden verwijderd. Dit is vaak een situatie die voor ammoniumstruviet ook het geval is, maar daar zijn meer technieken beschikbaar die het restant ammonium dan ook efficiënt kunnen terugwinnen.

Ionwisseling

K^+ kan op een kationwisselaar worden gevangen door uitwisseling met H^+ . Er ligt een patent van AVEBE en Kemira betreffende dit proces. In een carrousel van kolommen wordt de hars beladen. Het ionwisselingsproces kent de volgende stappen:

- Beladen
- Wassen
- Strippen (onzuiverheden worden van de hars verwijderd door de pH te verhogen met KOH)
- Regeneratie (K^+ wordt verwijderd van de hars door bijv. het gebruik van HNO_3).
- Wassen

Aandachtsgebied is het verstopping van het harsbed. Vezels en eiwitten kunnen tot verstopping leiden, ondanks het behandelen met geconcentreerde basen en zuren. Bij toepassing van een nieuw medium zal bepaald moeten worden hoe lang de standtijd van het hars wordt. Is er een voorbehandeling nodig is om de onzuiverheden te verwijderen of levert een gefluïdiseerd bed een aanzienlijk hogere standtijd op?

De verdunde $\text{KNO}_3/\text{HNO}_3$ oplossing zal verder moeten worden ingedampt en vervolgens gekristalliseerd tot KNO_3 kristallen.

In principe kunnen ook andere K-zouten worden verkregen, door een ander zuur te gebruiken. Kaliumnitraat (NOP) heeft in de tuinbouw een belangrijke positie verworven als kalium en stikstofbron. Het wordt vooral in kassen toegepast, maar ook op het open veld, zoals bijvoorbeeld bij tabak en fruit. De prijsstelling t.o.v. andere meststoffen is hoog, hetgeen te maken heeft met hoge oplosbaarheid, laag chloride gehalte en hoge opname snelheid door de plant.

De productiecapaciteit van kristallijn kaliumnitraat ligt met 1,5 miljoen ton/jaar boven het wereldgebruik dat rond de 1,0-1,2 miljoen ton/jaar ligt. De kaliumnitraatfabrieken hebben een aanzienlijke schaalgrootte, zoals bijv. de KEMAPCO fabriek in Jordanië van 150.000 ton/jr (ex-Kemira).

In het kader van Potato Power is opnieuw onderzocht bij de industrie of er interesse is in participatie in een 'groen' kaliumnitraat project. Blijkbaar op grond van de overcapaciteit en de schaalgrootte van

20-30 kton/jaar is er geen interesse. Overigens is het 'groen' ook maar betrekkelijk. Enerzijds is het voor de verbruiker alleen maar een overweging als de prijs gelijk is, anderzijds is de productie van KNO_3 een zwaar chemisch proces.

De grondhouding van AVEBE is dat een dergelijk initiatief enkel een succes kan worden als een partner de ontwikkeling van het proces en de markt grotendeels voor zijn rekening neemt. Door het gebrek aan een dergelijke partner heeft AVEBE i.k.v. het Potato Power project besloten om de route van hoogwaardige meststoffen, zoals kaliumnitraat te stoppen.

Electrodialyse/CDI

Verwijdering van zouten is mogelijk met behulp van electrodialyse. Dit is een systeem met membranen en is gevoelig voor vervuiling. Er zijn een aantal verschillende uitvoeringsvormen, zoals conventionele ontzoutingsprocessen, maar ook werkwijzen op basis van bipolaire membranen. Volledige verwijdering van zouten is niet mogelijk.

Een hiermee vergelijkbaar proces is capacitieve deionisatie (CDI). Dit is een systeem, met of zonder membranen, om zouten te verwijderen uit een oplossing. De gebruikte elektrodes zijn poreus (vaak van koolstof) met een groot intern oppervlak voor de absorptie van ionen. Door het aanleggen van een spanningsverschil tussen de elektrodes worden anionen geabsorbeerd in de anode en kationen in de kathode, waardoor een deels ontzoute oplossing ontstaat. Als de ioncapaciteit is bereikt wordt het spanningsverschil opgeheven en worden de ionen weer afgegeven aan de vloeistofstroom. Het systeem kan ook uitgevoerd worden met membranen (MCDI), die de verzamelde ionen nabij de elektrodes afschermen van de rest van de oplossing. Bovendien vervuilen de elektrodes minder snel en is de regeneratieperiode korter. Een Nederlandse firma die deze technologie voor het maken van ketelvoedingwater levert, is Voltea.

Het voordeel van CDI is dat er geen chemicaliën nodig zijn voor bijv. regeneratie van harsen bij ionwisseling.

Andere technieken

Meest toegepast alternatief is kristallisatie wat helaas door de hoge oplosbaarheid en de vaak lage concentraties in waterige reststromen slechts weinig efficiënt is. Kristallisatie, bijv. als K_2SO_4 , geeft een vaak met organisch materiaal vervuild product. Mogelijk dat eutectische vrieskristallisatie of -concentratie (EFC) een energiezuiniger proces is dan indampen voor het concentreren van (relatief schone) oplossingen. Chromatografie is een relatief dure techniek om componenten uit een oplossing te concentreren en wordt niet gebruikt voor het ontzouten, tenzij sprake is van een duur product, zoals (componenten van) een geneesmiddel.

Met membranen is het mogelijk om oplossingen te concentreren en eventueel een scheiding aan te leggen op basis van iongrootte. Op deze wijze is het mogelijk om van een verdunde kaliumoplossing een ingedikte oplossing te maken. Onderzoek is nodig op welke wijze en met welk type membranen dit het beste zou kunnen gebeuren. Aangezien kalium een relatief klein ion is, is een membraan nodig met relatief kleine poriën.

Bijlage 2

WELKE MINERALEN PASSEN BIJ DE AKKERBOUW?

