

STIKSTOFTERUGWINNING UIT RIOOLWATER; VAN MARKTAMBITIE NAAR PRAKTIJK



RAPPORT

2021
35

STIKSTOFTERUGWINNING UIT RIOOLWATER;
VAN MARKTAMBITIE NAAR PRAKTIJK

RAPPORT

2021

35

ISBN 978.90.5773.941.5



COLOFON

UITGAVE Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer
Postbus 2180
3800 CD Amersfoort

AUTEURS Auteurs:
R. Elbersen – Witteveen+Bos
D. Roelofsen – Witteveen+Bos
J. Dan – Witteveen+Bos
A.L. de Jong – AquaMinerals
J. Boorsma – AquaMinerals
M. Bovée - AquaMinerals

BEGELEIDINGSCOMMISSIE
C. Uijterlinde - STOWA
M. Bennenbroek – GMB
S. Gerbens – Wetterskip Fryslan
T. Flameling – Waterschap Drents Overijsselse Delta
L. Hartog – Brabantse Delta
J.B. van Lier – TU Delft
R. Schemen – Waterschap de Dommel
E. van de Berg – Waterschap Vallei en Veluwe

DRUK Kruyt Grafisch Adviesbureau bv
STOWA 2021-35
ISBN 978.90.5773.941.5

Copyright Teksten en figuren uit dit rapport mogen alleen worden overgenomen met bronvermelding.
Disclaimer Deze uitgave is met de grootst mogelijke zorg samengesteld. Niettemin aanvaarden de auteurs en de uitgever geen enkele aansprakelijkheid voor mogelijke onjuistheden of eventuele gevolgen door toepassing van de inhoud van dit rapport.

1

TEN GELEIDE

TECHNOLOGISCHE INNOVATIES MAKEN STIKSTOFTERUGWINNING UIT RIOOLWATER INTERESSANT

Dit onderzoek verkent kansrijke routes voor stikstofterugwinning uit rioolwater vanuit een markt- en duurzaamheidsperspectief. Partners in de stikstofketen kunnen de handvatten uit het rapport inzetten om succesvol een stikstofterugwinroute en afzetmarkt te ontwikkelen. Dit rapport draagt daarmee bij aan de realisatie van de duurzame stikstofterugwinning en de circulariteitsdoelstellingen van waterschappen.

De waterschappen hebben als doel om volledig circulair te zijn in 2050. Daarnaast hebben waterschappen ook het Klimaatakkoord ondertekend met als doel broeikasgasemissiereductie. Het terugwinnen van stikstof kan potentieel aan beide doelen bijdragen doordat terugwinnen van stikstof als circulair product de kans op N₂O-emissie in de zuivering en de CO₂-impact van beluchtingsenergie voor nitrificatie kleiner maakt. Bovendien vermijdt de inzet van teruggewonnen stikstof de CO₂-impact elders in de keten, omdat hierdoor minder stikstof geproduceerd hoeft te worden via het conventionele Haber-Bosch stikstofproductieproces. De realisatie van deze doelstellingen hangt enerzijds af van de behoefte in de markt en anderzijds van de juridische en technologische mogelijkheden. Beide zijn als positief aangemerkt.

De bevindingen in dit rapport leiden tot drie ontwikkelpaden die in gang kunnen worden gezet om in 2050 het overgrote deel van stikstof te kunnen terugwinnen. Op de korte termijn kunnen waterschappen inzetten op strippen en scrubben om ammoniumzouten te produceren voor toepassing als meststof. Op de middellange termijn is de verdere ontwikkeling van ammoniaproductie door bipolaire elektrolyse op rioolwater aanbevolen. Ammonia kan meer flexibel worden afgezet in verschillende sectoren. Het laatste ontwikkelpad omvat de doorontwikkeling van circulaire waterfabrieken op de lange termijn. De circulaire waterfabriek maakt het mogelijk 100 % stikstof terug te winnen. Voor alle ontwikkelpaden geldt dat regionale ketensamenwerking essentieel is: het verlicht de eventuele logistieke lasten en het maakt de baten van stikstofterugwinning tastbaar in de keten.

Joost Buntsma
Directeur STOWA

2

SAMENVATTING

Het voorliggende onderzoeksrapport verkent kansrijke routes voor terugwinning van stikstof uit rioolwater en afzet in de stikstofmarkt. Het onderzoek kijkt naar verschillende afzetmarkten van stikstof en het juridisch kader. Het geeft daarmee een integrale marktbenadering. Daarnaast zijn de huidige technologische ontwikkelingen en initiatieven voor terugwinning van stikstof uit rioolwater geïnventariseerd.

De marktanalyse van de huidige stikstofmarkt is uitgevoerd door interviews en enquêtes af te nemen bij stikstofgebruikers in verschillende industrieën, namelijk: de landbouw (kunstmest), milieutechniek (nutriënten-mengsel op de afvalwaterzuivering), chemische industrie (grondstof in productieproces), afvalverwerking-industrie (in de rookgasreiniging) en de energiesector (als energiedrager). De verschillende sectoren zetten verschillende stikstofproducten in. De kunstmestrespondenten geven aan vooral ureum, kalkammonsalpeter, urean, ammoniumsulfaat en ammoniumnitraat af te zetten of nemen. De overige industrieën gebruiken met name gasvormige of vloeibare ammoniak (chemisch en energie) en ureum (milieutechniek en afvalverwerking). Sommige sectoren kennen een variatie in afname per seizoen. De kunstmestsector neemt het meeste kunstmest af in het gewasgroeiseizoen - van grofweg maart tot en met september. Milieutechniek geeft aan dat door fluctuerende vuilbelasting van afvalwaterzuiveringen de dosering van ureum ook varieert. Dit is echter afhankelijk per fabriek. De chemische industrie en afvalverwerker nemen gedurende het jaar een constante hoeveelheid af. De prijs van conventionele stikstofproducten, gebaseerd op het Haber-Bosch proces, is sterk gelinkt aan de aardgasprijzen. In de toekomst gaat de CO₂-prijs - van het gebruik van aardgas in het Haber-Bosch proces - voor Europese emissiehandel ook een prijssimpact hebben.

De markt is bereid om teruggewonnen stikstof af te nemen. Hieraan zijn wel een aantal voorwaarden verbonden: de kwaliteit en effectiviteit van het product moet hetzelfde zijn als het conventionele product, en de prijs mag niet hoger zijn. De constante kwaliteit van het geleverde product, een hoog stikstofpercentage en een vaste vorm zijn als belangrijkste kwaliteitseisen genoemd door de respondenten. Andere kwaliteitseisen die in mindere mate naar voren zijn gekomen zijn: geen (micro)verontreinigingen en/of zware metalen, het product moet reukvrij zijn, het mag geen water bevatten (dit is genoemd in de chemische industrie) en het moet pH neutraal zijn. Met name in de landbouw is de aanwezigheid van geneesmiddelen, gewasbeschermingsmiddelen en zware metalen ongewenst omdat deze de bodem verontreinigen. De respondenten geven aan dat men geen toenemende vraag naar circulaire producten ervaart van hun klanten. De brede duurzaamheid- en circulariteitsambities van de sectoren - dus niet alleen op het gebied van stikstof terugwinning - bieden wel kansen voor het aansluiten van teruggewonnen stikstof bij die ambitie. Zo ambiëert de landbouw CO₂- en stikstofemissiereductie. Terugwinning van stikstof zorgt voor CO₂-impactreductie in de stikstofketen. Een integrale ketenbenadering is daarom belangrijk. Uit de marktanalyse zijn een aantal uitdagingen naar voren gekomen die marktpartijen ervaren: de productkwaliteit, wetgeving, logistiek, de marktprijs, leveringszekerheid

en imago. De meeste marktpartijen zijn bereid samen op te trekken om deze uitdagingen het hoofd te bieden.

Teruggewonnen stikstof kan juridisch gezien op twee manieren worden verhandeld: als product met een einde-afvalstatus, of als afvalstof. Wanneer teruggewonnen stikstof een einde-afvalstatus heeft verkregen, kan het als meststof of als grondstof voor andere toepassingen in productieprocessen verhandeld worden. Het product is echter niet geheel vrij verhandelbaar, maar alleen voor die specifieke toepassing(en) en afnemer(s) waarvoor is aangetoond dat voldaan wordt aan de einde-afvalcriteria. Ook is in dit geval Reach registratie nodig. Teruggewonnen stikstof met de status van afvalstof kan alleen geleverd worden aan afnemers die vergund zijn om deze specifieke afvalstof te mogen ontvangen. Daarbij gelden alle beperkingen en eisen die gelden voor afvalstoffen zoals transport als afvalstof en bijhouden van de afvalstoffenregistratie. Teruggewonnen stikstof met de status van afvalstof kan in Nederland wel vrij als meststof verhandeld worden na toelating op bijlage Aa van de Uitvoeringsregeling Meststoffenwet. Bijlage Aa is een lijst van reststoffen die als meststof of hulpstof bij de productie van meststoffen mogen worden gebruikt. Stikstof teruggewonnen uit afvalwater komt in aanmerking voor opname op bijlage Aa. Hierop zijn al verschillende ammoniumsulfaat oplossingen uit luchtwassers opgenomen. De levering van het product als grondstof aan een fabrikant van (kunst)meststoffen valt hier niet onder (wanneer het product wordt ingezet in een productieproces dat verder gaat dan mengen).

Het project heeft verschillende stikstofterugwinttechnologieën onderzocht: strippen en scrubben, membraanstrippen, bipolaire elektrolyse en ionenwisseling. Deze technologieën zijn ingezet in achttien onderzochte stikstofterugwininitiatieven in Europa. Alle technologieën kunnen stikstof uit centraat terugwinnen of hebben de mogelijkheid daartoe. Vooralsnog is ionenwisseling de enige techniek die stikstof terugwint uit voorbehandeld rioolwater. De verschillende initiatieven winnen ook verschillende producten terug. Het overgrote deel van de initiatieven kan ammoniumzouten, ammoniumsulfaat of -nitraat, produceren. Twee technologieën kunnen ook ammonia produceren: bipolaire membraan elektrolyse en strip en scrubtechnologie met terugwinning van chemicaliën. Van de vier technologieën is strippen en scrubben is de meest doorontwikkelde technologie: hiervan worden installaties al commercieel ingezet (TRL 9). Ook membraanstrippen is al commercieel toegepast (TRL 7 - 8). Bipolaire elektrolyse en ionenwisseling zijn beide technieken met een lagere TRL (4 - 6) met de toepassing stikstofterugwinning.

Uit de GER-waarde analyse van de technologieën blijkt dat een aantal technologieën kunnen concurreren met het Haber-Bosch en Anammox proces (50 - 60 MJ/ kg N). Met name de technologie met een laag chemicaliënverbruik scoren goed: bipolaire elektrolyse (30 -50 MJ/ kg N). Ook de GER van strippen en scrubben is verbeterd. Tegenwoordig behaalt strippen en scrubben een GER van grofweg 40 - 60 MJ/ kg N, afhankelijk van de energiemix (groen) en de terugwinning van chemicaliën. De CO₂-uitstoot van de meeste technologieën, behalve membraanstrippen, is aanzienlijk lager (< 5 kg eq CO₂/ kg N) dan het conventionele alternatief: Haber-Bosch plus Anammox (9 kg eq CO₂/ kg N). Dat komt door de lachgasemissie van Anammox, wat een krachtige broeikasgas is. Uiteraard heeft de inzet van groene energie een positief effect op de duurzaamheidsimpact. Met name technologieën met een (relatief) groot energiegebruik kunnen hun CO₂-impact hiermee verlagen. Stikstofterugwinning kan dus bijdragen aan CO₂-impactreductie in de keten.

