

Byosis Group BV
T: +31 851 30 23 82
E: info@byosis.com
I: www.byosis.com

Drosteweg 8
8101 NB Raalte
Nederland

Publieksrapportage DEI

Hergebruik van ammoniak uit reststromen als alternatief voor Haber-Bosch-proces

Projectnummer: DEI2720024

Mede ondersteund door RVO

Samenvatting

Byosis heeft met ondersteuning van de DEI-subsidie een installatie gebouwd om aan tonen dat zonder toevoeging van zwavelzuur, maar met behulp van CO₂, ammoniak kan worden gewonnen uit zwaar vervuilende reststromen, die overblijven na de vergisting van dierlijke mest en waterzuiveringsslib. De terugverdientijd van de installatie voor duurzaam geproduceerd ammoniak bedraagt ca. 2-3 jaar in het geval van digestaatverwerking. Ook slibverwerking is interessant vanaf een ingangconcentratie van 2,5 kg N-NH₄/m³. Verder is aangetoond dat per eenheid minimaal 3 keer minder energie nodig is dan het fossiele Haber-Bosch alternatief. Daarmee is de CO₂ uitstoot van het circulaire proces per eenheid 62 – 70% lager dan het meest gebruikte alternatief.

De technologie is 100% in Nederland ontwikkeld en de hoofdcomponenten en assemblage van de installatie worden met Nederlandse partner-toeleveranciers gebouwd. Met dit demonstratieproject wordt een volledige operationele oplossing getoond die aanhaakt op de marktvraag voor duurzaam geproduceerde ammoniak. Via de succesvolle demonstratie van de techniek kunnen potentiële kopers overtuigd worden om te investeren in de techniek van Byosis.

De DEI-subsidie heeft ons mede in staat gesteld dit proces met rust en zorgvuldigheid te doorlopen en alle kinderziektes te elimineren. We hebben over interesse in onze techniek niet te klagen.

Inhoudsopgave

Samenvatting.....	1
Inhoudsopgave	2
1 Projectinformatie.....	3
2. Inhoudelijk eindrapport.....	4
2.1 Inleiding	4
2.2 Doelstelling.....	6
2.3 Resultaten	6
2.4.2. WP1: Technisch detailontwerp	8
2.4.3. WP2: Opstellen testplan.....	10
2.4.4. WP3: Opbouw, installatie op locatie	11
2.4.5. WP4 Testwerkzaamheden.....	12
2.4.6. WP5: Ontwerp commerciële installatie	14
2.4.7. WP 6: Businesscase	14
2.4.8. Vergelijking met Haber Bosch Proces.....	18
2.4.9. Spin-off en vervolgactiviteiten	19
2.4 Conclusie en aanbevelingen	20
3. Uitvoering van het project.....	21
3.1 Problemen	21
3.2 Kennisverspreiding	21
3.3 PR en verdere mogelijkheden.	21
4. Literatuur/bronnen.....	22

1 Projectinformatie

Penvoerder : Byosis Group B.V.

Projecttitel : Hergebruik van ammoniak uit reststromen als alternatief voor Haber-Bosch-proces

Projectnummer: DEI2720024

Projectperiode: 16 juni 2020 tot en met 31 december 2020

Status : Publiek

Rapportnummer : P2020-16 – Publiekversie

Versie : 1

Datum : 29-03-2021

Opgesteld door : J. van den Broek en G.J. Buffinga (Byosis)

Ondersteund door RVO

Contactinformatie

Byosis Group BV, Raalte

Telefoonnr. : +31 85 13 02 3 82

E-mail : info@byosis.com

2. Inhoudelijk eindrapport

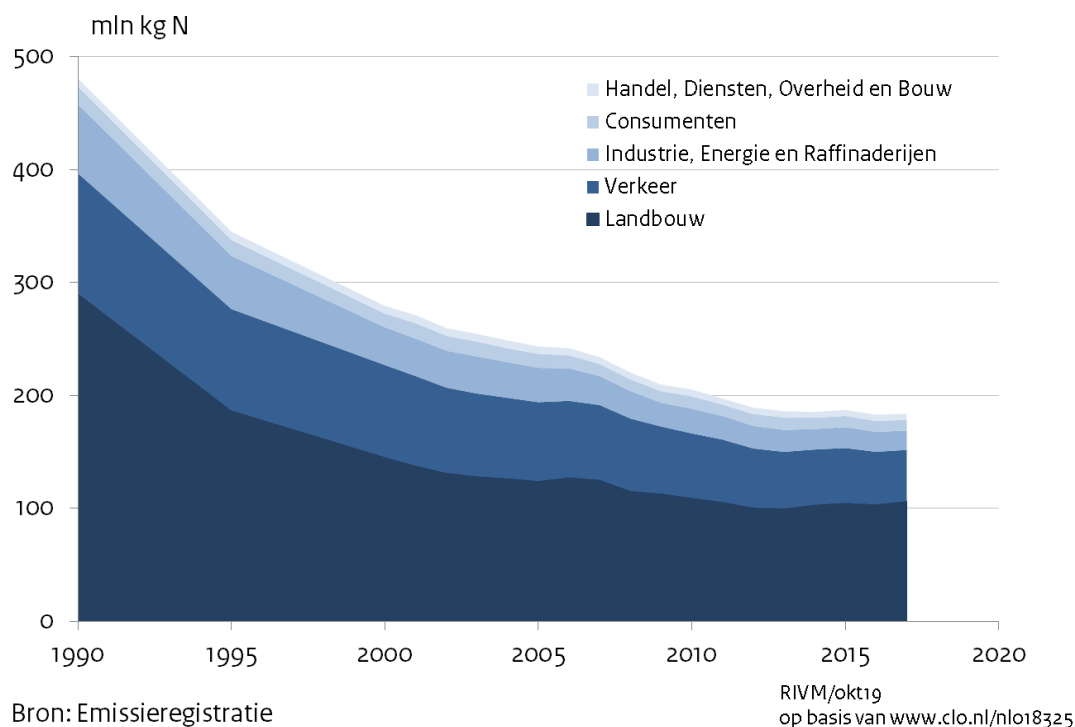
2.1 Inleiding

Aanleiding voor het project is een terugkerende vraag vanuit de markt om op locatie ammoniak te verwijderen uit zwaar vervuilende reststromen die overblijven na de vergisting van dierlijke mest en waterzuiveringsslib. Kort samengevat is de aanleiding voor dit project:

- De toenemende druk om stikstofhoudende reststromen te verwerken op locatie en waardevolle grondstoffen opnieuw te gebruiken ter bescherming van mens en milieu onder ander door middel van het eindadvies van het Adviescollege Stikstofproblematiek over een structurele aanpak van stikstof op lange termijn (<https://www.rijksoverheid.nl/documenten/rapporten/2020/06/08/niet-alles-kan-overal>);
- De ervaringen die Byosis Group de afgelopen jaren heeft opgedaan met strippen van digestaat in Nederland en omringende landen;
- Het vrijkomen van een locatie voor de bouw van een pilotinstallatie om testen uit te voeren met een nieuw proces om ammoniak terug te winnen en een circulaire business case op te bouwen en valideren;
- Een door Byosis Group nieuw ontwikkeld technisch concept voor het terugwinnen van ammoniak uit zwaar vervuilde reststromen zonder toevoeging van zwavel- of salpeterzuur, maar met behulp van CO₂.

Ammoniak is de laatste tijd veelvuldig in het nieuws vanwege de stikstofcrisis. De Nederlandse stikstofuitstoot is de hoogste van Europa: per hectare stoten we ongeveer 4 keer zo veel uit dan het EU-gemiddelde (<https://www.milieucentraal.nl/klimaat-en-aarde/stikstof-in-de-lucht-en-bodem/>). De landbouwsector is verantwoordelijk voor een groot deel van deze uitstoot: 61%.