T. van Dijk, NMI, versie: 15-6-2011

Inleiding

Het project BioNPK streeft ernaar zoveel mogelijk mineralen terug te winnen uit digestaat (het restproduct van vergisting van organische reststromen) en andere natte processtromen. De doelstelling is om daarmee de kringloop van mineralen, die via de door de akkerbouw geteelde producten in de verwerkende industrie zijn terecht gekomen, waar mogelijk te sluiten of althans de verliezen uit de kringloop te reduceren. Teneinde bij de mogelijke processen van terugwinning in eerste instantie te focussen op afzet van de teruggewonnen mineralen in de akkerbouw, heeft het project behoefte aan inzicht in de wensen van de akkerbouw. Daarbij gaat het erom duidelijk te krijgen aan welke producten/mineralen de akkerbouw behoefte heeft. Achtergrond van die gedachte is om die processen te gebruiken die passen bij een vraaggestuurd aanbod van mineralen in de akkerbouw.

Deze notitie tracht inzicht te geven in het huidige gebruik van mineralen (via bemesting) in de akkerbouw en welke positie producten uit recycling van mineralen uit natte processtromen daarbij zouden kunnen innemen.

Huidig gebruik van mineralen

In 2009 waren er in Nederland nog bijna 11.000 gespecialiseerde akkerbouwbedrijven, waarvan bijna 4.100 met een oppervlakte van meer dan 50 ha. Daarnaast waren er circa 3.400 bedrijven met als één van de hoofdtakken akkerbouw, veelal in combinatie met een veehouderijtak (Bron: LEI/CBS, 2010). In totaal bedroeg het areaal landbouwgrond in 2009 1.917.480 ha. Daarvan bedroeg het totale akkerbouwareaal ruim 800.000 ha, waarvan 240.000 ha snijmaïs. Voor de echte akkerbouw was circa 550.000 ha in gebruik. De belangrijkste gewassen waren in 2009: granen (229.000 ha), aardappelen (155.000 ha), suikerbieten (73.000 ha) en uien (26.000 ha).

In de Nederlandse landbouw zijn voor de voorziening van het gewas de twee belangrijkste aanvoerbronnen van mineralen: dierlijke mest en kunstmest. Daarnaast wordt ook plantenvoedende stoffen en bodemverbeterende middelen via andere producten aangevoerd, zoals kalkmeststoffen en overige organische meststoffen. In onderstaande Tabel 1 staat voor de belangrijkste drie nutriënten, stikstof (N), fosfaat (P_2O_5) en kali (K_2O), aangegeven hoeveel er jaarlijks beschikbaar is in de vorm van dierlijke mest en hoeveel er via kunstmest wordt aangevoerd. N.B. Deze getallen hebben betrekking op de totale Nederlandse landbouw, dus zowel grasland en voedergewassen als akker- en tuinbouw.

Tabel 1. Productie van mineralen in dierlijke mest en binnenlandse afzet van kunstmest in 2000 en 2008, miljoenen kg N, P_2O_5 en K_2O (Bron: LEI/CBS, 2010).

Nutriënt	Dierlijke mest		Kunstmest	
	2000	2009	1999/2000	2008
Stikstof (N)	415	421	340	238
Fosfaat (P_2O_5)	183	174	62	27
Kali (K_2O)	531	532	52	29 ¹⁾

¹⁾ Kalimeststoffen waren in 2008 extreem duur. Naar verwachting zal de afzet van kalimeststoffen zich herstellen op een niveau van 40 à 45 miljoen kg K_2O per jaar.

Voor de dierlijke mest geldt dat lang niet alle mest op de bedrijven waar de mest wordt geproduceerd kan worden geplaatst. Een deel wordt afgevoerd naar de akkerbouw. Daarbij wordt de mestgift per ha begrensd door de norm uit de Europese Nitraatrichtlijn en de gebruiksnorm voor dierlijke mest, zoals

die in Nederland is ingevoerd: 170 kg N per ha per jaar. Verder wordt de mestgift beperkt door de fosfaatgebruiksnormen, die afhankelijk zijn van het grondgebruik (bouwland of grasland) en van de fosfaattoestand van de bodem. In Tabel 2 staan de fosfaatgebruiksnormen voor de akkerbouw (en alle overige open teelten behalve grasland) weergegeven in afhankelijkheid van jaar en fosfaattoestand van de bodem. Bij de toestand 'zeer laag' mag reparatiebemesting worden toegepast.

Tabel 2. Fosfaatgebruiksnormen voor bouwland, kg P₂O₅ per ha per jaar.

Fosfaattoestand	2011	2012	2013	2014 *	2015 *
Hoog	70	65	55	55	50
Neutraal	75	70	65	65	60
Laag	85	85	85	80	75
Zeer laag	120	120	120	??	??

* De fosfaatsnormen voor 2014 en 2015 zijn indicatief en zijn nog niet vastgesteld.

In de praktijk worden in de akkerbouw verschillende soorten onbewerkte dierlijke mest toegepast. De belangrijkste zijn daarbij dunne rundveemest, dunne vleesvarkensmest en vaste vleeskuikenmest. In Tabel 3 is de gemiddelde samenstelling van deze drie soorten onbewerkte mest weergegeven (CBGV, 2008).

Tabel 3. Gemiddelde samenstelling van drie soorten dierlijke mest in kg per 1.000 kg product (CBGV, 2008).

Mestsoort	Droge stof	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Dunne rundveemest	86	4,4	1,6	6,2
Dunne vleesvarkensmest	90	7,2	4,2	7,2
Vaste vleeskuikenmest	605	30,5	17,0	22,5

De praktijk wijst uit dat de grootste hoeveelheid mest die in de akkerbouw wordt gebruikt bestaat uit dunne varkensmest. Daarvan wordt de gift beperkt door de hoeveelheid fosfaat in de mest, omdat bij een toenemende gift de fosfaatgebruiksnorm eerder wordt overschreden dan de gebruiksnorm van 170 kg N per ha voor dierlijke mest. Op basis van stikstof zou de maximale gift aan vleesvarkensmest $170/7,2 = 23,6 \text{ m}^3$ per ha. Op basis van fosfaat bedraagt de maximale gift bij een neutrale fosfaattoestand van de bodem in 2011: $75/4,2 = 17,9 \text{ m}^3$ per ha. Ook voor vaste vleeskuikenmest bepaalt fosfaat de maximale gift (in 2011: $75/17,0 = 4,4 \text{ m}^3$ per ha. Voor dunne rundveemest bepaalt stikstof daarentegen de maximale gift, maar deze mestsoort wordt in de akkerbouw weinig toegepast.