Het rapport doet aanbevelingen voor drie ontwikkelpaden. Het eerste ontwikkelpad op de korte termijn is ammoniumzoutproductie voor regionale landbouw middels strippen en scrubben. Strippen en scrubben is een gecommmercialiseerde technologie die direct kan worden toegepast op rejectiewater. Een belangrijke start van het ontwikkelpad is een regionale ketenverkenning door het waterschap naar de inzet van ammoniumzout in de landbouw om zo aan te sluiten bij de wensen van de potentiële afnemers van de teruggewonnen grondstof. Gelijktijdig dient de toelatingsprocedure van het te produceren ammoniumzout in Bijlage Aa uit de Uitvoeringsregeling Meststoffenwet te worden gestart door de Unie van Waterschappen. Als het ammoniumzout is opgenomen in Bijlage Aa, kan worden gestart met grootschalig strippen en scrubben van ammonium uit rejectiewaterstromen. Het tweede ontwikkelpad op de middellange termijn is de verdere ontwikkeling van bipolaire elektrolyse voor ammoniaproductie. Door de productie van ammonia te ontwikkelen, kan teruggewonnen stikstof meer flexibel worden afgezet in verschillende sectoren. Daarnaast heeft bipolaire elektrolyse een lagere CO₂-impact dan het conventionele Haber-Bosch proces. Eerst dient de technologie verder ontwikkeld te worden zodat de robuuste haalbaarheid van toepassing op rioolwater kan worden aangetoond. Nadat dat is vastgesteld, kunnen de waterschappen starten met een regionale ketenverkenning voor de inzet van ammonia. Het verkrijgen van de einde-afvalstatus voor ammonia moet op tijd beginnen, zodat het stikstofproduct vrij kan worden ingezet in de industrie. Op de lange termijn wordt als derde ontwikkelpad aanbevolen circulaire waterfabrieken te ontwikkelen en te implementeren. Om terugwinning van de *volledige* stikstof-influentvracht te realiseren, zijn voorgaande ontwikkelpaden niet toereikend. Deze focussen zich namelijk op de nevenstroom rejectiewater voor de terugwinning van stikstof. Het ontwikkelpad adviseert verder onderzoek naar dit innovatieve concept. Dat stikstofterugwinning uit (voorbehandeld) rioolwater haalbaar is, is aangetoond met nanofiltratie, selectieve ionenwisseling en bipolaire elektrolyse. Mogelijk komen in de toekomst meerdere technologieën beschikbaar die stikstof kunnen terugwinnen uit voorbehandeld influent.

DE STOWA IN HET KORT

STOWA is het kenniscentrum van de regionale waterbeheerders (veelal de waterschappen) in Nederland. STOWA ontwikkelt, vergaart, verspreidt en implementeert toegepaste kennis die de waterbeheerders nodig hebben om de opgaven waar zij in hun werk voor staan, goed uit te voeren. Deze kennis kan liggen op toegepast technisch, natuurwetenschappelijk, bestuurlijk-juridisch of sociaalwetenschappelijk gebied.

STOWA werkt in hoge mate vraaggestuurd. We inventariseren nauwgezet welke kennisvragen waterschappen hebben en zetten die vragen uit bij de juiste kennisleveranciers. Het initiatief daarvoor ligt veelal bij de kennisvragende waterbeheerders, maar soms ook bij kennisinstellingen en het bedrijfsleven. Dit tweerichtingsverkeer stimuleert vernieuwing en innovatie.

Vraaggestuurd werken betekent ook dat we zelf voortdurend op zoek zijn naar de 'kennisvragen van morgen' – de vragen die we graag op de agenda zetten nog voordat iemand ze gesteld heeft – om optimaal voorbereid te zijn op de toekomst.

STOWA ontzorgt de waterbeheerders. Wij nemen de aanbesteding en begeleiding van de gezamenlijke kennisprojecten op ons. Wij zorgen ervoor dat waterbeheerders verbonden blijven met deze projecten en er ook 'eigenaar' van zijn. Dit om te waarborgen dat de juiste kennisvragen worden beantwoord. De projecten worden begeleid door commissies waar regionale waterbeheerders zelf deel van uitmaken. De grote onderzoeklijnen worden per werkveld uitgezet en verantwoord door speciale programmacommissies. Ook hierin hebben de regionale waterbeheerders zitting.

STOWA verbindt niet alleen kennisvragers en kennisleveranciers, maar ook de regionale waterbeheerders onderling. Door de samenwerking van de waterbeheerders binnen STOWA zijn zij samen verantwoordelijk voor de programmering, zetten zij gezamenlijk de koers uit, worden meerdere waterschappen bij één en het zelfde onderzoek betrokken en komen de resultaten sneller ten goede aan alle waterschappen.

De grondbeginselen van STOWA zijn verwoord in onze missie:

Het samen met regionale waterbeheerders definiëren van hun kennisbehoeften op het gebied van het waterbeheer en het voor én met deze beheerders (laten) ontwikkelen, bijeenbrengen, beschikbaar maken, delen, verankeren en implementeren van de benodigde kennis.

STIKSTOFTERUGWINNING UIT RIOOLWATER; VAN MARKTAMBITIE NAAR PRAKTIJK

INHOUD

	COLOFON	
1	TEN GELEIDE	
2	SAMENVATTING	
	DE STOWA IN HET KORT	
3	INLEIDING	1
	3.1 Doelstelling van onderzoek	1
	3.2 Waarom nu?	2
	3.3 Leeswijzer	3
4	STIKSTOF: EEN ESSENTIËLE GRONDSTOF	4
	4.1 Menselijke ingreep op de keten: synthetische kunstmest als bouwsteen	4
	4.2 Onze planetaire grenzen voor stikstof zijn overschreden	6
	4.3 Stikstof op de rwzi	7
5	DE HUIDIGE STIKSTOFMARKT	10
	5.1 Type stikstofproducten in gebruik	11
	5.2 Stikstofpercentage in product	14
	5.3 Hoeveelheden stikstofproduct gebruikt	15
	5.4 Prijs van stikstofproducten	15
	5.5 Kwaliteitseisen aan teruggewonnen stikstof	16
	5.5.1 Maximaal stikstofpercentage	17
	5.5.2 Constante kwaliteit	18
	5.5.3 Vast versus vloeibaar	18
	5.5.4 Geen verontreinigingen	18
	5.5.5 Overige kwaliteitseisen	19

6	MARKTVISIE OP TERUGGEWONNEN STIKSTOF	20
	6.1 Bereidheid tot inzet van teruggewonnen stikstof	20
	6.2 Marktprijs van teruggewonnen stikstof	21
	6.3 Marktvraag naar teruggewonnen stikstof	22
	6.4 Bedrijfsbeleid op het gebied van circulariteit	23
	6.5 Uitdagingen voor inzet teruggewonnen stikstof	24
7	WETGEVING OMTRENT TERUGGEWONNEN STIKSTOF	27
	7.1 Teruggewonnen stikstof: afval of niet?	28
	7.2 Toelating teruggewonnen stikstof als meststof	29
	7.3 De REACH verordening voor chemische stoffen	30
	7.4 Opslag van gevaarlijke stikstofproducten	31
8	STIKSTOFTERUGWINNING: TECHNOLOGISCHE VERKENNING	32
	8.1 Overzicht van stikstofterugwinningsinitiatieven	32
	8.2 Beschrijving stikstofterugwinningstechnieken	35
	8.2.1 Strippen en scrubben	35
	8.2.2 Membraanstripfen	36
	8.2.3 Bipolaire membraan elektrolyse	37
	8.2.4 Ionenwisseling	38
	8.3 Vergelijking van technologieën	39
	8.3.1 De ingaande, ammoniumrijke stroom	39
	8.3.2 Gevormde stikstofproducten	39
	8.3.3 De Technology Readiness Level	40
	8.3.4 Kosten van stikstofterugwinning	41
	8.3.5 De duurzaamheidsimpact	42
9	STRATEGISCHE AANBEVELINGEN	44
	9.1 Randvoorwaarden voor succesvolle stikstofterugwinning	44
	9.2 Tijdlijn stikstofterugwinning tot en met 2050	48
	9.2.1 Ontwikkelpad 1: Ammoniumzoutproductie voor regionale landbouw	49
	9.2.3 Ontwikkelpad 2: Ammoniaproductie voor regionale partners	49
	9.2.4 Ontwikkelpad 3: Circulaire waterfabrieken voor volledige kringloopsluiting	50
	9.2.5 Nieuw beleid op het gebied van stikstofterugwinning	50
	9.3 Slotbeschouwing	51
10	BIBLIOGRAFIE	52
BIJLAGE 1	ENQUÊTEVRAGEN	56
BIJLAGE 2	INTERVIEWVRAGEN	59
BIJLAGE 3	FACT SHEETS TECHNOLOGIEËN	61
BIJLAGE 4	METHODIEK DUURZAAMHEIDSIMPACT	81
BIJLAGE 5	METHODIEK MARKTANALYSE	90

3

INLEIDING

De waterschappen hebben als doel om volledig circulair te zijn in 2050. Dit doel is uitgesproken in het Grondstoffenakkoord, wat is ondertekend door de Unie van Waterschappen [1]. Waterschappen zien rioolwater niet meer als afval, maar als bron van grondstoffen en energie. Het terugwinnen van grondstoffen levert een positieve bijdrage aan het sluiten van kringlopen en verlaagt het gebruik van primaire grondstoffen. Naast het doel 'Waterschappen volledig circulair in 2050' hebben de waterschappen ook het Klimaatakkoord ondertekend. Dit betekent dat zij 49 % van hun broeikasgassen moeten reduceren in 2030 ten opzichte van 1990. In 2050 moet 95 % van de broeikasgassen gereduceerd zijn [2].

Stikstof is één van de nutriënten aanwezig in rioolwater in de vorm van ammonium, nitraat en organisch (on)opgeloste stikstof. In 2018 werd door alle waterschappen in Nederland tezamen 94 kton aan stikstof ingenomen, waarvan ongeveer 66 % wordt geëmitteerd naar de lucht, 15 % terecht kwam in het effluent en de resterende 19 % vastgelegd is in het slib [3]. In het Grondstoffenakkoord en Klimaatakkoord zijn doelstellingen gesteld op het gebied van respectievelijk grondstoffenhergebruik, reductie van afval en primair grondstoffengebruik en reductie van broeikasgasemissies. Het terugwinnen van stikstof kan potentieel aan beide akkoorden bijdragen: met het terugwinnen van stikstof als circulair product reduceert het waterschap ook de kans op N_2O -emissie in de zuivering, wat bijdraagt aan het verlagen van de CO_2 -impact van het waterschap. Door stikstofterugwinning kan bespaard worden op beluchtingsenergie voor nitrificatie, en kan capaciteitsuitbreiding voor stikstofverwijdering voorkomen worden.

Teruggewonnen stikstof kan mogelijk in verschillende markten worden ingezet, zoals in de landbouw als kunstmest of als grondstof voor de chemische industrie. De inzet van teruggewonnen stikstof in de keten vermijdt ook het gebruik en de productie van conventionele stikstofproducten. Bij de productie van synthetische stikstof komt veel CO_2 vrij (door het verbruik van aardgas en elektriciteit). Door teruggewonnen stikstof te gebruiken in plaats van primaire stikstofproducten kan ook in het conventionele Haber-Bosch productieproces CO_2 -uitstoot worden bespaard.

3.1 DOELSTELLING VAN ONDERZOEK

Het voorliggende onderzoeksrapport verkent kansrijke routes voor terugwinning van stikstof op communale rioolwaterzuiveringen (rwzi) en afzet in de stikstofmarkt. Het onderzoek kijkt naar verschillende afzetmarkten van stikstof, zoals de kunstmestindustrie, milieutechniek, chemische industrie en afvalverwerkingsindustrie. Het geeft daarmee een integrale marktbenadering. Daarnaast zijn de huidige technologische ontwikkelingen en initiatieven voor terugwinning van stikstof uit rioolwater geïnventariseerd. De centrale doelstelling luidt:

‘Het vaststellen van kansrijke routes voor terugwinning van stikstof uit (huishoudelijk) rioolwater en rejectiewaterstromen vanuit een markt- en duurzaamheidsperspectief binnen de huidige technologische mogelijkheden.’

De uitkomsten van het onderzoek dragen bij aan de versnelling van (bestaande) initiatieven en ontwikkeling van de value case voor terugwinning van stikstof uit rioolwater. Partners in de stikstofketen kunnen de handvatten uit het rapport inzetten om succesvol een stikstofterugwinroute en afzetmarkt te ontwikkelen.

MARKET PULL IN PLAATS VAN EEN TECHNOLOGY PUSH

Er worden al verscheidene projecten uitgevoerd om stikstof terug te winnen uit rioolwater. De focus ligt daarbij op technologieontwikkeling. Het bevorderen van commercialisatie van teruggewonnen stikstof vindt zo plaats door een *technology push*: de ontwikkeling van de technologie is leidend voor de ontwikkeling van de producten. Het marktpotentieel van teruggewonnen stikstof wordt echter nog niet of beperkt behandeld in recent onderzoek. Een marktverkenning is van groot belang om ook de huidige stikstofmarkt in kaart te brengen. Door kennis te vergaren over de huidige stikstofmarkt, de kwaliteitseisen van de stikstofproducten en de visie op teruggewonnen stikstof, kunnen toekomstige stikstofproducten van de waterschappen aansluiten op de vraag: de *market-pull gedachte*.