Emissie stikstof per sector



Ammoniak komt vooral van de landbouw en veeteelt. Het komt uit de mest en urine van dieren. Een deel belandt rechtstreeks in de grond, bijvoorbeeld door uitrijden van mest of als dieren in de wei staan. Dit draagt bij aan de vruchtbaarheid van landbouwgrond. Planten hebben stikstof nodig om te kunnen groeien. De atmosfeer bestaat voor 78% uit stikstof, maar in een vorm die lastig op te nemen is door planten. Daarom is het aanbieden van stikstof in een geschikte vorm onmisbaar om de groeiende wereldbevolking te kunnen blijven voeden. De synthese van ammoniak en de ontwikkeling van kunstmest zijn op dit gebied historisch gezien stappen van significant belang geweest.

Zonder kunstmest is het onmogelijk om iedereen op aarde te blijven voorzien van voldoende en betaalbare voeding. De ammoniak die hiervoor wordt gebruikt wordt gemaakt via het Haber-Bosch-proces. Dit proces werkt door stikstofgas uit de lucht in contact te brengen met waterstofgas en zonder zuurstof in een katalysator - en onder hoge druk - te verhitten. Bij de productie wordt veel energie gebruikt in de vorm van aardgas wat zorgt voor veel CO₂-uitstoot.

Te veel extra stikstof is slecht voor mens en milieu. In de natuur zorgt het voor verzuring en verschraling van de grond, en een afname van biodiversiteit. Daardoor verdwijnen niet alleen planten, maar ook de insecten en vlinders die van die planten leven. In sloten, plassen en meren zorgt te veel stikstof voor veel algengroei, waardoor er minder zuurstof in het water zit en waterplanten en vissen dood gaan. Er is dus sprake van een situatie waarin de aanwezigheid van stikstof leidt tot een crisis, maar waar het ammoniak tegelijkertijd middels een zwaar vervuilend en energie-intensief proces nieuw wordt geproduceerd en toegevoegd aan de kringloop. De oplossing van Byosis Group is om ammoniak bij de bron duurzaam te recyclen. In anaerobe processen, zoals vergistingsprocessen, ontstaat immers, naast biogas, ammoniak door bacteriële omzetting van organische gebonden stikstof. Door deze ammoniak terug te winnen wordt ammoniak circulair, en met minimale uitstoot van CO₂, opnieuw ter beschikking gesteld aan de voedselproductie.

Partijen die veel stikstof produceren moeten dit laten verwerken zodat het niet meer vrijkomt. Veehouders die geen mest meer mogen uitrijden over hun land moeten hun mest dus laten ophalen of het zelf wegbrengen zodat het kan worden verwerkt. Afvoeren en verwerken kost geld, terwijl ammoniak een zeer waardevolle grondstof is voor een scala aan producten.

Het probleem is dat de fossiele ammoniakproductie door middel van het Haber-Bosch-proces zo grootschalig en kosten-efficiënt werkt dat er lastig tussen te komen is als duurzame producent. Het pilotproject zal worden gebruikt om aan te tonen dat:

- Er middels het proces van Byosis minder energie nodig is per eenheid geproduceerd ammoniak en daarmee een lagere CO₂-uitstoot is per eenheid product;
- Er een positieve business case kan worden gedraaid met een gunstige terugverdiendtijd en een duidelijke milieuwinst ten opzichte van het fossiele alternatief.

De uitdagingen van de voorziene oplossingen en de aanpak daarvan:

Technisch: Het bestaande concept moet worden omgebouwd van een proces met een zwavelzure wassing naar concept waarbij enkel een ammoniakrijke afgaslucht ontstaat, die naar keuze ook gecondenseerd kan worden waarbij o.a. ammoniakwater ontstaat, en worden geïntegreerd met voor- en nageschakelde processen. Er wordt in het nieuwe proces geen gebruik meer gemaakt van chemicaliën zoals zwavelzuur, gebruik van thermische en elektrische energie is minimaal om de OPEX en kostprijs van het eindproduct competitief te maken met het fossiele alternatief.

Oplossing: circuleren en trapsgewijs afkoelen en opwarmen van gaslucht zodat bij lage temperaturen ammoniak kan worden teruggewonnen zonder zwavelzuur, maar met CO₂.

Commercieel: Belangrijkste commerciële uitdaging is de afzet van circulair ammoniak in de markt. Zuiverheid van het eindproduct is een belangrijke voorwaarde voor de concurrentiepositie van het eindproduct. Meerwaarde voor afnemers van een 'circulair' product moet goed duidelijk en inzichtelijk kunnen worden gemaakt om bereidheid om hiervoor te betalen te creëren. Dit houdt wel in dat er een aantoonbare, zeer significante verbetering voor omzetting van stikstof naar ammoniak ten opzichte van Haber-Bosch-proces. Qua Certificering (eind)producten werkt de Europese Commissie aan wetgeving die gebruik van meststoffen uit reststromen veel makkelijker toegankelijk maakt.

Oplossing: nauwe samenwerking met ketenpartners van verwerkers tot leveranciers van ammoniumproducten aan eindgebruikers waaronder bijv. CLAFIS (zie intentieverklaring CLAFIS). In onderling overleg kunnen vereisten aan productkwaliteit en markt vraag op elkaar worden afgestemd van bron tot bestemming.

Byosis heeft met ondersteuning van de DEI-subsidie een installatie gebouwd om Ammoniak te winnen uit vervuilde stromen zonder gebruikmaking van een zure wasstap. De technologie is 100% in Nederland ontwikkeld en de hoofdcomponenten en assemblage van de installatie worden met Nederlandse partner-toeleveranciers gebouwd.

2.2 Doelstelling

De algemene doelstelling van het project is om onder praktijkomstandigheden met nieuwe technieken te onderzoeken en te testen hoeveel thermische en elektrische energie benodigd is om een kilogram gasvormig ammoniak te winnen uit zwaarvervuilde stromen met behulp van een nieuw proces op basis van condensatie. Dit bepaalt voor een belangrijk deel de uiteindelijke milieuwinst van het proces. Daarnaast zal worden getest of het in praktijk lukt om het innovatieve nieuwe proces in de praktijk te combineren met benodigde processtappen en de kwaliteit en bruikbaarheid van het geproduceerde ammoniak.

De doelstelling voor de business case is tweeledig: de terugverdientijd van de installatie wordt aangetoond onder verschillende procescondities en van het geproduceerde ammoniak wordt aangetoond dat er per eenheid minder energie nodig is dan via het Haber-Bosch-proces. Hiermee wordt verder aangetoond dat per eenheid minimaal 3 keer minder energie nodig is dan het fossiel alternatief (Haber-Bosch), dat de CO₂-uitstoot van het circulaire proces per eenheid 66 – 85% lager is dan het meest gebruikte alternatief.

2.3 Resultaten

De resultaten van het project worden beschreven aan de hand van de uitvoering van de volgende werkpakketten:

- WP 1: Technisch detailontwerp installatie;
- WP 2: Testplan;
- WP 3: Pilotinstallatie in lijn met detailontwerp;
- WP 4: Testresultaten, analyserapporten, feedback van AE Hardenberg. (go/no go)
- WP 5: Eindtest met optimale schakeling van processen voor optimaal eindproduct.
- WP 6: Businesscase.

Beschrijving werkpakketten:

WP 1: Met behulp van data uit eerdere projecten is een detailontwerp gemaakt, dat geheel is doorgerekend met simulatiemodellen, uitgevoerd met PRO-SIM simulatiesoftware. Hierbij zijn nieuwe componenten toegevoegd aan het proces.