Voor de teelt van snijmaïs daarentegen wordt wel vaak dunne rundveemest gebruikt, omdat snijmaïs veel op melkveebedrijven wordt geteeld. Voor deze bedrijven geldt echter veelal dat zij derogatie hebben gekregen voor het gebruik van graasdiermest. Voor de daar geteelde snijmaïs geldt dan dat de maximale gift aan graasdiermest 250 kg N per ha per jaar bedraagt. In dat geval is fosfaat toch weer de beperkende factor voor het gebruik van dierlijke mest.

Aanvoer van dierlijke mest is op veel akkerbouwbedrijven een winstgevende zaak. Per kuub mest wordt in veel gevallen aan de afnemer een bedrag betaald, hetzij in liquide middelen, hetzij door de mest gratis over het land uit te rijden, hetzij via een combinatie van beide. Daarnaast behoeft de akkerbouwer ook minder kunstmest aan te voeren en wordt organische stof aangevoerd (hoewel dat laatste vaak overschat wordt). Omdat fosfaat vaak de beperkende factor is voor de hoeveelheid dierlijke mest, betekent zulks dat er vaak weinig tot zeer weinig ruimte overblijft voor de aanvoer van fosfaat via andere bronnen (kunstmest, andere organische mestsoorten, etc.). Uit Tabel 1 blijkt dan ook dat de consumptie van kunstmestfosfaat in Nederland zeer sterk is gedaald.

Voor wat betreft het gebruik van kunstmest in de akkerbouw is een schatting te maken met behulp van gegevens uit beschikbare statistiek (LEI/CBS, 2010 en LEI-Binternet, 2011). In LEI/CBS (2010) zijn gegevens beschikbaar over de arealen grondgebruik en het totale gebruik van kunstmest, en in LEI-Binternet(2011) staan voor de melkveebedrijven gegevens over het kunstmest-N- en kunstmest-P₂O₅-gebruik. Voor het jaar 2008 kwam dit overeen met 123 kg N en 6,3 kg P₂O₅ per ha. Wanneer we ervan uitgaan dat de oppervlakte grasland en snijmaïs wordt toegerekend aan de melkveebedrijven, dan betreft dat circa 1.257.000 ha. Het areaal akkerbouw bedroeg circa 550.000 ha. De overige ‘open gronds teelten’ (dat is inclusief de vollegrondstuinbouw, maar exclusief glastuinbouw) hebben in 2008 een oppervlakte van 87.000 ha. De hoeveelheid kunstmest-N die in deze sectoren wordt gebruikt bedraagt dan 128 kg N per ha. Dit is aanzienlijk meer dan het getal dat in 2002 is berekend voor het kunstmest-N-gebruik op akkerbouwbedrijven die deelnamen aan het project Praktijkcijfers 2 (102 kg N per ha uit kunstmest-N, zie Van Dijk et al., 2003). Bekend is echter dat het kunstmest-N-gebruik op vollegrondsgroentebedrijven aanmerkelijk hoger is dan op akkerbouwbedrijven. Daardoor zal de berekende 128 kg N per ha voor 2008 een overschatting zijn. De deelnemers aan Telen met toekomst gebruikten in 2010 gemiddeld 86 kg N per ha als kunstmest, waarbij de gift op de kleibedrijven duidelijk hoger was.

Voor fosfaat leidt een soortgelijke berekening tot een kunstmest-P₂O₅-gebruik op bedrijven met ‘open gronds teelten’ van 29 kg P₂O₅ per ha. Dit komt goed overeen met de hoeveelheid die deelnemers aan Praktijkcijfers 2 in 2002 gebruikten. Uit het project Telen met Toekomst, waarvan de deelnemers intensief werden begeleid op het gebied van bemesting, bleek dat op de kleigronden (5 bedrijven) deze hoeveelheid nog steeds een redelijke schatting is. Op de zanden lössgronden (7 bedrijven) werd echter vrijwel geen kunstmestfosfaat meer gebruikt. Voor kali zijn geen gegevens van melkveebedrijven opgenomen in Binternet. Daarom wordt voor het kaligebruik op akkerbouwbedrijven aangehouden dat dit overeenkomt met het verbruik in 2002 op akkerbouwbedrijven die deelnamen aan Praktijkcijfers 2: 47 kg K₂O per ha.

In zijn algemeenheid kan worden gesteld dat de bedrijven die in 2002 deelnamen aan Praktijkcijfers 2 voorlopers waren op het gebied van mineralenbenutting. Hoewel er toen nog geen gebruiksnormen waren ingevoerd, werd toch redelijk op het scherp van de snede bemest. Het is niet onwaarschijnlijk dat het gemiddelde akkerbouwbedrijf in 2008 op ongeveer hetzelfde niveau qua mineralenbenutting zat als de deelnemers aan Praktijkcijfers in 2002. Daarom worden de cijfers voor het gemiddelde kunstmestgebruik van die bedrijven gebruikt: 102 kg N, 29 kg P₂O₅ (voor zandgronden, met een hoog gebruik van dierlijke mest, is dit aanmerkelijk lager) en 47 kg K₂O per ha. In principe zouden deze hoeveelheden kunstmest vervangen kunnen worden door andere meststoffen, mits die even goed werken (werkingscoëfficiënt van 100%). In de praktijk geldt dat alleen voor meststoffen die geen organische stof bevatten. Uitgangspunt is verder wel dat het gebruik van niet bewerkte dierlijke mest zich stabiliseert op het bestaande niveau.

Welke soorten kunstmest worden gebruikt?

Uit de verkoopstatistiek van kunstmest in Nederland kan worden afgeleid welke meststoffen de belangrijkste zijn. Daarbij kan echter geen onderscheid worden gemaakt naar akkerbouw-, melkveehouderij- of tuinbouwbedrijven. Bekend is echter dat in alle sectoren ook vrijwel alle genoemde typen meststoffen worden gebruikt. Voor stikstof ligt daarbij het accent op de enkelvoudige meststoffen, met name kalkammonsalpeter. Voor fosfaat wordt verreweg de grootste hoeveelheid via NP-, PK- en NPK-meststoffen afgezet. De fosfaatgift is in de praktijk vaak een kwestie van fine-tuning. Voor kali is de verdeling tussen enkelvoudige en meervoudige kalimeststoffen ongeveer fifty-fifty. In Tabel 4 is een overzicht gegeven voor het jaar 2008.