3.2 WAAROM NU?

De waterschappen behandelen grote hoeveelheden rioolwater met nutriënten zoals stikstof en fosfor. Hiermee zijn waterschappen een kansrijke locatie voor de terugwinning van deze grondstoffen. Over de terugwinning van fosfor is al veel geschreven en onderzoek verricht, echter dateert het laatste onderzoek van STOWA naar stikstofterugwinning uit 2012 [4]. In dat onderzoek zijn stikstofterugwinprocessen uit centraat (de waterfractie vanuit slibontwatering) vergeleken met stikstofverwijdering in een deelstroombehandeling (anammox-proces) en de kunstmestproductie met het Haber-Bosch proces. De studie concludeerde dat stikstofterugwinning uit centraat met strippen duurder en energie-intensiever is dan Anammox en Haber-Bosch. Sindsdien hebben een aantal ontwikkelingen plaatsgevonden die nieuw onderzoek naar stikstofterugwinning relevant maakt:

1. *initiatieven op basis van technologie ontwikkeling*. Sinds 2012 zijn nieuwe stikstofterugwininitiatieven gestart die stikstof uit rioolwater succesvol afzetten op de markt. Een aantal stikstofterugwinroutes zijn echter gestrand doordat de business case achteraf niet sluitend bleek. Er is nog geen markt breed onderzoek gedaan naar potentiële afzetroutes van teruggewonnen stikstof uit rioolwater;
2. *nieuwe technologische ontwikkelingen*. Nieuwe technologieën maken het mogelijk om stikstof terug te winnen uit de waterlijn (en niet alleen centraat). Deze technologieën passen in de ontwikkeling van nieuwe circulaire waterfabrieken en decentrale zuiveringen. Ook worden

strippers van de tweede generatie ontwikkeld die het gebruik van chemicaliën vermijden en dus de duurzaamheid verhogen;

3. *circulaire transitie*. De huidige ambities en wetgeving stimuleren de transitie naar een circulaire economie. In 2030 dienen waterschappen, evenals andere sectoren zoals de industrie en landbouw, 50 % minder primaire grondstoffen te gebruiken. Het waterschap kan met de terugwinning van grondstoffen niet alleen bijdragen aan haar eigen circulaire doelstellingen maar in de gehele keten;
4. *legionella in deelstroomreactoren*. Er is toenemende aandacht voor het risico op de verspreiding van Legionella door warme deelstroomtechnieken zoals het anammox-proces. Het fysisch-chemisch terugwinnen van stikstof uit rejectiewater zal dit risico verminderen doordat warme deelstroomtechnieken overbodig worden;
5. *centralisatie van slibwerking*. De trend van centralisatie van slibverwerking maakt dat de stikstof terugwinning uit rejectiewater aantrekkelijker wordt door grotere volumestromen;
6. *uitstoot van lachgas*. De afgelopen jaren is steeds meer bekend geworden over lachgasuitstoot op de rwzi [5]. Lachgas kan tot 75 % van de totale CO₂-footprint van de zuivering bedragen [6], waardoor het uiterst belangrijk is om in kaart te brengen hoe de uitstoot van lachgas vermindert kan worden. Daarnaast is lachgas een 265 keer zwaarder broeikasgas dan CO₂. Elke vorm van reductie heeft dus een grote impact op de totale CO₂-impact van een waterschap [7]. Door stikstof uit centraatstromen of het influent terug te winnen, kan veel lachgasuitstoot worden vermeden.

Door verkenning van kansrijke routes voor terugwinning van stikstof en inzet in (nieuwe) afzetmarkten wordt circulair grondstoffengebruik gestimuleerd, en kan het waterschap tevens dienen als voorbeeld voor de omgeving en bijdrage aan de landelijke transitie naar een circulair Nederland in 2050.

3.3 LEESWIJZER

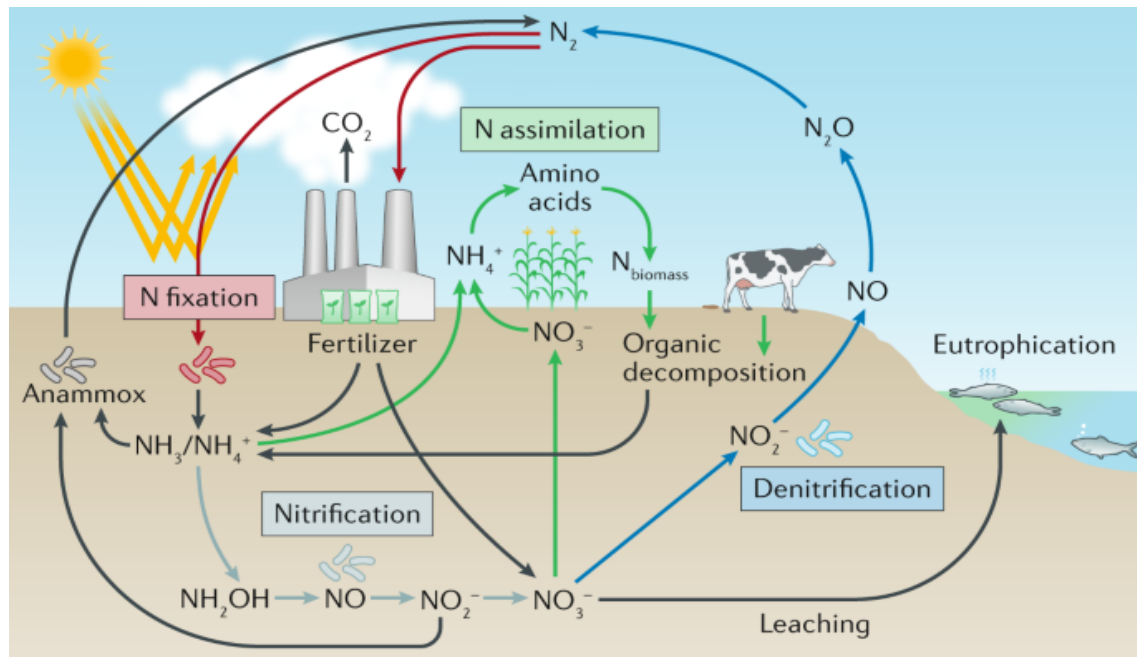
Hoofdstuk 4 geeft een inleiding tot de rol van stikstof in onze omgeving en de stikstofkringloop. Hoofdstuk 5 tot en met 6 beschrijven de resultaten uit de markanalyse met achtereenvolgens de volgende onderwerpen: de huidige stikstofmarkt, de marktvisie op teruggewonnen stikstof en de wetgeving omtrent teruggewonnen stikstof. Hoofdstuk 8 presenteert een verkenning van stikstofterugwinningstechnologieën. Het laatste hoofdstuk (9) geeft aanbevelingen om de ontwikkeling van terugwinning van stikstof uit rioolwater te bevorderen. De methodiek van de marktanalyse en CO₂- en GER-waarde bepaling van de technologieën zijn beschreven in de bijlages van dit rapport.

4

STIKSTOF: EEN ESSENTIËLE GRONDSTOF

Stikstof is van essentieel belang voor de groei van planten, dieren en mens. Het vormt meer dan 78 % van de lucht om ons heen (in de vorm van stikstofgas), maar komt ook in verschillende reactieve en niet reactieve vormen voor in ons hydro-, atmo- en biosfeer [8]. Door afbraak, fixatie, oxidatie, nitrificatie en denitrificatie processen circuleert stikstof door het milieu. Daarnaast beïnvloedt ook de mens de natuurlijke stikstofketen. Als gevolg van verschillende socio-economische activiteiten, zoals landbouw en veehouderij, industrie, en milieutechniek, brengen wij meer stikstof in de stikstofketen dan van nature voorkomt [9]. Onderstaande afbeelding geeft de stikstofkringloop schematisch weer.

AFBEELDING 4.1 SCHEMATISCHE WEERGAVE VAN DE STIKSTOFCYCLUS. OVERGENOMEN UIT [10]



Dit hoofdstuk geeft een inleiding tot stikstof en de stikstofkringloop. De menselijke invloed op de stikstofkringloop is in paragraaf 4.1 beschreven. Paragraaf 4.2 gaat dieper in op het effect van een stikstofoverschot op de omgeving. Paragraaf 4.3 licht stikstof op de rwzi toe.

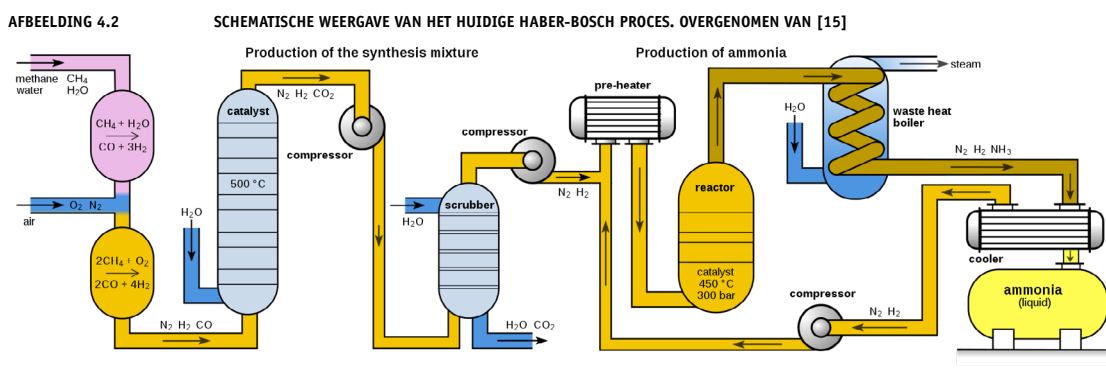
4.1 MENSELIJKE INGREEP OP DE KETEN: SYNTHETISCHE KUNSTMEST ALS BOUWSTEEN

In 1908 ontwikkelde de Duitse chemicus Fritz Haber een proces waarmee atmosferische N_2 kon worden omgezet in ammoniak (NH_3): een vorm van reactieve stikstof die planten kunnen opnemen. Dit proces van Haber werd opgeschaald door de Duitse chemicus en ingenieur Carl Bosch tot het zo geheten Haber-Bosch proces. Dit proces gebruikt grote hoeveelheden energie (37 tot 45 MJ/kg N [4]) om onder de juiste druk en temperatuur ammoniak te vormen vanuit stikstof en waterstof (uit aardgas) [11] [4]. Per jaar produceert het Haber-Bosch-proces

ongeveer 100 miljoen ton kunstmest in de vorm van ammonia, ammoniumnitraat en ureum [12] [13]. Ongeveer 0,75 % van het wereldenergiegebruik gaat op aan stikstofwinning via het Haber-Bosch proces [14]. Deze primaire energie-input heeft ook een grote CO₂-afdruk, naast de CO₂-uitstoot van de chemische reactie van het Haber-Bosch-proces [4].

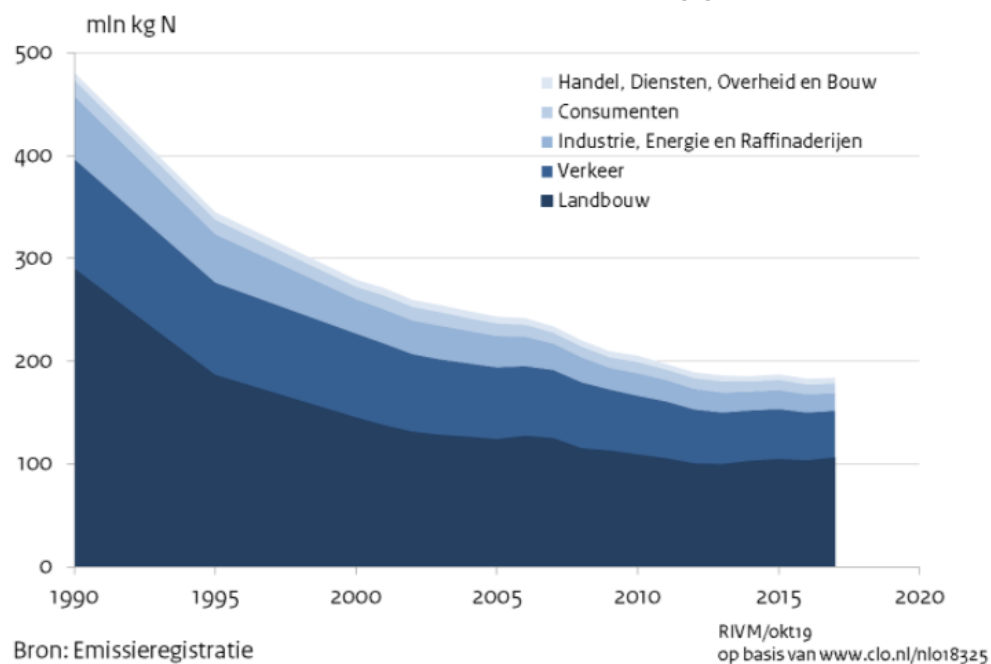
HET HABER-BOSCH PROCES

In 1909 is het Haber-Bosch proces door Fritz Haber en Carl Bosch ontwikkeld. In het oorspronkelijke Haber-Bosch proces reageert stikstofgas uit de lucht met waterstofgas afkomstig van geëlektrolyseerd water in een drukvat middels een speciale katalysator tot ammoniak. Tegenwoordig wordt aardgas gebruikt om methaan te verkrijgen, wat wordt verwerkt om waterstofgas te produceren. Het gevormde waterstofgas en stikstofgas (uit de lucht) wordt over een katalysator geleid om ammonium te vormen. De conversie naar ammonium is ongeveer 15 %. De stikstofgasen die niet hebben gereageerd worden daarom gerecycled en weer over de katalysator geleid, om uiteindelijk een totale conversie van 97 % te behalen [15].