WP 2: Aan de hand van het nieuwe ontwerp en de verwachte M&E balans is een testplan opgesteld om de werking van het nieuwe proces aan te tonen en te analyseren. Daarbij zijn diverse instellingen getest om alternatieven te onderzoeken.

WP 3: Prefabricage van onderdelen en opbouw van de installatie op locatie te Hardenberg. Het testen van de aansluitingen tussen de componenten en ook die van de voor- en nageschakelde processen. Controle van de besturingen en metingen/ sensorsignalen.

WP 4: Na de in bedrijfsname zijn testwerkzaamheden uitgevoerd om de werking van de installatie aan te tonen, wat betreft:

- Striprendement
- Toegepaste condensatietechnieken
- Wasmethode zonder toevoeging van zwavelzuur maar behandeling met CO₂.
- Variëren met hoeveelheid circulatie lucht en verse lucht.
- Meest effectieve lucht- debiet en temperatuur.

WP 5: Met de opgedane kennis uit de testperiode is een vertaling gemaakt voor een opgeschaald en commercieel ontwerp voor toekomstige projecten.

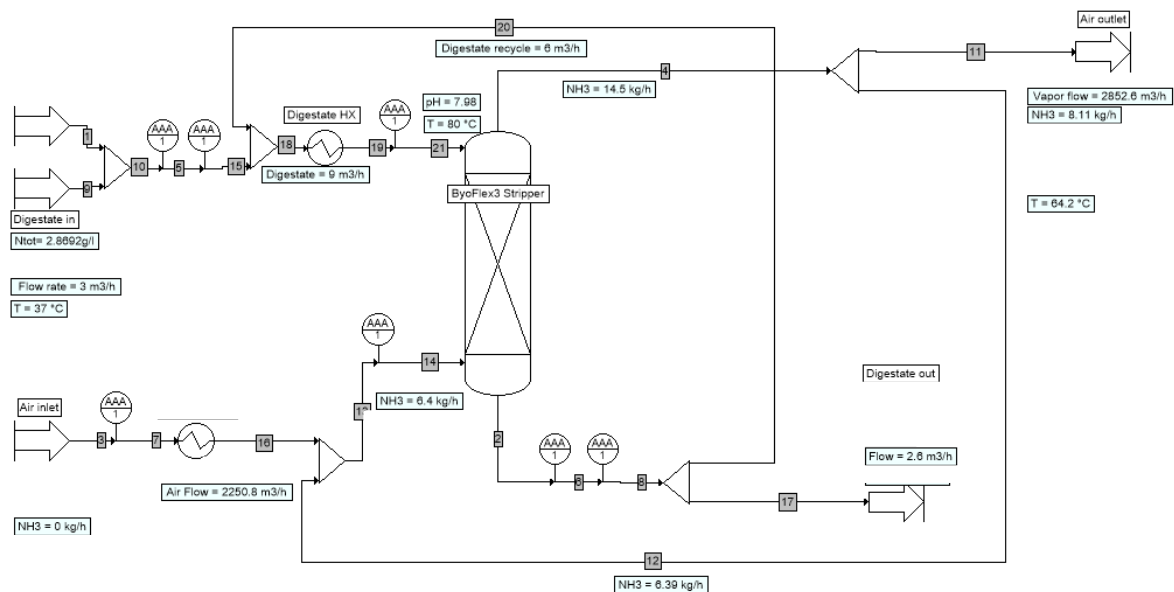
WP 6: Evaluatie van de resultaten, met eindrapportage incl. businesscase.

WP of Fase	Korte beschrijving	Resultaat	Uitvoering begin- en einddatum
1	Detailengineering, technische tekeningen, Programma van Eisen (PvE), FAT-testen.	Technisch detailontwerp installatie.	Juni - Sept 2020
2	Opstellen testplan	Testplan.	September 2020
3	Opbouw installatie op locatie, SAT.	Testinstallatie in lijn met detailontwerp.	Oktober- December 2020
4	Testen aan de hand van een testplan, experimenten met alternatieve methodes, analyses meetresultaten	Testresultaten, analyserapporten, feedback van AE Harden. (go/no go)	November – December 2020
5	Ombouw en duurzame inzet in optimale bedrijfssituatie	Vertaling van de testresultaten tot een opgeschaald ontwerp.	November – December 2020
6	Evaluatie resultaten	Eindrapportage met businesscase.	December 2020

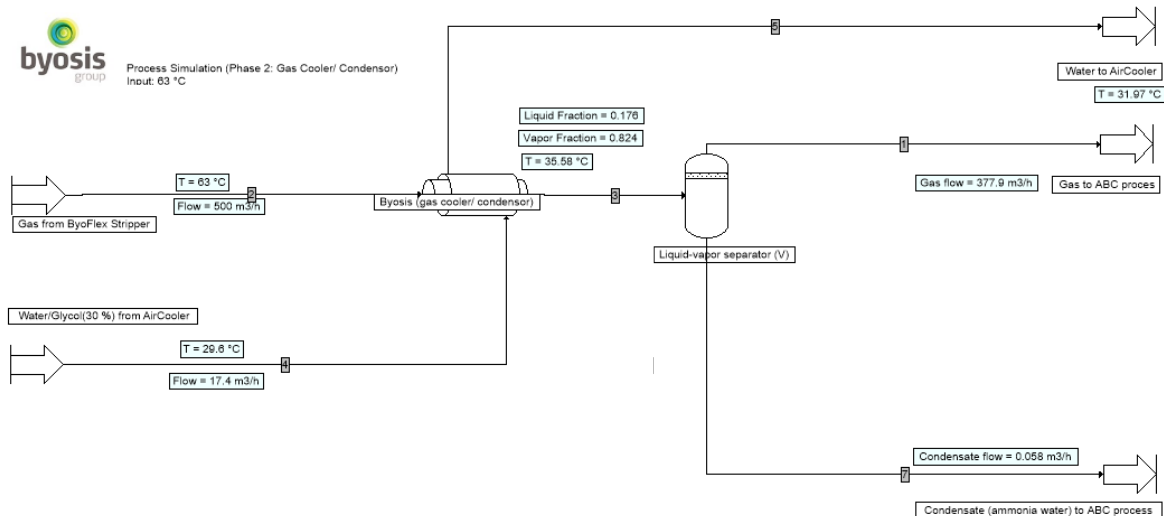
2.4.2. WP1: Technisch detailontwerp

Ter voorbereiding en bepaling van het ontwerp zijn simulaties uitgevoerd behulp van geavanceerde processimulatie software, te weten ProSim. Daarbij zijn de optimale procescondities, het verwachte energieverbruik en de omvang van de diverse processtromen bepaald. De testinstallatie is vervolgens in detail ontworpen, op basis volgende uitgangspunten:

- 1) Een digestaat doorzet van ca. 3 m³/uur
- 2) Compensatie van warmteverliezen ten gevolge van de lage temperatuur van retourlucht door middel van recirculatie van digestaat over een warmtewisselaar met voldoende capaciteit.
- 3) Regelbare lucht recirculatie en product afgasflow (ca 2250 m³/uur) met behulp van regelkleppen, luchtflowmeting en extra frequentiegeregelde blower.
- 4) Afkoeling met een gaskoeler/ condensor tot ca. 35 °C. (gewenste temperatuur voor het aansluitende proces).