Op basis van hun behoefte aan primaire nutriënten passen bij granen vooral enkelvoudige meststoffen (met name kalkammonsalpeter wordt daar gebruikt) en bij de andere belangrijke gewassen (aardappelen, suikerbieten en zaaiuien) vooral de meervoudige meststoffen. Daarbij valt vooral te denken aan NK-meststoffen, omdat juist deze gewassen vaak het fosfaat al via dierlijke mest krijgen toegediend. Dierlijke mest heeft als bijkomend voordeel dat tegelijkertijd een hoeveelheid organische stof wordt aangevoerd. Voor snijmaïs (geen specifiek akkerbouwgewas, maar wel een gewas met een groot areaal) geldt dat naast de bemesting met dierlijke mest vaak een NP-rijenbemesting wordt toegepast.

Naast de meststoffen die de primaire nutriënten N, P₂O₅ en K₂O leveren worden ook secundaire nutriënten (MgO, SO₃, CaO en Na₂O) via kunstmeststoffen en kalkmeststoffen gebruikt. Voor zover binnen het bestek van dit onderzoek is na te gaan bestaat daarover geen statistiek. Voor magnesium (MgO) geldt dat er alleen een bemestingsadvies bestaat voor zand-, dal- en lössgrond (Van Dijk & Van Geel, 2008). De meest gebruikte meststof voor MgO-bemesting is kieseriet, wat voornamelijk bestaat uit magnesiumsulfaat (MgSO₄.H₂O). Ook veel kalkmeststoffen zijn echter magnesiumhoudend, maar dan in de vorm van het langzaam werkende magnesiumcarbonaat (MgCO₃). Voor zwavel geldt dat veel meststoffen ook zwavelhoudend zijn. Bovendien is het aantal gewassen dat een aanvullende zwavelbemesting behoeft beperkt en dan gaat het ook om relatief lage giften, voor akkerbouwgewassen tot 25 kg S per ha. Toediening van CaO voor plantenvoeding komt in de akkerbouw niet voor. Wel worden grote hoeveelheden CaO aangevoerd via bekalking met specifieke kalkmeststoffen. Natriumbemesting wordt alleen geadviseerd bij de teelt van suikerbieten. Vaak wordt daarvoor landbouwzout of Chilisalpeter gebruikt. Orde van grootte: circa 200 kg Na₂O per ha, alleen op zand-, dal- en lössgrond.

Het gebruik van vloeibare meststoffen heeft nog niet breed ingang gevonden in de agrarische praktijk. Vanouds werd wel een product als urean (op ureum en ammoniumnitraat gebaseerde stikstofmeststof) gebruikt. Echter het is ook reeds lang bekend dat de efficiëntie van deze vloeibare meststof gemiddeld lager is dan die van de meest gangbare stikstofmeststof: kalkammonsalpeter. Tegenwoordig wordt wel veel geschreven over vloeibare meststoffen en worden deze meststoffen ook geïntroduceerd in de praktijk (o.a. Powerline meststoffen, Flex Fertilizer meststoffen, NTS, etc.). Deze meststoffen worden met de veldspuit of met precisieapparatuur toegediend. Vergeleken met andere meststoffen is het afzetvolume van vloeibare meststoffen nog beperkt. Voor de zogenaamde kunstmestvervangers (mineralenconcentraten) is momenteel onderzoek gaande. Toediening vindt veelal plaats met toedieningsapparatuur voor dierlijke mest. De werking van deze meststoffen is vaak nog lager dan die van kunstmest. Voor mineralenconcentraten afkomstig van de verwerking van dierlijke mest geldt nog steeds dat zij beschouwd worden als een vorm van dierlijke mest. Alleen een pilot had in de periode 2009-2011 daarvoor een ontheffing. Veel ervaring is er wel met de toediening van vloeibare meststoffen zoals vinassekali en vloeibare schuimaarde (Betacal-Flow). Dan gaat het echter niet om kg per ha maar om tonnen per ha.

Tabel 4. Binnenlandse afzet van kunstmest naar soort (LEI/CBS, 2010).

Soort meststof	Type meststof	Afzetpercentage
Stikstofmeststoffen	Kalkammonsalpeter	66
	Overige enkelvoudige meststoffen	16
	NPK-, NP- en NK-meststoffen	18
Fosfaatmeststoffen	Enkel- en tripelsuperfosfaat	7
	NPK-, NP- en PK-meststoffen	93
Kalimeststoffen	Kaliumchloride 40%	2
	Kaliumchloride 60%	37
	Patentkali	5
	Kaliumsulfaat	5
	NPK-, NK- en PK-meststoffen	52

Organische stof

Voor akkerbouwgronden is een goede voorziening met organische stof belangrijk. Organische stof is van belang voor de chemische, de fysische en de biologische vruchtbaarheid van de grond.

1. Chemische bodemvruchtbaarheid. Bij de afbraak van organische stof in de bodem worden voor de plant beschikbare en nuttige nutriënten geleverd. Bovendien kan verteerde organische stof (humus) in de bodem positief geladen ionen (waaronder voedingsionen zoals kalium-, ammonium- en magnesiumionen) aan zich binden en daarmee behoeden voor uitspoeling.

2. Fysische bodemvruchtbaarheid. Organische stof verbetert de structuur van de grond en verhoogt het vochtvasthoudend vermogen van de grond. Daardoor wordt ook de bewerkbaarheid van de grond, met name op de kleigronden, beter. Zandgronden krijgen een betere structuur doordat, als gevolg van de afbraak van organische stof door het bodemleven, er stoffen vrijkomen die de zandkorrels aan elkaar doen kitten. Voor de lichte gronden geldt verder dat de kans op stuiven en verslempen vermindert.
3. Biologische bodemvruchtbaarheid. Aanvoer van verse organische stof stimuleert en levert voedsel voor het bodemleven. Een actief bodemleven bevordert de stikstofmineralisatie (het vrijkomen van stikstof uit de organische stof). Een goed ontwikkeld bodemleven vermindert verder de kans op bodemziekten.