Het Haber-Bosch-proces is nog tot op de dag van vandaag de belangrijkste industriële methode voor de productie van synthetische stikstof. Door onze socio-economische activiteit en de inzet van synthetische stikstof is de stikstofcyclus uit balans geraakt. Bronnen van onnatuurlijke stikstofemissies zijn: de landbouw, consumenten, de bouw, industrieën en de transportsector. Onderstaande afbeelding geeft de emissie van stikstof per sector in Nederland weer van 1990 tot 2017.

AFBEELDING 4.3 EMISSIE STIKSTOF PER SECTOR IN NEDERLAND, VAN 1990 TOT 2017. OVERGENOMEN VAN HET RIVM [16]



Nederland kent een totale emissie naar water, lucht en bodem van circa 190 miljoen kg N in totaal (peiljaar). De landbouw is de belangrijkste bron van geëmitteerd stikstof in Nederland. De landbouw heeft een fors stikstofoverschot: in 2018 bedroeg het stikstofoverschot 190 kg stikstof/hectare, het hoogste overschot in heel Europa [17]. De aanvoer van kunstmest naar de landbouw bedraagt ongeveer 200 kiloton per jaar [18].

Ook het verkeer draagt voor een aanzienlijk deel bij aan de stikstofemissie. Het verkeer emitteert met name stikstofoxides door onvolledige verbranding van brandstoffen in auto's, schepen en vliegtuigen.

4.2 ONZE PLANETAIRE GRENZEN VOOR STIKSTOF ZIJN OVERSCHREDEN

Het overschot aan stikstofderivaten afkomstig van synthetische stikstof heeft een schadelijk effect op onze omgeving. Een voorbeeld daarvan is eutrofiëring van water, waardoor vissen en ander organismen afsterven terwijl enkele soorten bloeien. Stikstof kan ook de bodem verzuren waardoor mineralen zoals kalk en magnesium uit de bodem verdwijnen. Magnesium en kalk zijn belangrijke bouwstenen voor bomen. Nutriëntrijke bodems hebben als gevolg dat planten die een voorkeur hebben voor voedselarme grond hierdoor verdwijnen. Deze fenomenen dragen bij aan de vermindering van de biodiversiteit. Een andere vorm van stikstofuitstoot is de emissie van stikstofoxides. Stikstofoxides, zoals lachgas, zijn zeer krachtige broeikasgassen. Daarmee draagt het overschot aan stikstof ook bij aan klimaatverandering. Gasvormige stikstofoxides en ammoniak kunnen ook schadelijk zijn voor de volksgezondheid. In de praktijk zijn de concentraties van deze stoffen in de buitenlucht doorgaans zo laag dat ze geen urgent probleem vormen.

Het Stockholm Resilience Centre [19] heeft de planetaire grenzen in kaart gebracht (zie onderstaande afbeelding). De planetaire grenzen geven aan in welke mate de mens grondstoffen kan gebruiken zonder nadelige milieueffecten te creëren voor toekomstige generaties. De planetaire grenzen maken duidelijk dat het overschot aan stikstof in aquatische ecosystemen zich momenteel in de kritische fase bevindt; zelfs kritischer dan fosfaat. Dit betekent dat op dit moment meer stikstof wordt uitgestoten naar water en lucht dan kan worden gefixeerd en nodig is voor de wereldwijde voedselvoorziening [20]. Door (lokale) kringlopen te sluiten door hergebruik van stikstof te stimuleren wordt het overschot aan stikstof en zijn emissies naar water en lucht gereduceerd. Het sluiten van de stikstofkringloop is dus urgent.

AFBEELDING 4.4 DE PLANETAIRE GRENZEN VOLGENS HET STOCKHOLM RESILIENCE CENTRE. OVERGENOMEN UIT [19]



4.3 STIKSTOF OP DE RWZI

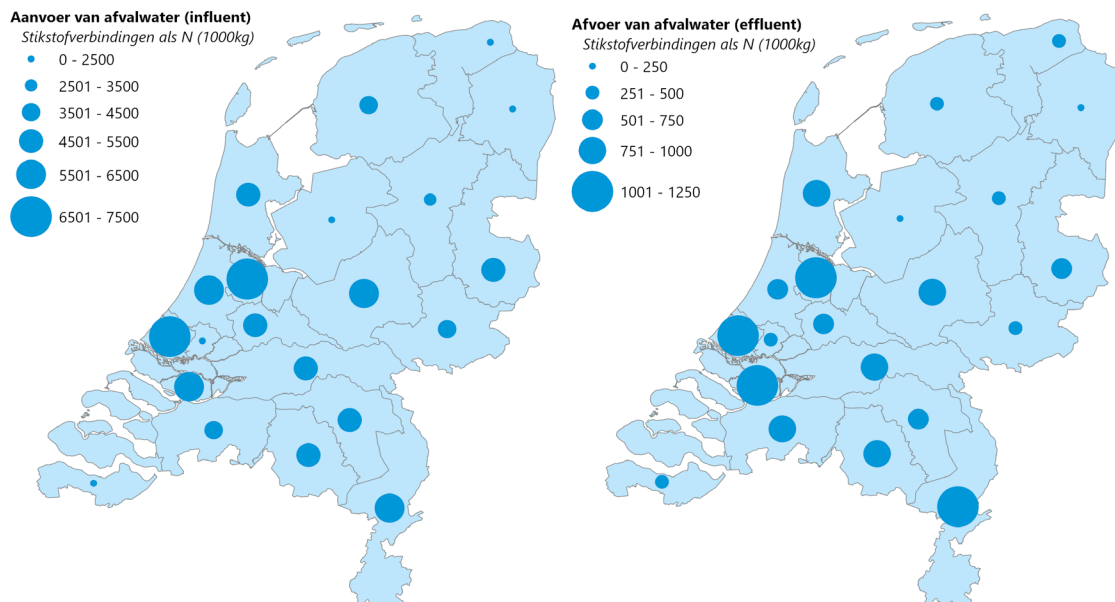
Het grootste deel van stikstof in de landbouw wordt opgenomen door de gewassen en dieren. Doordat de mens deze plantaardige en dierlijke producten consumeert, komt het aanwezige stikstof uiteindelijk in het rioolwater terecht in de vorm van urea en ammoniumstikstof. In het riool worden urine en fecaliën samen met andere rioolwaterstromen gemengd waarna waterschappen het rioolwater zuiveren op de rwzi's [21].

STIKSTOF IN HET ZUIVERINGSPROCES

De huidige rwzi's zijn ontworpen om nutriënten en organische stof te verwijderen op basis van het conventionele actiefslib proces, korrelslibprocessen of specifieke deelstroomprocessen. Ammonium-stikstof in het influent wordt biologisch omgezet tot N_2 gas door nitrificatie en denitrificatie [21]. Tijdens nitrificatie kan nitriet ophopen, doordat bij hogere zuurstofconcentraties de ammoniumoxideerders een voordeel hebben ten opzichte van nitrietoxideerders. De nitrietophoping kan resulteren in lachgasemissies bij terugvoer naar de denitrificatietanks [5]. Dit heeft met een CO_2 -equivalent van 298 ton CO_2 /ton N_2O een grote CO_2 -impact: N_2O -emissies uit de rwzi's kunnen tot maximaal 75 % van de totale CO_2 -voetafdruk van procesemissies uit de zuivering bedragen [6]. De beluchting voor nitrificatie van stikstof naar nitraat omvat een groot aandeel in de totale energiebehoefte van een rwzi. Indien hiervoor fossiele brandstoffen worden ingezet heeft dat ook een grote CO_2 -impact. Gemiddeld wordt in Nederland in de biologische zuivering ongeveer 85 % van de stikstof uit het influent verwijderd [3].

Het gezuiverde rioolwater, het effluent van de rwzi, wordt geloosd op het oppervlaktewater. In 2018 is in totaal 94 miljoen kg stikstof aangevoerd in het rioolwater. Daarvan is 14 miljoen kg stikstof (14 %) geloosd op oppervlaktewater door de rwzi's [22]. Rwzi's zijn daarmee ook een grote bron van stikstofemissies in Nederland. De aan- en afvoer van stikstof per waterschap is weergegeven in onderstaande afbeelding.

AFBEELDING 4.5 AANVOER EN EMISSIE VAN STIKSTOF IN RIOOLWATER PER WATERSCHAP, VERKREGEN VANUIT [3]



NEVENSTROMEN OP DE RWZI

Het grootste bijproduct van het conventionele rioolwaterzuiveringsproces is slib, wat ongeveer 15 tot 25 % van het inkomend stikstof bevat. Slib wordt vaak (centraal) vergist om de reststoffenstroom te verminderen en biogas te produceren. Alvorens slib wordt vergist wordt het slib ingedikt, het water wat hieruit vrijkomt is het filtraat. Na vergisting wordt het digestaat ontwaterd; hierbij komt centraat vrij. De rejectiewaterstroom van de slibontwatering bevat veel stikstof (circa 500 tot 2.500 mg N/L) in de vorm van ammonium [23] [24]. Dit is in STOWA 2012-51 ingeschat op ongeveer 6 % van de hoeveelheid stikstof in het influent. In zuiveringen met een grote aanvoer van extern slib kan dit zelfs oplopen tot 20 % van het influent. Het centraat wordt doorgaans weer toegevoegd aan het influent, zodat het aanwezige stikstof opnieuw behandeld kan worden door actief slib. Een aantal rwzi's in Nederland maakt gebruik van een deelstroomreactor, zoals het anammox-proces, die de stikstofrijke rejectiestroom rechtstreeks kan behandelen. Hierdoor wordt de stikstofbelasting in het actief-slibproces verlaagd [23]. Dit bespaart beluchttingsenergie in de hoofdzuivering. Ook in het anammox proces kan echter het broeikasgas lachgas vrijkomen met een grote milieu-impact.

STIKSTOF TERUGWINNEN UIT RIOOLWATER

Een aantal waterstromen op de rwzi zijn geschikt voor stikstofterugwinning: het influent en het centraat. Het influent bevat de grootste vracht aan stikstof op de rwzi, echter in verdunde vorm. Centraat bevat de hoogste concentratie stikstof op de rwzi, maar dat is slechts een klein aandeel van de influentvracht. Een hoge concentratie stikstof is voordelig in het stikstofterugwinproces. Het effluent van de conventionele rwzi is geen geschikte stroom voor stikstofterugwinning, omdat de concentratie stikstof in deze stroom te laag en het overgrote deel van de stikstof al geëmitteerd is in de vorm van stikstof- of lachgas (in het ergste geval).

Dit laatste geldt ook voor de terugwinroute via centraat: slib wordt immers gevormd door de biologische omzettingsprocessen van ammoniumstikstof naar NO_3 en N_2 waarbij N_2O geproduceerd kan worden.

Zoals eerder beschreven nemen waterschappen jaarlijks 94 miljoen kg stikstof in met het aangevoerde rioolwater. Indien al dit stikstof zou worden teruggewonnen als grondstof voor bijvoorbeeld kunstmest, kunnen de waterschappen tot circa 50 % van het stikstofkunstofgebruik van de landbouw vervangen met teruggewonnen stikstof. Dit is aanzienlijk.

5

DE HUIDIGE STIKSTOFMARKT

Dit hoofdstuk brengt de huidige stikstofmarkt in kaart op basis van de input uit de enquêtes en interviews. De marktanalyse van de huidige stikstofmarkt is uitgevoerd door interviews en enquêtes af te nemen bij stikstofgebruikers in verschillende industrieën. De afname van enquêtes en interviews is in vier stappen tot stand gekomen (zie onderstaande afbeelding). Bijlage V licht de methodiek van de marktanalyse in meer detail toe.

AFBEELDING 5.1 STAPPENPLAN MARKTANALYSE



Zoals genoemd is de marktanalyse in dit onderzoek niet uitputtend. De analyse is gedaan op een groep diverse, maar representatieve bedrijven in elke industrie. In totaal zijn tien interviews afgenomen. Onderstaande tabel geeft een overzicht van de bedrijven die zijn geïnterviewd. De bedrijfsnaam, de desbetreffende industrie en een bedrijfsomschrijving zijn gepresenteerd.