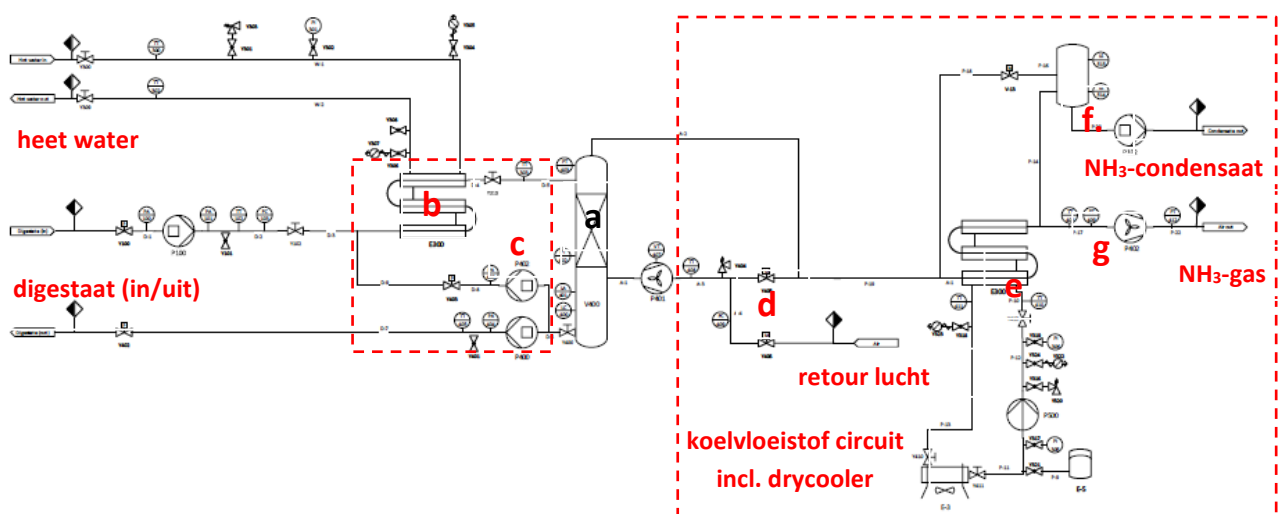
Afbeelding 1: Voorbeeld Prosim simulatie ten behoeve van het ontwerp van de het aangepaste ammonia-stripping proces.



Afbeelding 2: Voorbeeld Prosim-simulatie ten behoeve van het ontwerp van de gas cooler/ condensor sectie.

Vervolgens is een ontwerp gemaakt voor de duurzame ammoniakwinning ten behoeve van een nageschakelde CO₂-wassing waarbij een ammoniumbicarbonaat-oplossing wordt geproduceerd. Dit ontwerp bestaat globaal uit de volgende componenten:

- Stripkolom met ventilator, aan- en afvoerpomp
- Warmtewisselaar (voor regeling van de digestaat en stripper temperatuur)
- Een extra recirculatiepomp
- Leidingwerk met luchtregelkleppen voor het sturen van de recycle luchtstroom en de intake van schone retourlucht afkomstig van het de CO₂ behandlungsproces.
- Water/glycol gekoelde gaskoeler/condensator met tweedehands beschikbare drycooler
- Opvang en afvoer van ammonia condensaat richting CO₂-wassing
- Blower/fan voor gecontroleerde toevoer van ammoniak-houdende proceslucht richting de CO₂-wassing.
- Diverse sensoren, meetinstrumentatie, besturingskast, besturingssoftware en dataloggng.



Afbeelding 3: Processchema ontwerp (scope DEI-project=rood gestippeld). Het geproduceerde NH₃ wordt gevoed aan een proces, waarbij ammoniumbicarbonaat wordt geproduceerd, met behulp van CO₂.

2.4.3. WP2: Opstellen testplan

Om de werking van het proces aan te tonen is het volgende meetplan opgesteld:

Instellingen	Digestaat Doorzet	Digestaat recycle	Temperatuur stripper in	Gas flow condensor	Metingen
Fase 1	3 m ³ /uur	0, 3 en 6 m ³ /hr	80 °C (max)	ca. 2250 m ³ /uur	Zie hieronder
Fase 2	5 m ³ /uur	aanpassing /ombouw warmtewisselaar	optimaal	condensor al voorbereid	

De volgende dienen te worden verricht per systeem-instelling:

1) T.b.v. de bepaling van het striprendement:

- NH₄ gehalte digestaat (stripper in) (Meetmethode: Hach Lange)
- NH₄ gehalte stripper (stripper uit) (Meetmethode: Hach Lange)

2) Thermisch verbruik (kW_{th}) warmtewisselaar (op basis van digestaat flow en temperatuurverschil)

3) Thermisch verbruik (kW_{th}) gascooler (koelwater flow en gemeten temperatuurverschil)

3) Elektrisch verbruik (kW_e) van de installatie (beschikbaar via het datalogstelsel)

4) NH₃ concentratie (ppm) stripper luchtinlaat, uitlaat en in het gas richting CO₂ behandeling (Meetmethode: Dräger tubes)

6) Luchtdebieten en drukval over stripper de CO₂-wassing (meting ingebouwde snelheidssensor, fan frequenties en druksensoren via het datalog-systeem)

5) Temperaturen stripper (digestaat in en uit)

6) pH digestaat (stripper in en uit)

Aanvankelijk was het de bedoeling om na Fase 1 om te bouwen naar een installatie van 5 m³/uur. Maar omdat er de coronapandemie voor vertraging heeft gezorgd, kon dit binnen de termijn van het project niet worden gerealiseerd. Fase 1 heeft echter voldoende resultaten opgeleverd om conclusies en aanbevelingen te verbinden aan het project, en om een commerciële installatie te ontwerpen. Daarnaast zijn de resultaten goed te gebruiken als validatie voor de business case van een commerciële installatie.

2.4.4. WP3: Opbouw, installatie op locatie

Onderstaande afbeeldingen tonen de opbouw van de testinstallatie bij Agro Energie te Hardenberg.



Afbeelding 4: Byosis installatie te Hardenberg.



Afbeelding 5: Idem, nu inclusief digestaatopslag.

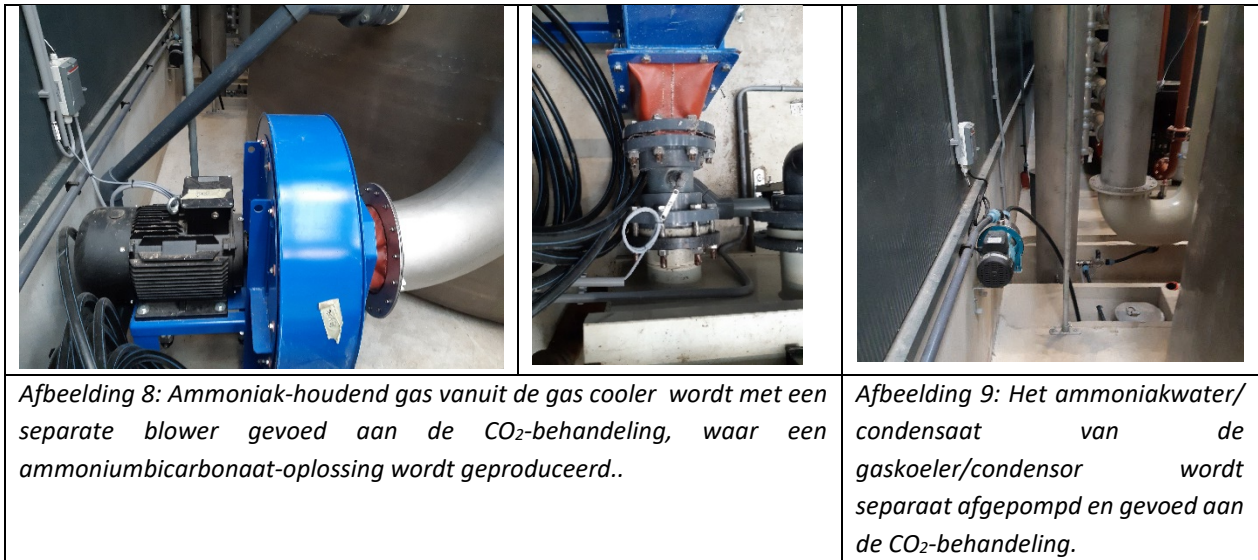
11



Afbeelding 6: Byosis Gas Cooler / Condensor met koelwater aansluitingen en circulatiepomp.