Uit het voorgaande zal duidelijk zijn dat akkerbouwers de aanvoer van vers organisch materiaal op prijs stellen. Veelal wordt er jaarlijks meer organische stof afgebroken dan er door gewasresten weer wordt aangevoerd. De organische stofbalans is derhalve vaak negatief. Echter, aanvoer van organische stof via meststoffen betekent ook aanvoer van stikstof en fosfaat (en andere voedingsstoffen). Voor stikstof en fosfaat gelden gebruiksnormen; dat legt belangrijke beperkingen op aan de aanvoer van organische meststoffen.

Akkerbouwers zouden enorm geholpen zijn wanneer er producten op de markt komen zonder of met weinig stikstof en fosfaat. Die kunnen zij dan in het najaar toedienen en daarmee komt dan niet het gebruik van dierlijke mest of van meststoffen die stikstof en fosfaat leveren op het moment dat het gewas dat nodig heeft onder druk te staan. Eventueel valt ook aan fosfaathoudende organische stof bronnen te denken, maar dan zal het gebruik van dierlijke mest moeten verminderen. En dat lijkt in de huidige markt niet logisch.

Factoren die van belang zijn voor de acceptatie van nieuwe meststoffen

De acceptatie van producten afkomstig van de bewerking van afval- of reststromen wordt door een groot aantal factoren beïnvloed (zie o.a. Van Erp et al., 2000). Daarbij gaat het onder andere om de volgende factoren:

- Bekendheid met de meststof. Voor de diverse producten die via recycling beschikbaar komen zal moeten worden aangetoond dat zij werkzaam zijn als bodemverbeteraar of als meststof en dat zij inpasbaar zijn in de bedrijfsvoering van de akkerbouwer.
- De behoefte aan primaire (en eventueel secundaire) nutriënten. De samenstelling en de werking van de meststoffen zal bekend en constant moeten zijn. Gestreefd moet worden naar een werking die vergelijkbaar is met die van kunstmest. In vaktermen betekent dit dat de werkingscoëfficiënt 100% zou moeten zijn.
- Er bestaat in de akkerbouw weinig behoefte aan nieuwe fosfaatmeststoffen. Omdat naast een behoefte aan nutriënten er in de akkerbouw ook behoefte is aan organische stof en organische stof houdende producten ook fosfaat bevatten, wordt het fosfaatquotum met dit type producten reeds ingevuld (dierlijke mest of dikke fracties uit dierlijke mest).
- Nevenbestanddelen en neveneffecten. De producten mogen geen nevenbestanddelen bevatten in concentraties die schadelijk zijn voor mens, dier, plant of milieu. Daarbij gaat het in eerste instantie om zware metalen en organische microverontreinigingen. De Meststoffenwet stelt daarvoor normen via het uitvoeringsbesluit en de uitvoeringsregeling.
- Toedieningstechniek. Meststoffen moeten met bestaande toedieningsapparatuur goed te verdelen zijn over het veld. Voor producten met hoge concentraties aan voedingsstoffen is dat andere apparatuur (bijvoorbeeld veldspuit of precisiebemesters) dan voor producten met lage concentraties (vaak apparatuur voor toediening van dierlijke mest). Bij vloeibare ammoniumhoudende producten is emissiearme toediening verplicht.
- Beschikbaarheid. De meststof zal op het juiste moment voor de akkerbouwer beschikbaar moeten zijn, meestal in het voorjaar. Bovendien moet de meststof passen in de bemestingsstrategie van de akkerbouwer.
- Wetgeving. Nieuwe meststoffen zullen moeten voldoen aan de regelgeving, zoals die is beschreven in de Meststoffenwet. Meststoffen geproduceerd uit afval- of reststromen moeten altijd een toelatingsprocedure te doorlopen (geldt niet voor EG-meststoffen).

- Prijs. De prijs van een product (inclusief de eventuele meerprijs in verband met de toedienings-techniek) zal bepalen of het de concurrentie aan kan met kunstmest of eventueel met de negatieve prijs van dierlijke mesten.

Conclusies

Meststoffen die het best bij de akkerbouw passen zijn:

- Enkelvoudige meststoffen, met name stikstof- en kalimeststoffen. Aan enkelvoudige fosfaatmeststoffen bestaat nauwelijks of geen behoefte (er is een overmaat aan fosfaat beschikbaar via dierlijke mest).
- Meervoudige meststoffen, met name NP-, NK- of NPK-meststoffen die geen organische stof bevatten. De verhouding tussen N, P en K in deze meststoffen moet dan wel passen bij de behoefte van het gewas. Deze is weer afhankelijk van de bodemvruchtbaarheid.
- Aan meststoffen met secundaire nutriënten (MgO, SO₃, CaO en Na₂O) bestaat geen grote behoefte; mogelijk zijn er kansen voor Mg-meststoffen op de zand-, dal- en lössgronden.
- Meststoffen geproduceerd uit afval- of reststromen moeten ingevolge de Meststoffenwet een toelatingsprocedure doorlopen.
- De belangrijkste akkerbouwgewassen zijn granen, aardappelen, suikerbieten en zaaiuien. Bij granen passen vooral enkelvoudige stikstofmeststoffen, bij de andere gewassen naast stikstofmeststoffen ook de meervoudige, met name NK-meststoffen.
- Voor vloeibare meststoffen is het van belang dat (a) ammoniakemissie bij toediening wordt voorkomen en (b) dat toediening mogelijk moet zijn met daartoe geschikte apparatuur.
- In de Nederlandse akkerbouw is er vooral behoefte aan een bron van organische stof die weinig of geen nutriënten (met name stikstof en fosfaat) bevat.