TABEL 5.1 GEÏNTERVIEWDE BEDRIJVEN IN MARKTANALYSE

Bedrijf/ organisatie	Werkzaam in sector:	Relatie tot stikstof
Attero	reststromen	rookgasreiniging voor afvalverwerking
GMB BioEnergie	reststromen	slibwerker. Ook producent ammoniumsulfaat uit proceslucht van compostverwerking
meststoffen Nederland	kunstmest	belangenorganisatie voor producenten, importeurs en distributeurs van meststoffen
Lenntech	milieutechnologie	Lenntech is aangesloten bij de ontwikkeling van nieuwe stikstofterugwintertechnologieën
Proton Ventures	energie	inzet ammoniak voor decentrale energieopslag
Opure	milieutechnologie	producent van nutriëntenmengsels voor awzi's
Smurfit Kappa	papier- en karton	afnemer van nutriëntenmengsel op de awzi
ICL Group Ltd.	kunstmest	kunstmestproducent
Kunstmestvrije Achterhoek	kunstmest	samenwerkingsverband tussen agrariërs, mestverwerkers en engineering partijen ten behoeve van inzet van herwonnen regionale nutriënten in de landbouw
Vruchtbare Kringloop Achterhoek	kunstmest	belangenorganisatie van agrariërs ten behoeve van efficiënt mineralengebruik en optimalisatie van gewasopbrengst

De resultaten kunnen daarom als indicatief worden beschouwd. De exacte kwaliteitseisen, prijzen en logistieke wensen verschillen per afzetproduct en per eindgebruiker. Dit hoofdstuk geeft handvatten om de potentie van een afzetroute te toetsen en in gesprek te gaan met de eindgebruiker.

OPFRISSING: TECHNOLOGY PUSH VERSUS MARKET PULL

Zoals genoemd in de inleiding is de potentie voor teruggewonnen stikstof benaderd vanuit de market pull gedachte. Deze marktanalyse geeft invulling aan de market pull gedachte, door de behoefte van potentiële teruggewonnen stikstofafnemers of -gebruikers in kaart te brengen. In hoofdstuk 6 worden de huidige stikstofterugwinttechnologieën gekarakteriseerd en verkend.

De volgende paragrafen beschrijven achtereenvolgens de volgende onderwerpen:

- het type gebruikte stikstofproducten (paragraaf 5.1);
- het stikstofpercentage van de producten (paragraaf 5.2);
- de hoeveelheden (paragraaf 5.3) van het gebruikte stikstof;
- de prijs (paragraaf 5.4); en
- de kwaliteitseisen aan teruggewonnen stikstof (paragraaf 5.5).

5.1 TYPE STIKSTOFPRODUCTEN IN GEBRUIK

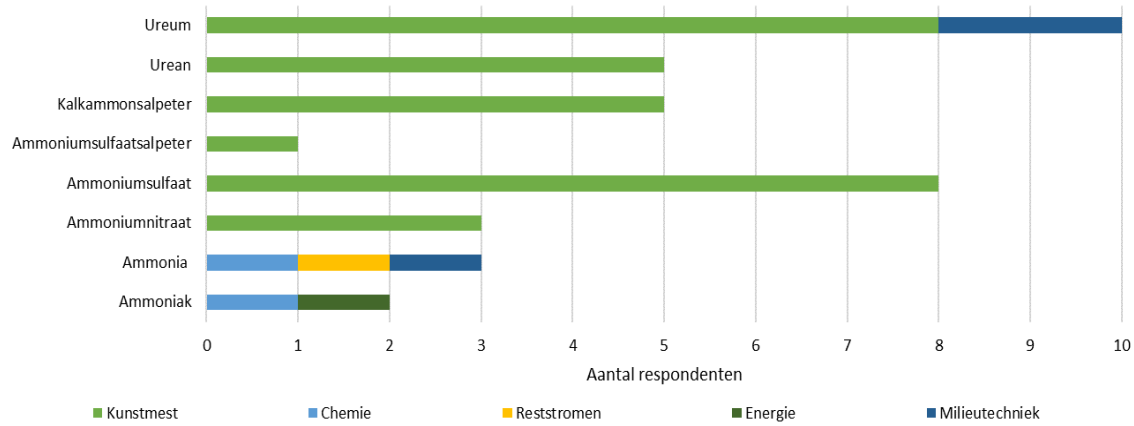
Onderstaande tabel geeft een overzicht, de longlist, van industrieën waarin stikstof wordt gebruikt met daarbij informatie over de stikstofvormen die worden toegepast, een omschrijving van de industrie en het product. De tabel is gebaseerd op een bureaustudie (uitgevoerd voor de start van de marktanalyse). In de tabel is aangegeven welke van de bedrijven in deze longlist zijn benaderd voor de marktanalyse.

TABEL 5.2 LONGLIST INDUSTRIËLE STIKSTOFGEBRUIKERS IN NEDERLAND

Industrie	Product/ proces	Stikstof input	Omschrijving	Hoe benaderd?	Bron
chemische industrie	acrylonitril	ammoniak	in de productie van acrylonitril reageert ammoniak met propaan en zuurstof tot acrylonitril	enquête	[25] [26]
(industriële) afvalwaterzuivering	nutriëntenmengsels	ureum, ammoniak	afvalwater wat nutriëntarm is, heeft nutriëntenmengsels nodig om organische stof af te breken	interview	[27]
energiesector	elektriciteit	ammoniak, ammonia	ammoniak is een drager van waterstofmoleculen die kunnen worden omgezet in elektriciteit	interview en enquête	
chemische industrie	caprolactam	ammoniak	in de productie van caprolactam reageert cyclohexanon met ammoniak en zwavelzuur om caprolactam te vormen	enquête	[25] [26]
wapenindustrie	explosieven	ammoniumnitraat	ammoniumnitraat wordt gebruikt als bestanddeel van sommige explosieven	niet benaderd	[28]
landbouwsector	kunstmeststoffen	ammoniumderivaten, ureum, specifieke kunstmestblends	de landbouw gebruikt verschillende kunstmeststoffen. Afhankelijk van het gewas wordt een (blend) van de kunstmeststoffen gebruikt	interview en enquête	[28] [29]
brandstofindustrie	AdBlue	ureum	ureum wordt gebruikt als bijvoeging in diese(motoren om ze schoner te laten rijden	niet benaderd	[30]
leerindustrie	curing agent, ontlijmingsmiddel	ammonia, ammoniumsulfaat	leerindustrie gebruikt ammoniak gebruikt als curing agent. Ook zet het ammoniumsulfaat in voor ontlijming.	enquête	[29]
papierindustrie	case dispersant	ammonia	papierfabrieken gebruiken ammonia bij het pulpen van hout en het wordt gebruikt als caseïne dispersant bij het coaten van het papier	interview	[28] [29]
afvalverwerkingscentrale	rookgasreiniging	ammonia, ureum	ammonia of ureum wordt gebruikt in de katalytische en niet-katalytische reductie van NO _x naar N ₂ bij de reiniging van rookgassen	interview en enquête	[26] [31]
rubberindustrie	dispersant	ammonia	de rubberindustrie gebruikt ammonia om coagulatie van natuurlijke en synthetische latex te voorkomen	niet benaderd	[29] [26]
consumentenproducten	schoonmaakmiddelen	ammonia	ammonia wordt gebruikt in huis-tuin-en-keuken schoonmaakmiddelen	niet benaderd	[28]

Zoals genoemd is uit de longlist in Tabel 5.2 een representatieve set van relevante stikstofgebruikers geselecteerd voor dit onderzoek (Tabel 5.1). In de enquêtes en interviews is verkend welk type stikstofproducten door deze stikstofgebruikers op dit moment gebruikt worden (Afbeelding 5.2).

AFBEELDING 5.2 HUIDIG GEBRUIK VAN STIKSTOFPRODUCTEN DOOR RESPONDENTEN INTERVIEWS EN ENQUÊTES



Een groot deel van respondenten (10 uit 19) zijn werkzaam zijn in de kunstmestsector. Daarom is deze sector ook oververtegenwoordigd in de resultaten. Desalniettemin bevestigen de antwoorden ook dat de kunstmestindustrie de grootste verscheidenheid aan verschillende stikstofproducten gebruikt. De kunstmest-respondenten geven aan met name vast ureum, vast kalkammonsalpeter, vloeibaar urean, vloeibaar ammoniumsulfaat en vloeibaar ammoniumnitraat af te zetten of nemen. Daarbij moet worden opgemerkt dat ammoniumsulfaat een bestanddeel is van ammoniumsulfaatsalpeter, ammoniumnitraat een bestanddeel is van kalkammonsalpeter (samen met calciumcarbonaat) en ureum een onderdeel is van urean (mengsel met ammoniumnitraat). Dit betekent dat de prijs van deze producten afhankelijk van elkaar zijn.

De overige industrieën, chemisch en energie en milieutechnologie, gebruiken voornamelijk ammoniak, gasvormig of vloeibaar (ammonia), en ureum in de productieprocessen.

TYPE MESTSTOFFEN MET HUN WERKING EN EFFICIËNTIE

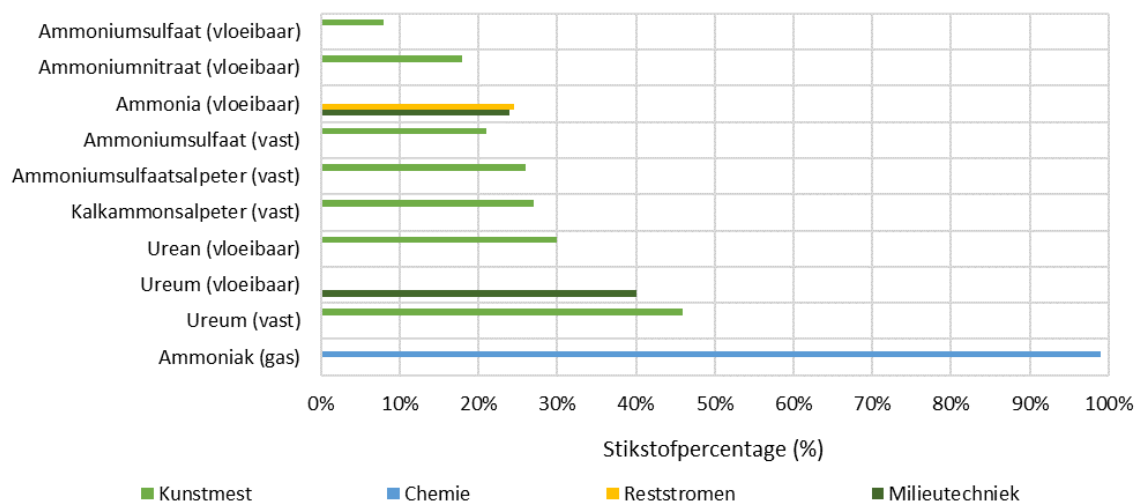
Dat de kunstmestindustrie diverse stikstofproducten vervaardigd heeft (onder andere) te maken met de verschillende werking en efficiëntie van stikstofderivaten zoals nitraat, ammonium en ureum [32]. Nitraat is snel opneembaar door planten maar spoelt gemakkelijk uit, onder natte omstandigheden heeft het een hoge lachgasemissie. Ammonium kan ook worden opgenomen door planten, maar wordt grotendeels eerst omgezet naar nitraat door micro-organismen in de bodem. Door de positieve lading wordt ammonium goed geadsorbeerd door organische stof en spoelt het minder gemakkelijk uit. Daartegenover staat dat op basische gronden meer kans is op ammoniakvervluchtiging. Ureum wordt in de bodem eerst omgezet naar ammonium, waardoor ureumstikstof trager werkt dan ammonium- of nitraatstikstof [33]. Ureum bevat echter wel een koolstofbron, wat voordelig is. Ammonium en nitraat gebaseerde meststoffen hebben de hoogste N-benutting en de laagste NH_3 -emissie, maar onder natte omstandigheden wel de hoogste N_2O emissie.

Daarnaast zijn naast stikstof ook kalium, fosfaat en zwavel belangrijke grondstoffen in de landbouw. Vandaar dat een aantal stikstofproducten een combinatie zijn van deze bouwstenen.

5.2 STIKSTOFPERCENTAGE IN PRODUCT

Een belangrijke eigenschap van de stikstofproducten is het percentage stikstof in het desbetreffende product. Het doel van de toepassing van het stikstofproduct, zoals de gewasopbrengst of in productieprocessen, is afgestemd op het stikstofpercentage. Daarnaast heeft het stikstofpercentage ook impact van de geschiktheid van een stikstofterugwinttechnologie: het bepaalt de mate van opwerking van stikstof tot een werkzaam product. Onderstaande afbeelding geeft het percentage stikstof in de verschillende producten weer die worden gebruikt door de respondenten.