Afbeelding 7: De buiten opgestelde tweedehands drycooler van Agro Energie Hardenberg levert de juiste temperatuur van het koelwater voor de Gascooler/Condensor.



Afbeelding 8: Ammoniak-houdend gas vanuit de gas cooler wordt met een separate blower gevoed aan de CO₂-behandeling, waar een ammoniumbicarbonaat-oplossing wordt geproduceerd..

Afbeelding 9: Het ammoniakwater/condensaat van de gaskoeler/condensor wordt separaat afgepompt en gevoed aan de CO₂-behandeling.

In het aansluitende proces in Hardenberg, wordt met behulp van CO₂ een ammoniumcarbonaat-oplossing geproduceerd en opgeslagen in een aparte tank. Vervolgens wordt e.e.a. opgewerkt tot een (duurzame) kaliumnitraat oplossing (meststof), die verder wordt ingedikt tot de gewenste concentratie.

De integratie van alle procesonderdelen maakte het project tot een complex geheel. Het heeft uiteindelijk ook meer tijd gekost om alles op de juiste manier te integreren en af te stemmen. Deelleveringen voor het aansluitende proces (opslagvaten en reactor) vanuit het buitenland verliepen traag o.a. door corona. De realisatie van een aantal benodigde procesverbindingen kostte meer inspanning en tijd dan gepland.

2.4.5. WP4 Testwerkzaamheden

Ook de start-up en de uitvoering van de testwerkzaamheden leverde hinder op, vanwege opstartproblemen met het aansluitende proces.

Na het testen van alle I/O signalen, draairichtingen van fans en pompen, het vullen van de warmtewisselaar en gas koeler, is vervolgens gestart met de testwerkzaamheden.

Het instellen en regelen van de diverse luchtstromen bleek in de praktijk goed mogelijk. Tijdens de praktijktest is de retourlucht van de CO₂-wassing gebruikt als invoer van de stripper, zodat sprake was van een gesloten procescyclus.

De volgende resultaten kunnen worden vermeld:

Digestaat Doorzet*	Digestaat recycle	T stripper (in)	Gas flow Condensor	Temperatuur retourlucht CO ₂ -proces	Strip Efficiency	Warmte-verbruik**	E-verbruik stripper	NH ₃ productie
m ³ /uur	m ³ /uur	°C	m ³ /uur	°C	%	kW _{th}	kWh _e /ton	kg/uur
3	0	80	2250	35	54	149	4,7	5,9
3	3	80	2250	35	64	250	4,7	7,1
3	6	80	2250	35	72	349	4,7	7,9

*) Op basis van ca.2,8 g/l N-NH₄ en 37 °C.

***) In een commerciële installatie kan nog ca. 70-80 % van de warmte in de uitgaande digestaatstroom worden teruggewonnen met een aanvullende recuperator warmtewisselaar.*

De afkoeling van het gas van met de ontworpen gaskoeler is in de testinstallatie Hardenberg gerealiseerd met behulp van een drycooler, waarbij de warmte wordt afgegeven aan de omgeving. In een commercieel ontwerp kan deze warmte worden in gezet voor het opwarmen van de vergister. Het elektriciteitsverbruik van de het gaskoeler circuit te Hardenberg (incl. drycooler), zal daardoor in een commerciële installatie sterk gereduceerd kunnen worden.

Bovenstaande cijfers kunnen vertaald worden naar de volgende specifieke cijfers per m³ digestaat doorzet in het geval van een commerciële installatie:

Resultaten	Hardenberg	Commercieel	
Digestaat doorzet	3	3	m ³ /uur
Warmteverbruik warmtewisselaar	349	349	kw _{th}
Warmteterugwinning digestaat afvoer	0	112	kw _{th}
Warmteterugwinning gaskoeler	0	192	kw _{th}
Specifiek electriciteitsverbruik	116	15	kw_{th}/m³
Stripper	4,7	4,7	
Gas koeler circuit	6,6	0,3	kWe/m ³
Specifiek electriciteitsverbruik	11,93	5,0	kWe/m³
N-NH ₄ gehalte	2,8	5	kg/m ³
Stripping efficiëntie	72%	72%	
Specifieke NH ₃ productie	2,02	3,60	kg/m ³

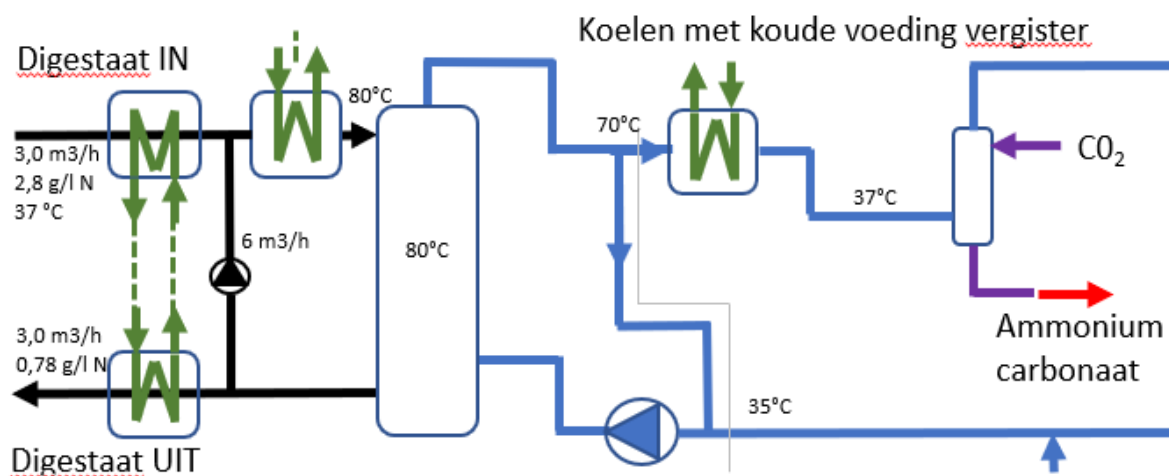
13

De gaskoeler/condensor van de installatie bij Agro Energie te Hardenberg is al voorbereid op een capaciteit benodigd voor een doorzet van 5 m³/uur digestaat. Daarnaast bestaat het plan om de capaciteit te verdubbelen door een identieke tweede installatie van 5 m³/uur te realiseren in een te bouwen bedrijfshal op een aansluitende kavel.

2.4.6. WP5: Ontwerp commerciële installatie

Ter voor bereiding op de businesscase is een inschatting gemaakt van de investeringskosten voor een opgeschaalde commerciële installatie met een doorzet van 25 m³/uur en 100 m³/hr. De specifieke investeringskosten daarvoor bedragen respectievelijk € 47.000 per m³/uur doorzet en € 32.900 per m³/uur doorzet.

Bij het commerciële ontwerp is rekening gehouden met een recuperatie warmtewisselaar voor terugwinning van de warmte in het uitgaande digestaat. Voor het koelen van het gas wordt een beschikbare koude (mest)stroom ingezet die zodoende opgewarmd wordt bijv. als voeding voor het vergistingsproces.