Literatuur

- Commissie Bemesting Grasland en Voedergewassen (2008) Adviesbasis bemesting Grasland en Voeder-gewassen. <http://www.bemestingsadvies.nl/>.
- De Haas MJG & Van Dijk TA (2010) Inventarisatie klimaatvriendelijke kunstmest. NMI-rapport 1379.09, 73 pp.
- LEI (2011) Binternet, http://www3.lei.wur.nl/BIN_ASp/Frm_Start_Binternet.aspx?Database=LTC.
- LEI/CBS (2010) Land- en tuinbouwcijfers 2010. Den Haag, ISSN 1386-9566, 256 pp.
- Luesink HH, Blokland PW & Mokveld LJ (2008) Mestmarkt 2009-2015. Een verkenning. Den Haag, LEI, Rapport 3.08.04, projectcode 30945, 75 pp.
- Van Dijk TA, De Haas MJG & Van Loon TS (2003) Resultaten akkerbouw en vollegrondsgroente 2002. Cijfers en eindrapportage 2000-2002. Project Praktijkcijfers 2, deel 9, 103 pp.
- Van Dijk W & Van Geel W (2008) Adviesbasis voor de bemesting van Akkerbouw- en Vollegrondsgroentengewassen. PPO, Publicatie 307, 108 pp. + bijlagen.
- Van Erp PJ, Goselink GRA, De Haas MJG, Pothoven R & Van Dijk TA (2000) Marktonderzoek duurzame afzetruimte verwerkte en niet-verwerkte mesten. NMI-Rapport 705.00 (niet voor publicatie), 60 pp.
- Van Geel W & Brinks H (2011) Telen met toekomst. Bemesting 2010. PPO nr. 3250117710, 26 pp. Wageningen, NMI 16-06-2011

Bijlage 3 RESULTATEN SCENARIOANALYSE. (versie: januari 2012)

Scenario	Bedrijven	Grondstoffen	Kennmerken 1	Kennmerken 2	Producten	Bewerkingen 1	Bewerkingen 2	Bewerkingen 3	Bewerkingen 4	Opmerkingen 1	Opmerkingen 2	Opmerkingen 3	Opmerkingen 4	Aanbeveling
Scenario's met uitgangspunt digestaat uit vergister als grondstof														
1.	SU	Digestaat uit vergister	Voldoende (dure) (alle fracties) reststoffen naar landbouw.	Digestaat wordt gebruikt voor productie van alle nutriënten in melk.	Organische stof en nutriënten (melk) in complex mengsel.	Geen				Stapel opslag, geen reststoffen en operationele kosten. Grote efficiëntie wordt bereikt door het gebruik van reststoffen en nutriënten. Het gebruik van reststoffen wordt niet mogelijk gemaakt door de beperkte beschikbaarheid van deze stoffen.	Basis biomassa. Bepaalde nutriënten (koolstof) zijn uitgangspunt voor de productie van andere producten.	Gebruik in de vergister van reststoffen. Mogelijk is het mogelijk om deze stoffen te gebruiken voor andere producten.	In de vergister station. Mogelijk is het mogelijk om deze stoffen te gebruiken voor andere producten.	K Toplozing op reservebank
2.	SU	Digestaat uit vergister	Digestaat (dure) (alle fracties) reststoffen naar landbouw.	Digestaat wordt gebruikt voor productie van alle nutriënten in melk.	Dikke fractie organische stof en nutriënten (melk) in complex mengsel. Dure fractie organische stof en nutriënten (melk) in complex mengsel.					Er is sprake van winning van nutriënten en melk uit de vergister. Dit kan mogelijk zijn voor andere producten. Het gebruik van reststoffen wordt niet mogelijk gemaakt door de beperkte beschikbaarheid van deze stoffen.	Ook hier beperkte nutriënten (koolstof) zijn uitgangspunt voor de productie van andere producten. Het gebruik van reststoffen wordt niet mogelijk gemaakt door de beperkte beschikbaarheid van deze stoffen.	Mogelijk is het mogelijk om deze stoffen te gebruiken voor andere producten. Het gebruik van reststoffen wordt niet mogelijk gemaakt door de beperkte beschikbaarheid van deze stoffen.	Mogelijk is het mogelijk om deze stoffen te gebruiken voor andere producten. Het gebruik van reststoffen wordt niet mogelijk gemaakt door de beperkte beschikbaarheid van deze stoffen.	K Toplozing op reservebank
3.	SU	Digestaat uit vergister	Digestaat (dure) (alle fracties) reststoffen naar landbouw.	Digestaat wordt gebruikt voor productie van alle nutriënten in melk.	Dikke fractie organische stof en nutriënten (melk) in complex mengsel. Dure fractie organische stof en nutriënten (melk) in complex mengsel.					Er is sprake van winning van nutriënten en melk uit de vergister. Dit kan mogelijk zijn voor andere producten. Het gebruik van reststoffen wordt niet mogelijk gemaakt door de beperkte beschikbaarheid van deze stoffen.	Ook hier beperkte nutriënten (koolstof) zijn uitgangspunt voor de productie van andere producten. Het gebruik van reststoffen wordt niet mogelijk gemaakt door de beperkte beschikbaarheid van deze stoffen.	Mogelijk is het mogelijk om deze stoffen te gebruiken voor andere producten. Het gebruik van reststoffen wordt niet mogelijk gemaakt door de beperkte beschikbaarheid van deze stoffen.	Mogelijk is het mogelijk om deze stoffen te gebruiken voor andere producten. Het gebruik van reststoffen wordt niet mogelijk gemaakt door de beperkte beschikbaarheid van deze stoffen.	K Toplozing op reservebank
Scenario's met uitgangspunt melk naar (dunne) digestaat (als scheiding vaste fractie volgens route 2a of 2b in overige (slurry)stromen (dierveerders)														
4.	SU	Melk (dure) fractie uit vergister	Melk wordt gebruikt voor productie van alle nutriënten in melk.	Melk wordt gebruikt voor productie van alle nutriënten in melk.	Als melk wordt gebruikt voor productie van alle nutriënten in melk.					Stroop van het procesmengsel. Het gebruik van reststoffen wordt niet mogelijk gemaakt door de beperkte beschikbaarheid van deze stoffen.	Mogelijk is het mogelijk om deze stoffen te gebruiken voor andere producten. Het gebruik van reststoffen wordt niet mogelijk gemaakt door de beperkte beschikbaarheid van deze stoffen.	Mogelijk is het mogelijk om deze stoffen te gebruiken voor andere producten. Het gebruik van reststoffen wordt niet mogelijk gemaakt door de beperkte beschikbaarheid van deze stoffen.	Mogelijk is het mogelijk om deze stoffen te gebruiken voor andere producten. Het gebruik van reststoffen wordt niet mogelijk gemaakt door de beperkte beschikbaarheid van deze stoffen.	Bestuderen in combinatie met P
5.	Melk	Melk (dure) fractie uit vergister	Melk wordt gebruikt voor productie van alle nutriënten in melk.	Melk wordt gebruikt voor productie van alle nutriënten in melk.	Als melk wordt gebruikt voor productie van alle nutriënten in melk.					Stroop van het procesmengsel. Het gebruik van reststoffen wordt niet mogelijk gemaakt door de beperkte beschikbaarheid van deze stoffen.	Mogelijk is het mogelijk om deze stoffen te gebruiken voor andere producten. Het gebruik van reststoffen wordt niet mogelijk gemaakt door de beperkte beschikbaarheid van deze stoffen.	Mogelijk is het mogelijk om deze stoffen te gebruiken voor andere producten. Het gebruik van reststoffen wordt niet mogelijk gemaakt door de beperkte beschikbaarheid van deze stoffen.	Mogelijk is het mogelijk om deze stoffen te gebruiken voor andere producten. Het gebruik van reststoffen wordt niet mogelijk gemaakt door de beperkte beschikbaarheid van deze stoffen.	Bestuderen in combinatie met P
6.	SU	Melk (dure) fractie uit vergister	Melk wordt gebruikt voor productie van alle nutriënten in melk.	Melk wordt gebruikt voor productie van alle nutriënten in melk.	Als melk wordt gebruikt voor productie van alle nutriënten in melk.					Stroop van het procesmengsel. Het gebruik van reststoffen wordt niet mogelijk gemaakt door de beperkte beschikbaarheid van deze stoffen.	Mogelijk is het mogelijk om deze stoffen te gebruiken voor andere producten. Het gebruik van reststoffen wordt niet mogelijk gemaakt door de beperkte beschikbaarheid van deze stoffen.	Mogelijk is het mogelijk om deze stoffen te gebruiken voor andere producten. Het gebruik van reststoffen wordt niet mogelijk gemaakt door de beperkte beschikbaarheid van deze stoffen.	Mogelijk is het mogelijk om deze stoffen te gebruiken voor andere producten. Het gebruik van reststoffen wordt niet mogelijk gemaakt door de beperkte beschikbaarheid van deze stoffen.	Bestuderen in combinatie met P
7.	Melk	Melk (dure) fractie uit vergister	Melk wordt gebruikt voor productie van alle nutriënten in melk.	Melk wordt gebruikt voor productie van alle nutriënten in melk.	Als melk wordt gebruikt voor productie van alle nutriënten in melk.					Stroop van het procesmengsel. Het gebruik van reststoffen wordt niet mogelijk gemaakt door de beperkte beschikbaarheid van deze stoffen.	Mogelijk is het mogelijk om deze stoffen te gebruiken voor andere producten. Het gebruik van reststoffen wordt niet mogelijk gemaakt door de beperkte beschikbaarheid van deze stoffen.	Mogelijk is het mogelijk om deze stoffen te gebruiken voor andere producten. Het gebruik van reststoffen wordt niet mogelijk gemaakt door de beperkte beschikbaarheid van deze stoffen.	Mogelijk is het mogelijk om deze stoffen te gebruiken voor andere producten. Het gebruik van reststoffen wordt niet mogelijk gemaakt door de beperkte beschikbaarheid van deze stoffen.	Bestuderen in combinatie met P
8.	SU	Melk (dure) fractie uit vergister	Melk wordt gebruikt voor productie van alle nutriënten in melk.	Melk wordt gebruikt voor productie van alle nutriënten in melk.	Als melk wordt gebruikt voor productie van alle nutriënten in melk.					Stroop van het procesmengsel. Het gebruik van reststoffen wordt niet mogelijk gemaakt door de beperkte beschikbaarheid van deze stoffen.	Mogelijk is het mogelijk om deze stoffen te gebruiken voor andere producten. Het gebruik van reststoffen wordt niet mogelijk gemaakt door de beperkte beschikbaarheid van deze stoffen.	Mogelijk is het mogelijk om deze stoffen te gebruiken voor andere producten. Het gebruik van reststoffen wordt niet mogelijk gemaakt door de beperkte beschikbaarheid van deze stoffen.	Mogelijk is het mogelijk om deze stoffen te gebruiken voor andere producten. Het gebruik van reststoffen wordt niet mogelijk gemaakt door de beperkte beschikbaarheid van deze stoffen.	Bestuderen in combinatie met P