AFBEELDING 5.3 PERCENTAGE STIKSTOF IN STIKSTOFPRODUCTEN VAN RESPONDENTEN



Een deel van de producten heeft een stikstofpercentage dat gelijk is aan het stoichiometrisch maximum: het product bevat geen water of andere verontreinigingen. Dit is het geval voor ammoniak (gas), ureum (vast) en ammoniumsulfaat (vast). Voor samengestelde kunstmeststoffen (bijvoorbeeld urean) kan deze vergelijking niet gemaakt worden omdat er ook nog andere componenten in het mengsel zitten die deel uitmaken van de samenstelling. In de

interviews wordt over het algemeen door alle partijen aangegeven dat het percentage stikstof in het product zo hoog mogelijk moet zijn, zodat de bedrijven zelf het product kunnen verdunnen of blenden naar de juiste concentratie.

5.3 HOEVEELHEDEN STIKSTOFPRODUCT GEBRUIKT

Onderstaande tabel geeft een overzicht weer van de hoeveelheden stikstofproduct die door de verschillende industrieën worden afgenomen of afgezet in dit onderzoek. Een beperkte groep respondenten heeft antwoord gegeven op de hoeveelheden stikstofproducten die worden gebruikt. Onderstaande tabel is daarom slechts ter indicatie opgesteld.

TABEL 5.3 HOEVEELHEDEN STIKSTOFPRODUCT GEBRUIKT OF AFGEZET, PER INDUSTRIE

Industrie	Welk product?	Ton product / jaar
kleine kunstmestproducent	alle producten gezamenlijk	60
grote kunstmestproducent	ammoniumsulfaat	20.000
	ammoniumnitraat	10.000 - 15.000
milieutechnologie (afvalwaterzuivering)	ureum	1.000
chemische industrie (acrylonitril)	ammoniak	100.000-120.000
reststromen (rookgasreiniging)	ammonia	2.500
papierindustrie (afvalwaterzuivering)	ureum	220

De totale stikstofkunstmestmarkt bedraagt circa 200.000 ton stikstof, zoals genoemd in hoofdstuk 2. Ondanks dat in deze marktanalyse de kunstmestproducenten een minder grote gebruikte hoeveelheid stikstof opgeven dan bijvoorbeeld de chemische industrie, is dat in de werkelijkheid wel zo: de landbouw is de grootste afnemer van stikstof. Over het algemeen geven de kunstmestproducenten aan dat de afname van stikstofproducten stabiel is op de lange termijn. Twee kunstmestproducenten met verschillende typen stikstofproducten geven aan dat zij een lichte stijging zien in afzet van 2-3 % per jaar. Verder is er ook sprake van een variatie in afname per seizoen. In het groeiseizoen voor agrariërs wordt er meer kunstmest afgenomen. Het groeiseizoen loopt, afhankelijk van het type gewas, van maart tot en met september. Voor akkerbouw dient de eerste N-bemesting (februari-maart) een geconcentreerder stikstofproduct te zijn dat met lichte apparatuur kan worden toegediend. De tweede N-bemesting (rond april) verlangt een voldoende hoog gehalte aan werkzame N dat snel opgenomen kan worden, vanwege de korte N-opname periode [34]. De bemestingsadviseur van Vruchtbare Kringloop Achterhoek (For Farmers) bevestigt dit: tijdens de eerste en tweede bemesting wordt met name ammonium gebruikt, in het najaar nitraat.

De papierindustrie geeft aan dat door een fluctuerende CZV-belasting van de zuivering de dosering van ureum ook varieert. Dit is echter afhankelijk per fabriek (en dus afvalwaterzuivering). De acrylonitrilproducent en afvalverwerker nemen gedurende het jaar een constante hoeveelheid af. Ook nemen ze geen bijzondere trends waar op de lange termijn.

5.4 PRIJS VAN STIKSTOFPRODUCTEN

De huidige prijs van stikstofproducten is belangrijk omdat het een indicatie geeft van de maximale opwerkingskosten voor teruggewonnen stikstof voor een sluitende business case. Een aantal van de respondenten heeft de inkoop- of verkoopprijs van hun stikstofproducten gedeeld. Om deze informatie aan te vullen is ook een kunstmesthandelaar specifiek gecontacteerd voor de prijzen van veelgenoemde stikstofproducten (van respondenten). Onderstaande

tabel geeft een overzicht van de prijs van stikstofproducten en verwachte prijsstijging op basis van enquêtes en informatie van de kunstmesthandelaar. Stikstofproducten waar geen prijs van bekend is, zijn niet opgenomen in de tabel.

TABEL 5.4 PRIJS VAN VEELGEBRUIKTE STIKSTOFPRODUCTEN

Stikstofproduct	Eenheid	Inkoopprijs	Verkoopprijs	Verwachte prijsstijging over 10 jaar
Ureum (100 %)	EUR/ton	290		omhoog met 20 tot 50 EUR/ton (3)
Ureum (46 %) vast	EUR/ton	478		
Kalkammonsalpeter (21 %) vast	EUR/ton	334		
Ammoniumsulfaat (35-40 %) oplossing	EUR/ton		15	
Ammoniumsulfaat (21 %) vast	EUR/ton	308		
Ammonia (24,5 %) oplossing	EUR/ton	116 - 120		
Ammoniak (gas)	EUR/ton	250*		
Ammoniumnitraat (18 %) vloeibaar	EUR/ton	460		

*indien er sprake is van een lage elektriciteitsprijs van 2 cent per kWh, volgens opiniestuk Power2Ammonia [35]

Een aantal kunstmestproducenten verwacht een stijging van de kunstmestprijs terwijl een aantal denken dat deze stabiel blijft. Hierover zijn de respondenten dus niet eensgezind. De prijs van ammoniak, wat een grondstof is voor veel stikstofproducten, wordt jaarlijks geïndexeerd door marktbeoordelaars zoals Fertecon. De indexatie van de kunstmestprijzen wordt overgenomen door de kunstmestproducenten. Meerdere respondenten geven aan dat de prijs van ammoniak, en dus andere stikstofproducten, sterk gelinkt is aan de aardgasprijzen. Dit werd nog eens duidelijk toen op 1 januari 2021 de aardgasprijzen snel stegen waardoor het voor een aantal kunstmestproducenten niet meer rendabel was om ammoniak te produceren. Dit had als gevolg dat de productie van KAS (kalkammonsalpeter) is teruggeschroefd [36]. Veel factoren hebben invloed op de aardgasprijs, waaronder de olieprijs, geopolitieke factoren en de beschikbare voorraad [37].

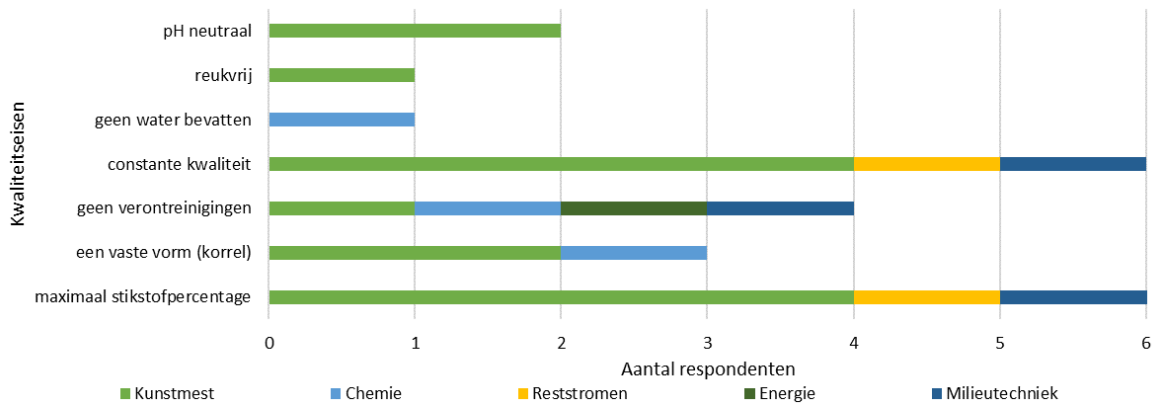
Naast de aardgasprijs, heeft een verhoging van de CO₂-prijs voor Europese emissiehandel (ETS) bedrijven een directe invloed op de prijs van stikstofkunstmest. Bij de productie van ammoniak wordt aardgas toegepast als grondstof en als brandstof, resulterend in hoge CO₂-emissies bij de productie van ammoniak. In een onderzoek uitgevoerd door CE Delft in 2018, is voorspeld dat bij een gemiddelde CO₂-prijs (2021: €30/ton CO₂), de prijs van kunstmeststoffen 3-6 % stijgt als alle kosten worden doorgerekend aan de klant. Wanneer een additionele heffing van €20/ton CO₂ plaatsvindt, resulteert dit in een kostprijs stijging van 9-12 % voor kunstmeststoffen [38]. Deze trend wordt bevestigd door verschillende respondenten.

Ammonia heeft een lage prijs in vergelijking met overige stikstofderivaten.

5.5 KWALITEITSEISEN AAN TERUGGEWONNEN STIKSTOF

Gebruikers van stikstof stellen kwaliteitseisen aan het product. In de enquêtes en interviews is de respondenten gevraagd welke kwaliteitseisen worden gesteld aan teruggewonnen stikstofproducten (onderstaande afbeelding) De antwoorden geven een globaal overzicht van de verschillende kwaliteitseisen per industrie. De genoemde kwaliteitseisen moeten aandacht krijgen in het ontwerp van een stikstof terugwinroute in de toekomst. Het is belangrijk op te merken dat binnen een industrie, zoals de landbouw, kwaliteitseisen per toepassing of bedrijf kunnen verschillen. Wanneer stikstof wordt teruggewonnen en opgewerkt tot een product, moeten de exacte kwaliteitseisen samen worden vastgesteld met de afnemer(s).

AFBEELDING 5.4 KWALITEITSEISEN TERUGGEWONNEN STIKSTOFPRODUCTEN, VOLGENS RESPONDENTEN ENQUÊTES EN INTERVIEWS



Bovenstaande afbeelding laat zien dat met name de constante kwaliteit van het geleverde product, een hoog stikstofpercentage en een vaste vorm belangrijke kwaliteitseisen zijn die worden gesteld door de respondenten. Hieronder wordt elke eis (vanuit de industrie) toegelicht in volgorde van belangrijkheid.

DE GEWASOPBRENGST PER KILOGRAM KUNSTMEST

Het valt op dat de gewasopbrengst per kilogram kunstmest niet als kwaliteitseis is genoemd door de meeste kunstmestbedrijven. In gesprek met de Vruchtbare Kringloop Achterhoek is de effectiviteit van de kunstmest echter als *meest* belangrijke kwaliteitseis naar voren gekomen. Het percentage werkzame stof als stikstof is daarin niet de enige factor van invloed. Hoe makkelijk een plant de stikstof en andere bouwstenen in de kunstmest kan opnemen is ook afhankelijk van de chemische structuur van de kunstmest en de toedieningsmethode. Het is aanbevolen om de gewasopbrengst van nieuwe soorten kunstmest uitvoerig te onderzoeken voordat het de markt op gaat. Dit versterkt de propositie van het product.

5.5.1 MAXIMAAL STIKSTOFPERCENTAGE

Voor de kunstmestproducenten is een hoge concentratie stikstof van belang zodat zij de mogelijkheid hebben om het aangeleverde stikstofproduct tot de juiste verhoudingen te blenden voor hun afnemers. Bij lage concentraties moet men vaker meststoffen leveren wat logistieke kosten met zich mee brengt. Ook heeft het percentage stikstof impact op de productie in de landbouw. Eenzelfde hoeveelheid kunstmest moet eenzelfde hoeveelheid opbrengst vermeerderen.

In alle andere industrieën wordt een maximaal hoog percentage stikstof wenselijk geacht vanwege logistieke overwegingen. Een lager percentage werkzame stof betekent meer transport en grotere opslagvolumes en dus hogere kosten. Ook zijn processen ontworpen op bepaalde percentages werkzame stof. Lagere percentages hebben mogelijk impact op het proces.

AMMONIAKWATER IN PLAATS VAN WATERVRIJE AMMONIAK

NO_x -reductie door inzet van ammoniakwater is volgens YARA veiliger in gebruik dan water-vrije ammoniak wegens de sterk verlaagde dampdruk als gevolg van aanwezigheid van water. In vergelijking met waterhoudende ureumoplossingen (ook gebruikt als reductiemiddel in de NO_x -systemen) is ammoniakwater van 24,5 % efficiënter qua transport en opslag. Daarnaast heeft ammoniakwater 9,5 % meer stikstof dan een 40 % ureumoplossing [39].