2.4.7. WP 6: Businesscase

Op basis van de testresultaten zijn de OPEX kosten van een commercieel systeemberekend. Deze vallen iets hoger uit t.o.v. de projectaanvraag. Uit de testresultaten blijkt dat het striprendement iets lager uitvalt dan eerder aangenomen, maar niet noemenswaardig. Deze wijzigingen ten opzichte van het projectplan zijn verwerkt in de onderstaande business case voor de eindgebruiker.

A. Markt

De markt voor dit project is de verwerking van stikstofhoudende reststromen uit vergisters. In eerste instantie richt dit project zich op het segment van de biogasinstallaties met mestvergisters die meststromen afkomstig van de landbouw verwerken. Deze installaties verzamelen en verwerken agrarische meststromen. Daarna kan - met de partners - ook worden doorgeschakeld naar het segment van de waterzuiveringsinstallaties met zuiveringsslibvergisters. Deze partijen krijgen stikstofhoudend rioolwater binnen en verwerken dit met als reststroom vervuild rioolslib. Het resultaat uit het proces is circulair ammoniak (NH₃) wat een halffabricaat is voor de productie van een breed spectrum aan nieuwe eindproducten.

Zowel in Europa als wereldwijd liggen veel kansen voor deze technologie. Met name in Duitsland, Italië, Verenigd Koninkrijk waar al klantrelaties bestaan is vraag naar de nieuwe technologie. Leads zijn er verder in ondermeer Frankrijk, Finland, Zweden, Spanje. Wereldwijd is er een klantrelatie in Zuid-Afrika en

zijn er leads in Z-O Azië, Australië en Nieuw Zeeland , Latijns Amerika, VS en Canada. Unique selling point (usp) voor de mondiale markt, vooral op plekken die afgelegen liggen en/of minder goed bereikbaar zijn, is dat voor het wasproces geen zwavelzuur meer nodig is.

Dit zuur is niet aanwezig op locatie en de aanvoer naar afgelegen locaties is lastig, gevaarlijk en daardoor duur. Uit (informele) gesprekken blijkt dat de behoefte aanwezig is voor een oplossing waarmee uit zwaar vervuilde reststromen ammoniak kan worden teruggewonnen.

Marktomvang

In Nederland staan in totaal rond de 200 vergistingsinstallaties. Deze vergisters verwerken reststromen van uiteenlopende herkomst. Tijdens het vergistingsproces wordt hier methaan uit teruggewonnen. De methaan wordt – na behandeling – het aardgasnetwerk ingebracht ('groen gas') of ter plaatse gebruikt voor de productie van stroom en warmte.

Landbouw: De Nederlandse landbouw produceert 504 miljoen kg stikstof in de vorm van mest (zie afbeelding stikstofcyclus pagina 10). 252 miljoen kg daarvan gaat momenteel verloren naar de bodem, en 91 miljoen kg naar de lucht. In de lucht vorm stikstof samen met zuurstof een sterk broeikasgas, dat 298 keer sterker is dan CO₂¹. Voordat de stikstof verloren gaat wint het proces van Byosis de stikstof terug in de vorm van ammoniak en circuleert het terug zodat het nogmaals nuttig kan worden gebruikt.

Rioolwaterzuivering: Het aantal waterzuiveringsinstallaties Nederland ligt rond de 3202. De installaties verwerken het afvalwater dat afkomstig is van Nederlandse huishoudens en bedrijven. Het zuiveringslib dat hierna overblijft bevat ongeveer 17,5 miljoen kg stikstof.

¹ <https://www.cbs.nl/nl-nl/nieuws/2020/19/uitstoot-broeikasgassen-3-procent-lager-in-2019/co2-equivalent>.

² <https://www.cbs.nl/nl-nl/cijfers/detail/7477?dl=28509>
Eindrapport DEI-project – Hergebruik van ammoniak uit reststromen als alternatief voor Haber-Bosch-proces DEI2720024

B. Businesscase eindgebruiker

De nieuwe installatie van Byosis Group onderscheidt zich op drie vlakken:

- Technisch: Byosis gebruikt geen membranen, heeft daardoor minder last van vervuiling en een bezettingsgraad van 90%. Mede hierdoor zijn de kosten per eenheid verwerkt digestaat de laagste in de markt: 2,50 euro (CAPEX/OPEX concurrentie) tegenover 1,70 euro (CAPEX/OPEX Byosis).
- Technisch: veel lager energieverbruik dan concurrerende systemen wat ook een belangrijke bijdrage levert aan de lage kostprijs per eenheid product;
- Technisch: er is geen (zwavel)zuur meer nodig om ammoniak te produceren.

Uitgangspunten Business Case:

De businesscase voor de eindgebruiker is gebaseerd op de volgende uitgangspunten:

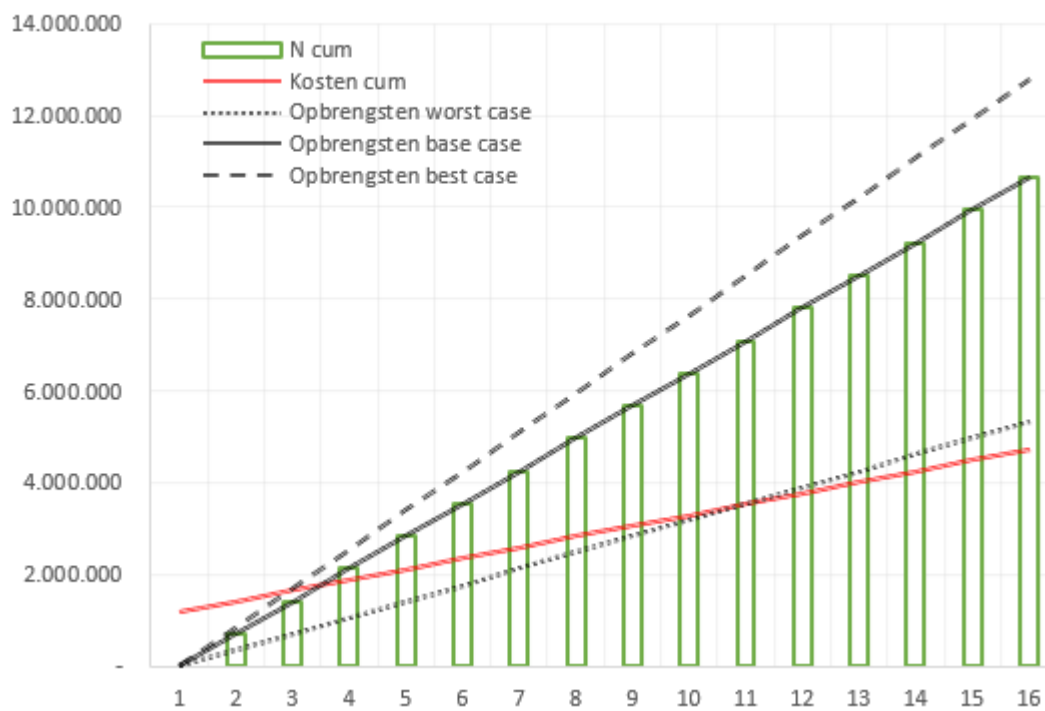
<i>Investering</i>		
Installatietype 1	€ 47.000	25 m ³ /h (doorzet)
Installatietype 2	€ 32.900	100 m ³ /h (doorzet)
<i>Opbrengsten</i>		
Worst	€ 0,50	kg/NH ₃
Base	€ 1,00	kg/NH ₃
Best	€ 1,20	kg/NH ₃
Mest	5	kg N-NH ₄ /m ³
Slib	2,5*	kg N-NH ₄ /m ³
Strip rendement	72 %	
Productieve uren	8760	uur
Bezettingsgraad	0,9	
<i>Kosten</i>		
OPEX	€ 1,20	€/m ³

*Vanaf een ingangconcentratie van 2,5 kg N-NH₄/m³ is de business case interessant voor slibverwerking.