Onderzoeksvragen		Onderzoeksvragen	Overige vragen
Nummer	Scenario	Opmerkingen	
1	1	Dit scenario is zeer beperkt relevant. Dat "niets" gedaan wordt aan een scheiding van digestaat in een dikke en dunne fractie is onwaarschijnlijk.	
2	2a	Scheiding digestaat in dunne en dikke fractie. Dikke fractie naar landbouw. Dunne fractie naar waterzuivering (geen terugwinning van mineralen). Mogelijk tot leveren gietwater is alleen interessant als in directe omgeving afnemers zijn, die het kunnen krijgen via een pijpleiding.	Zijn er belemmeringen als het gaat om wet- en regelgeving? Welke belemmeringen zijn er vanuit het oogpunt van de gebruiker/klant?
3	2b	In dit scenario wordt de scheiding van N en P tussen dikke en dunne fractie aangepast. Dit is alleen zinvol als er ook daadwerkelijk mineralen uit de dunne fractie worden gewonnen en zou dus kunnen passen bij elk volgende scenario.	Zie nummer 2.
4	3	Uit het effluent van de vergister (waterige stroom) wordt NH ₃ verwijderd. Strippen is de meest waarschijnlijke techniek. Levert ammoniak op is relatief zuivere vorm met diverse toepassingsmogelijkheden, bij door absorptie in zuren of direct bij toepassing in ketels en brandstofcellen. In feite toepasbaar in alle opties waarbij N wordt gewonnen.	Zijn er belemmeringen als het gaat om wet- en regelgeving? Welke belemmeringen zijn er vanuit het oogpunt van de gebruiker/klant?
5	4	Bij de winning van P, als struviet of als Ca-fosfaat, lijkt struvietwinning een betere techniek. Struviet kan als K- of ammoniumstruviet of als mengsel worden verkregen. Toepassing in niches in de landbouw. Ca-fosfaat mogelijk interessanter voor hergebruik in de fosfaatindustrie.	Zijn er belemmeringen als het gaat om wet- en regelgeving? Welke belemmeringen zijn er vanuit het oogpunt van de gebruiker/klant?
6	5a	Winning van K in zuivere vorm lijkt economisch niet een interessante route. In ieder geval niet voor de kort termijn. Voorlopig ervoor kiezen om deze optie niet verder uit te werken.	
7	5b (digestaat)	Winning van K in een mengsel van zouten aanwezig in de waterige stroom kan door indamping/indikking van de stroom tot aanzienlijk hoge concentratie of door eerst selectief ionen te verwijderen uit de stroom en die vervolgens in te dikken tot een met K-verrijkte oplossing.	Zijn er belemmeringen als het gaat om wet- en regelgeving? Welke belemmeringen zijn er vanuit het oogpunt van de gebruiker/klant?
8	5b (tgc)	Voor het verwijderen van zouten (o.a. K) uit tarwegistconcentraat komen mogelijk ook andere technieken in aanmerking. Zeker is dat het gaat om een feed en dat de feedwaarde of toepasbaarheid moet worden verbeterd.	Zijn er belemmeringen als het gaat om wet- en regelgeving? Welke belemmeringen zijn er vanuit het oogpunt van de gebruiker/klant?
9	6	Betreft een combinatie van N en P winning in een tweestaps-proces. Soortgelijke overwegingen als bij nummers 3 en 4.	Zie nummers 4 en 5.
10	7	In combinatie met de winning van N en P het effluent van beide bewerkingen bevat nog mineralen die interessant kunnen zijn. Ook in dit geval zijn er twee opties: indikken/indampen van de stroom of eerst een selectieve scheiding om een K-verrijkte stroom te krijgen en die dan verder in te dikken/in te dampen.	Zie nummers 4, 5 en 7.
11	8	Dit scenario levert de ultieme uiteenafdeling van de waterige stroom met mineralen/nutriënten tot min of meer zuivere stoffen. Naast scheiding van N en P op basis van de overwegingen van eerdere scenario's, worden nu ook de andere zouten/nutriënten gewonnen. Niet alleen door het concentreren of selectief verwijderen van bepaalde zouten, maar van alle zouten.	Voorlopig geen relevante additionele belemmeringen.
De gekleurde gedeelten markeren de uitkomst van de scenario analyse en de daarop gemaakte projectkeuzes.			