5.5.2 CONSTATE KWALITEIT

De respondenten vinden een constante kwaliteit belangrijk. Producten met een variabele kwaliteit zijn ongewenst voor het productieproces van het blenden van meststoffen, omdat kunstmestproducenten de verantwoordelijkheid hebben naar hun afnemers om constant dezelfde kunstmest te leveren. Als hier afwijkingen in zitten kan dit effect hebben op de gewasopbrengst of mate van uitloging naar het grondwater. In toepassing van stikstof op de waterzuivering is een constante kwaliteit belangrijk omdat ammonium gemakkelijk moet vrijkomen in het actiefslibproces van de afvalwaterzuivering.

Voor rookgasreiniging wordt aangegeven dat een variabele kwaliteit een effect kan hebben op de werking van de DeNO_x-installatie. Een afwijkende batch ammonia kan invloed hebben op het functioneren van de rookgasreiniging, waardoor het rendement van de rookgasreiniging lager is. Dit mag in geen geval voorkomen, omdat de license to operate (onder andere) afhangt van de stikstofverwijdering.

5.5.3 VAST VERSUS VLOEIBAAR

Uit de marktanalyse blijkt dat de vorm van het product belangrijk is. Hierbij wordt overwegend de voorkeur gegeven voor een vaste vorm, zoals korrels. De voorkeur voor de vaste vorm kent meerdere redenen:

- de opslag van vloeibaar stikstof tot aan het gebruikersmoment is een grote uitdaging;
- transport van vloeibaar stikstof is duurder dan transport van vast stikstof;
- producenten van organische meststoffen kunnen alleen vaste stoffen verwerken in de productielijn [40];
- de meeste huidige bemesting- en opslagsystemen zijn ontworpen op vaste kunstmest;
- vaste kunstmest kan met meer precisie 'gedoseerd' worden aan grond dan vloeibare met huidige assets.

De bezwaren tegen vloeibare stikstof zijn dus vooral van logistieke en technische aard, en niet van kwalitatieve aard. Wanneer een vloeibaar alternatief beschikbaar is, moet wel het gehele meststelsel inclusief transport en opslag daarop worden aangepast. Dat is kostbaar voor de eindgebruiker.

VLOEIBAAR MINERALEN CONCENTRAAT IN DE KUNSTMESTVRIJE ACHTERHOEK

Dat de voorkeur uitgaat naar een vast product betekent niet dat vloeibare producten niet kunnen worden afgezet. Twee voorbeelden van de succesvolle afzet van vloeibaar teruggewonnen stikstofproducten zijn ammoniumsulfaat door GMB BioEnergie en mineralen concentraat (rijk aan stikstof en kalium) teruggewonnen uit digestaat door de Kunstmestvrije Achterhoek.

5.5.4 GEEN VERONTREINIGINGEN

De meeste respondenten hebben de perceptie dat een teruggewonnen stikstofproduct nog verontreinigingen als geneesmiddelen en zware metalen zal bevatten. Daarom is dit een vaker genoemde kwaliteitseis. De zuiverheid van de teruggewonnen stikstofproducten hangt samen met de kwaliteitseisen 'hoog percentage werkzame stof' en 'constante kwaliteit'.

Afhankelijk van het proces en product waarvoor het stikstofproduct wordt ingezet speelt zuiverheid een cruciale rol. Voor de inzet van ammoniak als energiedrager is het niet gewenst dat zware metalen aanwezig zijn in de teruggewonnen ammoniak. De zware metalen kunnen impact hebben op het omzettingsproces van ammoniak naar elektriciteit (een lagere

opbrengst). De acrylonitrilproducent die tevens ammoniak inzet in het productieproces geeft ook aan dat teruggewonnen ammoniak zo zuiver mogelijk moet zijn. Indien er onzuiverheden in de teruggewonnen ammoniak zitten moeten deze bekend zijn of er moeten filters in het proces aanwezig zijn die deze onzuiverheden uit de ammoniak kunnen filteren. In de rookgasreiniging is de aanwezigheid van koolstofverbindingen (geneesmiddelen) niet zo belangrijk, omdat deze mee worden verbrand in de oven. Zware metalen kunnen wel het katalytisch proces verstoren.

In de landbouw is de aanwezigheid van geneesmiddelen, gewasbeschermingsmiddelen en zware metalen ongewenst omdat deze de bodem verontreinigen. Tevens kunnen bepaalde stoffen toxisch zijn voor de gewassen, alhoewel dit ook sterk afhankelijk is van de concentratie. In de interviews en enquêtes zijn geen stoffen genoemd waarvan de aanwezigheid een absolute 'showstopper' is. Hiervoor is verder onderzoek nodig naar specifiek de effecten van in rioolwater aanwezige stoffen op de gewasopbrengst en de bodem.

MICROVERONTREINIGINGEN IN STIKSTOFTERUGWINTECNOLOGIEËN

Een aantal van de stikstofterugwintecnoologieën (hoofdstuk 8) zullen naar verwachting grotendeels microverontreinigingen tegenhouden. In strippen en scrubben vindt een fase overgang plaats van ammoniak naar ammonia (gas naar vloeibaar). Microverontreinigingen uit de waterfase worden niet gestript, waardoor die naar verwachting niet mee gescrubd worden in de ammoniumsulfaat oplossing. Indien membraan strippen wordt toegepast is dat nog een extra barrière voor microverontreinigingen. Dat in beide technologieën geen microverontreinigingen worden aangetroffen in het product is bevestigd in labonderzoek naar stikstofterugwinning uit urine [41]. Ander labonderzoek toont ook aan dat bij bipolaire elektrolyse het transport van microverontreinigingen naar het stikstofconcentraat minimaal is (< 8 % van de ingaande concentratie [42]). De aanwezigheid van microverontreinigingen in ionenwisselingproduct is afhankelijk van de concentratie in het behandelde water. Als er micro's aanwezig zijn, kunnen die ook in het product terecht komen. In de toekomst is meer onderzoek nodig naar microverontreinigingen.

5.5.5 OVERIGE KWALITEITSEISEN

REUKVRIJ

Een van de respondenten geeft aan dat het product reukvrij moet zijn.

GEEN WATER BEVATTEN

In de productie van acrylonitril is het belangrijk dat de ammoniak watervrij is, omdat het anders problemen oplevert in de productie van acrylonitril.

PH NEUTRAAL

De kunstmeststoffenindustrie geeft de voorkeur aan pH neutrale meststoffen. Een te lage pH leidt tot aluminiumtoxiciteit, wat kan resulteren in een verslechterde groei van het gewas door een verminderde opname van water en nutriënten [41].

6

MARKTVISIE OP TERUGGEWONNEN STIKSTOF

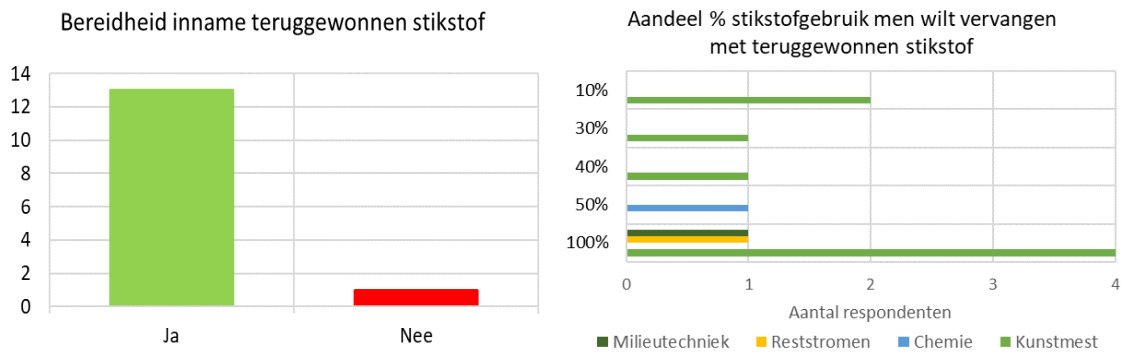
Dit hoofdstuk beschrijft de antwoorden die de respondenten van de enquêtes en interviews hebben gegeven over de bereidheid om teruggewonnen stikstof uit rioolwater af te nemen. Paragraaf 6.1 gaat dieper in op de bereidheid van respondenten om teruggewonnen stikstof in te zetten. Paragraaf 6.2 geeft een analyse van de betaalbereidheid van respondenten voor teruggewonnen stikstofproducten. De eventuele marktvraag naar teruggewonnen stikstof is toegelicht in paragraaf 6.3. Paragraaf 6.4 doet onderzoek naar het bedrijfsbeleid op gebied van duurzaamheid en circulariteit. Paragraaf 6.5 presenteert de uitdagingen die respondenten zien totdat teruggewonnen stikstof op grote schaal kan worden afgenomen.

6.1 BEREIDHEID TOT INZET VAN TERUGGEWONNEN STIKSTOF

Uit de marktanalyse blijkt dat een groot deel van de respondenten bereid is om teruggewonnen stikstof uit rioolwater af te nemen, namelijk > 90 % van de respondenten (linker grafiek van Afbeelding 6.1). Een enkele respondent uit de kunstmestindustrie gaf aan geen teruggewonnen stikstof te willen afnemen. Hiervoor is geen expliciete reden genoemd.

Vervolgens is gevraagd welk aandeel van het stikstofgebruik men is bereid te vervangen voor teruggewonnen stikstofproducten (rechter grafiek Afbeelding 6.1). De respondenten zijn grotendeels bereid om tot 100 % van de stikstof die zij nu gebruiken te vervangen voor teruggewonnen stikstof. In het geval dat de respondenten aangeven dat zij minder dan 100 % van het stikstof zouden vervangen voor teruggewonnen stikstof is hier niet altijd een reden voor gegeven. Wel kunnen de argumenten die opgegeven zijn voor de kwaliteitseisen hier mogelijk aan gekoppeld worden: soms kunnen deze gezien worden als onzekerheden bij het teruggewonnen product. Een voorbeeld hiervan is een kunstmestproducent die aangeeft dat diegene 40 % van het stikstof zou vervangen voor teruggewonnen stikstof, als uitdaging benoemt dat medicijnresten in het product een punt van aandacht zijn voor teruggewonnen stikstof. Er speelt dus een mate van onzekerheid over de kwaliteit van het teruggewonnen product wat van invloed kan zijn op de respons.

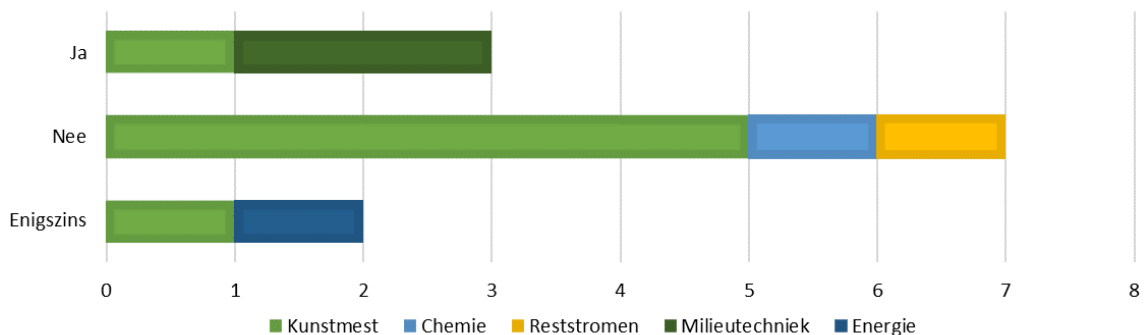
AFBEELDING 6.1 BEREIDHEID OM TERUGGEWONNEN STIKSTOF UIT RIOOLWATER IN TE ZETTEN. LINKER GRAFIEK GEEFT WEER HOEVVEEL PROCENT VAN DE RESPONDENTEN BEREID IS TERUGGEWONNEN STIKSTOF IN TE ZETTEN. DE RECHTER GRAFIEK GEEFT WEER WELK AANDEEL VAN HET HUIDIG STIKSTOFGEBRUIK MEN BEREID IS TE VERVANGEN MET TERUGGEWONNEN STIKSTOF



6.2 MARKTPRIJS VAN TERUGGEWONNEN STIKSTOF

Een belangrijke parameter om de business en value case van teruggewonnen stikstof interessant te maken, is de prijs die de markt bereid is te betalen voor teruggewonnen stikstofproducten. Dit resulteert in baten voor de teruggewonnen stikstofproducent (zoals mogelijk een waterschap). Afbeelding 6.2 geeft een overzicht van de respons uit de marktanalyse op de vraag of men meer, minder of hetzelfde bereid is te betalen voor teruggewonnen stikstofproducten in vergelijking met de huidige stikstofproducten.