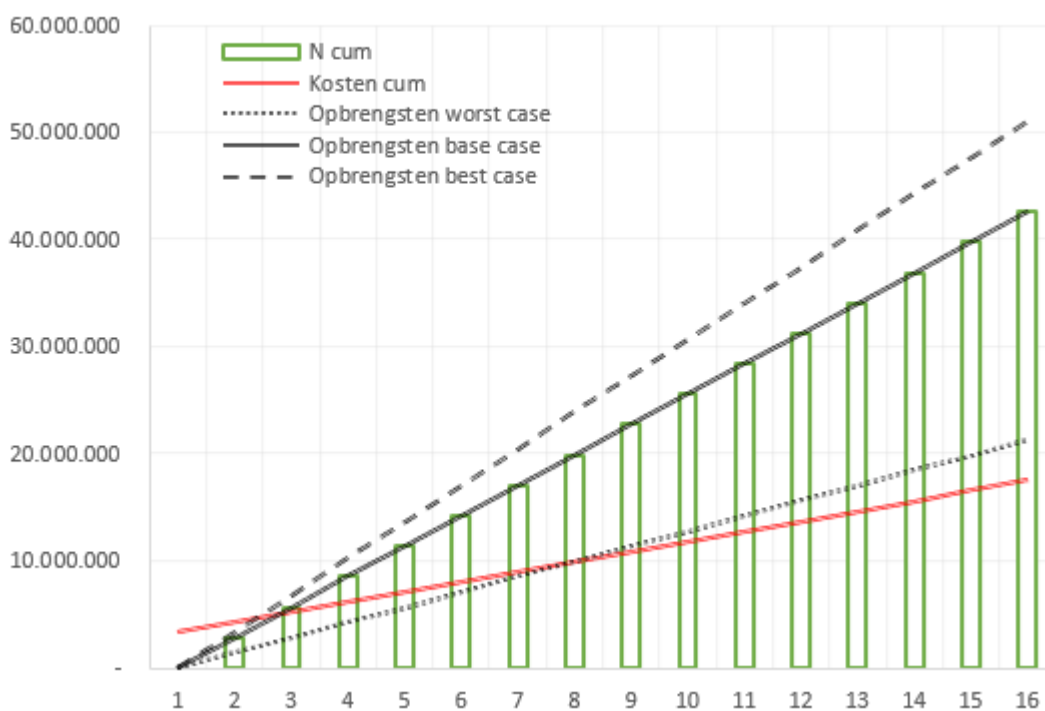
Terugverdientijd digestaatverwerking:

- Type 1: base case 3,5 jaar, best case 3 jaar, worst case 11 jaar, NH₃ productie per jaar 710.000 kg.
- Type 2: base case 3 jaar, best case 2,5 jaar, worst case 8 jaar, NH₃ productie per jaar 2.840.000 kg.

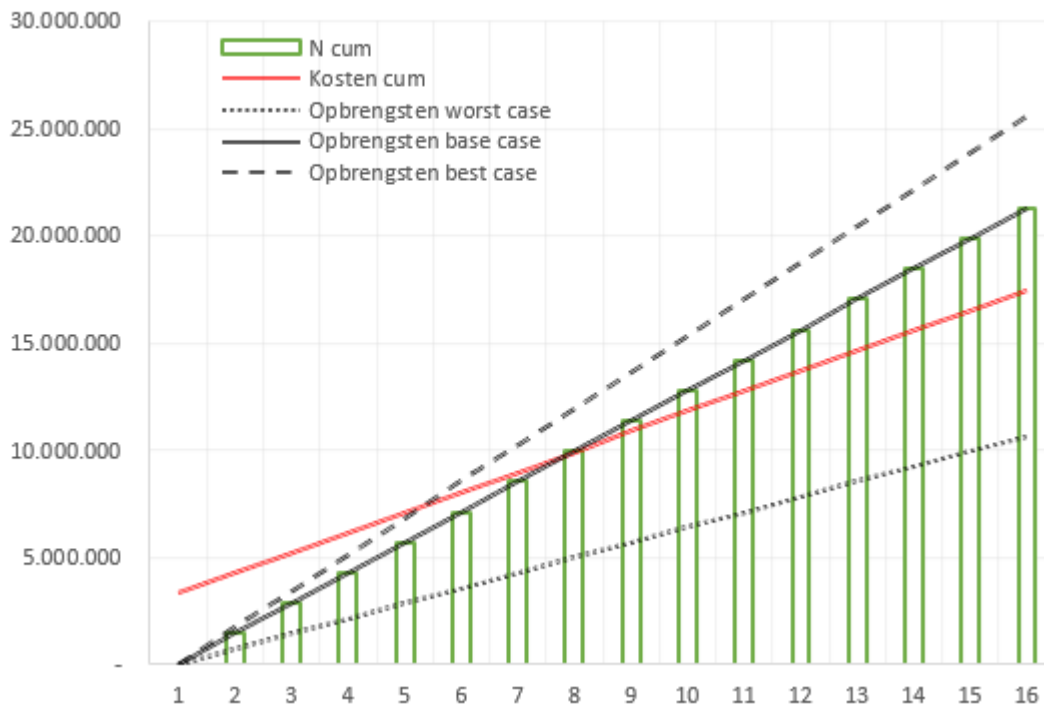
Digestaat type 1



Digestaat type 2



Slibverwerking type 2



Terugverdientijd slibverwerking:

- Type 2: base case 8 jaar, best case 5,5 jaar, worst case >15 jaar, NH₃ productie per jaar 1.420.000 kg. Vanaf een ingangconcentratie van 2,5 kg N-NH₄/m³, is de business case voor slibverwerking interessant.

18

2.4.8. Vergelijking met Haber Bosch Proces

CO₂-reductie project na 5 jaar:

Haber-Bosch-proces: De benodigde energie komt uit de verbranding van aardgas. Voor de productie van 1 kg ammoniak is 1,31 kg aardgas nodig. Aardgas bevat 81,3% CH₄ per m³, dus is er 1,61 m³ aardgas nodig per kg ammoniak. Energie-inhoud van een m³ Gronings aardgas is 31,65 MJ/m³. Dichtheid van NH³ is 0,73 kg/m³. Daarmee komt het energieverbruik voor de productie van 1 kg ammoniak door middel van het Haber-Bosch-proces neer op 1,61 x (31,65 / (0,73)) = **69,8 MJ**.

Bij de verbranding van aardgas komt CO₂ vrij, via de reactie: CH₄ + 2O₂ ↔ CO₂ + 2H₂O. 1 mol CH₄ levert 1 mol CO₂ op. Het de molaire massa van CH₄ is 16 en van CO₂ 44 g/mol. Dus 1 kg CH₄ geeft 2,75 kg CO₂. Voor de productie van 1 kg NH₃ is 1,31 kg CH₄ nodig, dus dit leidt tot een CO₂-uitstoot van **3,6 kg per kg NH₃**.