Conclusies

Aan de hand van de gemaakte scenarioanalyse is gediscussieerd over de onderzoeklijnen die hier uit kunnen worden ontwikkeld. Een korte samenvatting van de uitkomsten:

- Scenario 1 t/m 2b: Gebruiksnormen voor N en P spelen belangrijke rol in het direct gebruiken van digestaat in de landbouw (scenario 1) en van de vaste/dikke en vloeibare/dunne fractie na een vast/vloeistof-scheiding (scenario 2a). Beide scenario's vertegenwoordigen de huidige situatie. In scenario 2b wordt N en P uit de vaste fractie gehouden om zo een "schone" organische stof fractie te verkrijgen met meerwaarde. Dit kan bovendien door de verhoging van de concentraties de rentabiliteit van een N- en/of P-verwijdering uit de dunne fractie verbeteren. Hieruit is een onderzoeksproject te ontwikkelen.
- Scenario 3: Verwijdering van N uit de dunne fractie. Plaatsing van het P bevattende effluent kent nog steeds dezelfde bezwaren. Geen aparte onderzoeklijn. De N-verwijdering wordt reeds uitgezocht (zie verder).
- Scenario 4: Verwijdering van P uit de dunne fractie is met name interessant omdat het effluent minder bezwaren kent t.a.v. de plaatsingsmogelijkheden. Ook hiervan geen aparte onderzoeklijn maken omdat dit reeds wordt uitgezocht (zie verder).
- Scenario 5a: Het verkrijgen van een cocktail van zouten na indikking/indamping eventueel in combinatie met een selectieve verwijdering van zouten/winning van K kan interessant zijn en zal worden uitgewerkt. Met name N en K kan een interessante cocktail zijn na verwijdering/winning van P.
- Scenario 5b: K-verwijdering uit tarwegistconcentraat. Onderzoeklijn t.b.v. Duynie.
- Scenario 6 en 7: Winning/verwijdering van N en P en evt. gevolgd door een K-winning uit de dunne fractie. In plaats van de K-winning kan ook het effluent uit de N- en P-winning worden ingedikt eventueel aangevuld met een selectieve winning/verwijdering van K.
- Scenario 8: Komt op de reserve bank.

De volgende onderzoeklijnen worden uitgewerkt:

- Cocktail N(+P)+K (P liefst verwijderd; evt. alleen K) verkregen uit centraat (de vloeibare/dunne fractie van digestaat) o.b.v. scenario 5b. Betreft dan indikken/concentreren van de gehele stroom eventueel gecombineerd met een selectieve winning van K en/of verwijdering van andere zouten. Uit te werken door Avebe.
- K-verwijdering uit tarwegistconcentraat (scenario 5b). Mogelijkheden van o.a. electrolyse en capacatieve deionisatie worden onderzocht. Uit te werken door Duynie.
- Winning van N en P uit de vloeibare/dunne fractie van digestaat (o.b.v. scenario 6). Meest relevante technieken zijn het strippen van ammoniak en precipitatie/kristallisatie van struviet en calciumfosfaat. Uit te werken door Cosun/CFTC.
- Optimalisatie van de verwijdering van N en P uit vaste fractie van digestaat, zodat de concentratie ervan in de vloeibare/dunne fractie na de vast/vloeistof-scheiding wordt verhoogd en een "schone" organische stof wordt verkregen (scenario 2b). Uit te werken door Bioclear.

Binnen de onderzoeklijnen wordt dus gekeken naar de winning van N, P en evt. K meststoffen, voornamelijk in een vaste, relatief zuivere vorm, en naar het maken van (vloeibare) cocktails met N, N+K en N+P+K. Ook is het maken van een "schone" organische stof (zonder P en liefst ook N) één van de speerpunten van het onderzoek.