Byosis Group: Uit de testresultaten is gebleken dat met het nieuwe systeem stikstof uit digestaat teruggewonnen kan worden met een rendement van ca. 72%. Digestaat uit mestvergisters bevat ca. 5 kg N per m³ waar 3,6 kg NH₃ uit terug kan worden gewonnen. Voor het terugwinnen van de NH₃ met het nieuwe proces is 5 kWh/m³ elektrische energie om de noodzakelijke thermische energie te produceren, wat neerkomt op 1,39 kWh/kg NH₃. Afhankelijk van de recuperatie van de restenergie moet daarvan een deel worden ondervangen met thermische energie, die moet worden gecreëerd in het geval er geen restwarmte op locatie aanwezig is. Voor de productie van NH₃ met volledige thermische energie is 25

kWh/m³ nodig, dus 6,94 kWh/kg NH₃. Het energieverbruik middels het nieuwe proces ligt daarmee tussen de 1,39 – 6,94 kWh per kg ammoniak. 1 kWh komt overeen met 3,6 MJ. Het energieverbruik voor de productie van 1 kg ammoniak door middel van het Byosis Group-proces ligt daarmee tussen **5 en 25 MJ**.

Met de nieuwe methode ontstaat een positief verschil in de productie met een factor van **2,8 - 13,9 x** minder energie nodig. Om de CO₂-uitstoot te berekenen wordt uitgegaan van het gebruik van netstroom. CO₂-uitstoot van per kWh in Nederland ligt rond de 0,45 kg³. De benodigde thermische energie is net als bij het Haber-Bosch-proces afkomstig uit aardgas. Hierdoor komt de CO₂-uitstoot uit op **0,6 en 1,2 kg per kg NH₃**.

Het onderstaande tabel laat de prognose zien van de verkoop van installaties 5 jaar na het einde van het project. De installatie wordt geleverd in twee varianten: 25 (basis) en 100 (groot) m³/h volumestroom digestaat.

	Capaciteit	2021	2022	2023	2024	2025
Verkoop installatietype 1	25 m ³ /h	0	1	0	1	2
Verkoop installatietype 2	100 m ³ /h	0	0	0	0	1

Bij een mestvergister levert een basisinstallatie een jaarlijkse CO₂-besparing op van: 2,2 – 1,7 miljoen kg op. Na 5 jaar hebben de verkochte installaties in totaal 8 jaar gedraaid, wat een besparing oplevert van 17,6 – 13,6 miljoen kg CO₂. Daarnaast draait er een installatie met een capaciteit van 100 m³/h voor een jaar met een jaarlijkse besparing van 8,8 – 6,8 miljoen kg CO₂. Alles bij elkaar leidt dit een geschatte CO₂-besparing tussen de 26,4 en 20,4 miljoen kg ten opzichte van het fossiele alternatief.

2.4.9. Spin-off en vervolgvactiteiten

Verder uitbreiding van de warmtewisselaar zal nog plaatsvinden om de installatie geschikt te maken voor voedingscapaciteit van 5 m³/uur. De gaskoeler/condensor van de installatie bij Agro Energie te Hardenberg is hierop al voorbereid

Aansluitend bestaat het plan om de capaciteit te verdubbelen door een identieke tweede installatie van 5 m³/uur te realiseren in een te bouwen bedrijfshal op een aansluitende kavel.

Vervolgens zal de opgedane kennis zal worden gebruikt voor marktintroductie

³<https://www.cbs.nl/nl-nl/maatwerk/2018/04/rendementen-en-co2-emissie-elektriciteitsproductie-2017>
Eindrapport DEI-project – Hergebruik van ammoniak uit reststromen als alternatief voor Haber-Bosch-proces DEI2720024

2.4 Conclusie en aanbevelingen

Byosis heeft de afgelopen jaren een proces ontwikkeld waarmee stikstof op middelgrote schaal wordt teruggewonnen uit sterk vervuilde substraten zoals digestaat of afvalwater. Het substraat wordt tijdens het ammoniakstripproces gepompt, waarbij lucht in tegengestelde richting door het substraat wordt geblazen. Ammoniak wordt door de lucht opgevangen. De lucht, (gedeeltelijk) verzadigd met waterdamp en ammoniak, wordt daarna door twee ammoniakwassers geblazen. Daar wordt de ammoniak met zwavelzuur (of salpeterzuur) en water uit de lucht verwijderd om ammoniumsulfaat en -nitraat ($(\text{NH}_4)_2\text{SO}_3$ en NH_4NO_3) te maken en te gebruiken als eindproduct kunstmest. Dit is de huidige stand van de techniek.

Daar is nu echter een innovatieve nieuwe processtap aan toegevoegd. Het nieuwe proces met als halffabrikaat NH_3 is in economisch opzicht waardevoller, omdat het voor verschillende doeleinden kan worden ingezet.

Aangetoond is dat voor het nieuwe proces van Byosis minimaal 3 keer minder energie nodig is vergeleken met het fossiele Haber-Bosch proces per eenheid geproduceerd ammoniak. Daarmee is de CO_2 uitstoot van het circulaire proces per eenheid 62 – 70 % lager dan het meest gebruikte alternatief. Een duidelijke milieuwinst ten opzichte van het fossiele alternatief.

Een positieve business case kan worden gedraaid met een gunstige terugverdientijd. In het geval van digestaatverwerking kan de installatie voor duurzame productie van ammoniak in 2-3 jaar worden terugverdiend. Ook slibverwerking is interessant vanaf een ingangconcentratie van 2,5 kg N- NH_4/m^3 .

De business case kan nog worden verbeterd, indien deze vorm van ammoniakproductie gelabeld kan worden, dwz. bijmengplicht van (fossiel) ammoniak door hergebruik uit rest en nevenstromen, CO_2 besparing, fossiele energiebesparing in analogie van ticketing bij biobrandstoffen.

3. Uitvoering van het project

3.1 Problemen

De opbouw, realisatie en testwerkzaamheden hebben meer tijd hebben gekost, vanwege:

- De langere tijd die afstemming en realisatie van alle procesonderdelen en aansluitingen hebben gekost
- Door Corona vertraagde leveringen van aansluitende procesonderdelen.
- Opstartproblemen met de aansluitende processen.

3.2 Kennisverspreiding

Relatiedagen, beursbezoeken en een actieve sales organisatie zullen het product aanbieden aan potentiële klanten. De mogelijkheden van alles Byosis systemen staan uitgebreid beschreven op de website van Byosis (www.byosis.com)

3.3 PR en verdere mogelijkheden.

Voor opschaling is het belangrijk dat de schaal waarop het proces commercieel werkt steeds verder wordt opgebouwd. Een goed functionerende en rendabele installatie biedt een ideale showcase voor potentiële klanten om te zien dat het concept werkt. Doordat dit ook constant data genereert kan er met andere parameters worden gedimensioneerd en opgeschaald.

Ook is het zo dat ketensamenwerking enorm belangrijk is. Een draaiende installatie is ook een ontmoetingsplek voor stakeholders om kennis en ervaring met elkaar uit te wisselen.

4. Literatuur/bronnen

1. Ander onderzoek naar de toepassing van ammoniak: <https://www.duurzaamnieuws.nl/hoe-kansrijk-is-energie-uit-ammoniak/>. Ammoniak kan op verschillende manieren een bijdrage leveren aan een duurzame toekomst. Groene ammoniak wordt geproduceerd uit groene stroom. Daar is het proces van Byosis klaar voor. Warmte gemaakt uit groene stroom, bijvoorbeeld op locatie door middel van zonne-PV-productie, levert echte, groene ammoniak op.
2. Ammoniak kan ook worden ingezet als energiedrager voor de opslag van een overschot aan (groene) energie <https://www.vattenfall.nl/duurzame-energie/windenergie/opslag-windenergie-in-nieuwe-superbatterij/>).
3. Bovendien kan het gebruikt worden voor groen transport (<https://www.duurzaambedrijfsleven.nl/logistiek/33167/ammoniak-brandstof-scheepvaart>).



bringing biobased solutions
www.byosis.com