AFBEELDING 6.2 BETAALBEREIDHEID VOOR TERUGGEWONNEN STIKSTOFPRODUCTEN IN VERGELIJKING MET HUIDIGE STIKSTOFPRODUCTEN



Het overgrote deel van de respondenten antwoordt dat zij hetzelfde willen betalen voor teruggewonnen stikstofproducten als dat ze nu betalen. Een voorwaarde hierbij is dat het teruggewonnen stikstofproduct eenzelfde effectiviteit heeft als het reguliere stikstofproduct. Eén kunstmestproducent is bereid meer te betalen voor teruggewonnen stikstof. Het verschil in prijs tussen reguliere stikstof en teruggewonnen stikstof moet echter marginaal klein zijn, zodat een winstmarge kan worden behouden. Dit verschil gaat om euro's per ton, niet tientallen euro's per ton.

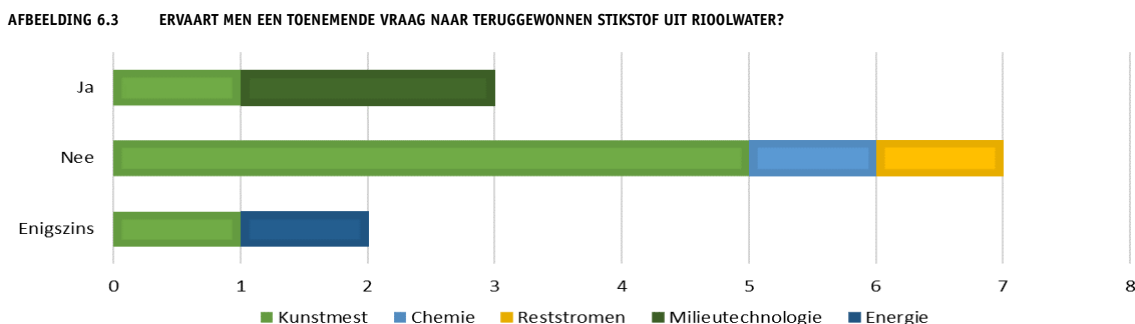
Een aantal respondenten heeft opgemerkt dat een mogelijk circulair label voor teruggewonnen stikstof de bereidheid voor afname zou kunnen stimuleren, wat in een hogere betaalbereidheid zou resulteren. Een respondent noemt dat een van hun contacten duurzame kunstmest produceert en dit voor 2 à 3 keer de marktprijs kan verkopen aan agrariërs (deze stelling is echter niet geverifieerd). Dit beeld wordt ook bevestigd door de Kunstmestvrije Achterhoek, waarin regionale teruggewonnen nutriënten worden ingezet in de landbouw. Uit dit initiatief blijkt dat ondanks dat de gewasopbrengst (iets) lager is, en de teruggewonnen

kunstmeststoffen (iets) duurder zijn in prijs, de agrariërs alsnog bereid zijn om dit product af te nemen. Dat komt waarschijnlijk (aldus de respondent) doordat de propositie van het teruggewonnen stikstofproduct goed is: de nutriënten (meststoffen) worden teruggewonnen uit ‘afvalstromen’ uit de regio en leveren een positieve bijdrage aan duurzaamheid in de regio.

Vooralsnog lijkt het feit dat een stikstofproduct is teruggewonnen uit rioolwater (of andere afvalstromen) geen economische meerwaarde te bieden. Dit wordt bevestigd door een Europees marktonderzoek naar teruggewonnen stikstofproducten. Hierin wordt op basis van literatuuronderzoek en enquêtes aangeraden dat stikstofrijke producten van teruggewonnen stikstof een 10 % lagere verkoopprijs hebben dan dezelfde reguliere producten, en dient een bio-granulaat met teruggewonnen stikstof slechts 8 % van de prijs van minerale kunstmest te bedragen [40]. Hier moet wel bij opgemerkt worden dat het in het Europese marktonderzoek teruggewonnen producten betrof welke niet altijd voldeden aan hoge kwaliteitsstandaarden. In dit STOWA-onderzoek wordt echter wel opgemerkt dat indien het product ook effectiever is (bijvoorbeeld meer gewasopbrengst), men wel bereid is er meer voor te betalen. Dit is niet verschillend van de conventionele stikstofproductenmarkt.

6.3 MARKTVRAAG NAAR TERUGGEWONNEN STIKSTOF

In de marktanalyse is onderzocht of de respondenten een toenemende vraag naar teruggewonnen (stikstof)producten ervaren vanuit de markt. De antwoorden hierop zijn gepresenteerd in onderstaande afbeelding.



Het overgrote deel van de respondenten merkt geen toenemende marktvaart naar teruggewonnen stikstofproducten. Dit kan ook deels de lage betaalbaarheid voor het product verklaren. Als de klant hier immers niet in geïnteresseerd is, kan de producent het ook niet voor een hogere prijs verkopen.

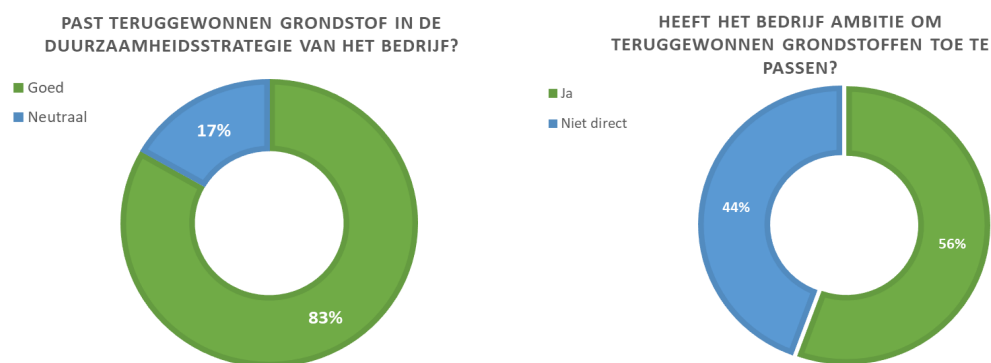
Daarentegen zien zowel de producent als afnemer van nutriëntenmengsels voor in waterbehandeling een toename in de vraag naar teruggewonnen stikstofproducten. Smurfit Kappa geeft aan dat de consument het met name belangrijk vindt dat het papier duurzaam is. Dat geldt in mindere mate voor de afvalwaterzuivering (waar nu de stikstof wordt ingezet). De afname van teruggewonnen stikstofproducten draagt wel bij aan de algehele duurzaamheid van het bedrijf. Daarnaast ervaart één kunstmestproducten een stijgende marktvaart vanuit de consumentmarkt (dus indirect). Een dergelijke stijgende marktvaart wordt niet ervaren bij de eindgebruikers van het kunstmest. Het is mogelijk dat de wens voor circulaire producten langzaam doorsijpelt vanuit de consument naar de retailer, naar de agrariër en zodoende uiteindelijk ook bij de kunstmestproducent terecht komt.

6.4 BEDRIJFSBELEID OP HET GEBIED VAN CIRCULARITEIT

Naast een toenemende marktvraag naar teruggewonnen producten, kan bedrijfsbeleid op het gebied van circulariteit ook een drijfveer zijn voor de inzet van circulaire producten. In de marktanalyse zijn hierover twee relevante vragen gesteld (onderstaande afbeelding): past de inzet van teruggewonnen grondstoffen in het duurzaamheidsbeleid van het bedrijf en heeft het bedrijf ambitie op de inzet van circulaire grondstoffen?

Uit de antwoorden komt naar voren dat een groot aantal bedrijven vindt dat de inzet van teruggewonnen grondstoffen past in het duurzaamheidsbeleid, maar dat een kleiner aantal bedrijven de ambitie heeft om dit daadwerkelijk te realiseren. Een voorbeeld van een bedrijf met een duidelijke ambitie rondom circulariteit is ICL. ICL geeft aan dat zij intensief onderzoek doen naar inzet van teruggewonnen grondstoffen in hun producten en samenwerken met andere bedrijven om dit te realiseren. Echter blijkt uit de rest van de enquêtes dat met name respondenten uit de kunstmestindustrie geen ambitie of beleid op het gebied van circulaire grondstoffen hebben. Hieruit blijkt dat het bedrijfsbeleid in de meeste gevallen ook geen drijfveer is om meer teruggewonnen (stikstof)producten af te nemen (al dan niet tegen een hogere prijs).

AFBEELDING 6.4 BEDRIJFSBELEID EN -AMBITIE OP HET GEBIED VAN TOEPASSING VAN TERUGGEWONNEN GRONDSTOFFEN



Naast de interviews en enquêtes zijn beschikbare stukken over het bedrijfsbeleid van de respondenten (op het internet) geanalyseerd. De analyse maakt duidelijk dat de volgende onderwerpen van belang zijn voor de bedrijven: het verlagen van de CO₂-afdruk (of milieueffecten) en duurzame productie(processen). De relatie van teruggewonnen stikstof tot elk van deze onderwerpen is hieronder per subparagraaf toegelicht.

HET VERLAGEN VAN DE CO₂-IMPACT

Veel bedrijven benoemen op hun website en in de marktanalyse dat hun duurzaamheidsstrategie met name gefocust is op het verlagen van milieueffecten van hun bedrijf, en daarmee het verlagen van de CO₂-impact. Veelal wordt CO₂-impact direct gelinkt aan energieverbruik, omdat het overstappen van fossiele naar een duurzame energiebron een grote reductie kan opleveren in de CO₂-impact van een bedrijf. Zo noemt een bedrijf in de energiesector dat de focus ligt op het produceren van ammoniak uit groene energie, niet zozeer uit teruggewonnen stikstof. Door de productie met groene energie kan volgens hen de meeste CO₂ worden bespaard. De focus op groene energie (in plaats van groene grondstoffen) wordt benadrukt door de branchevereniging van meststoffen. De branchevereniging geeft aan dat veel grote spelers op het gebied van kunstmest met name focussen op productie van stikstof uit groene energie.

DUURZAME PRODUCTIE

Duurzame productie van gewassen is voor veel meststoffenbedrijven een van de hoofddoelen van de duurzaamheidsstrategie. Meerdere kunstmestproducenten, zoals de branchevereniging Meststoffen NL, hebben een duurzame en efficiënte productie als duurzaamheidsspeerpunt [42]. De focus van duurzame landbouw ligt met name op het beperken van uitloging van meststoffen naar grondwater en oppervlaktewater door precisiebemesting, en in mindere mate op inzet van teruggewonnen grondstoffen. Het sluiten van de mineralenkringloop wordt wel genoemd, maar in dat verband krijgt dierlijke mest een prominentere rol. Als we kijken naar de stikstofcyclus levert het beperken van uitloging zeker een positieve bijdrage aan het reduceren van de menselijke impact op de cyclus, maar zorgt het niet voor het sluiten van de kringloop. Stikstof wordt namelijk nog steeds geëmitteerd naar lucht, bodem en water in rwzi's en kunstmestproducenten fixeren nog steeds stikstof uit de lucht ten behoeve van de landbouw. De crux in het sluiten van de stikstofkringloop is dan ook dat het toepassen van teruggewonnen stikstof in de landbouw de cruciale schakel in de keten is, maar dat de milieuwinst behaald wordt in andere sectoren.

6.5 UITDAGINGEN VOOR INZET TERUGGEWONNEN STIKSTOF

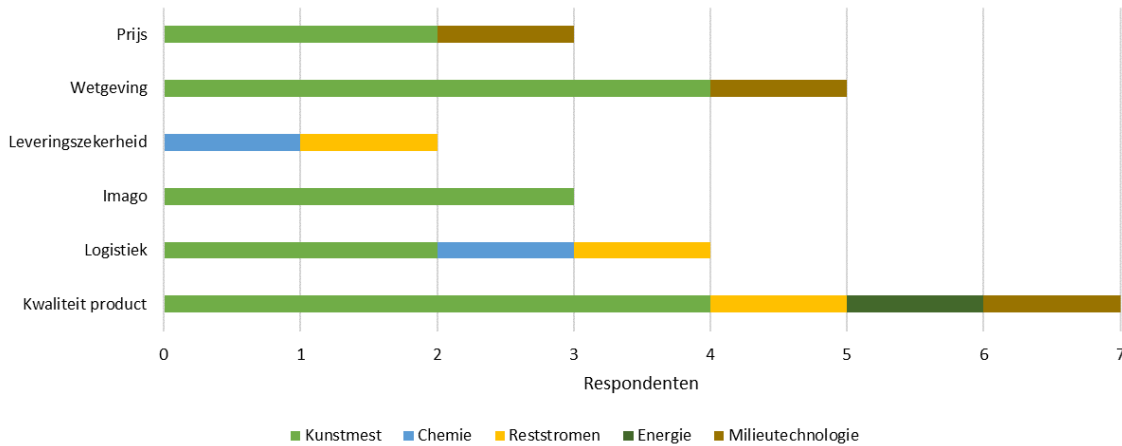
Het in kaart brengen van de uitdagingen die respondenten momenteel ervaren voor de inzet van teruggewonnen stikstof helpt met het prioriteiten van aandachtspunten in stikstofterugwinning. Afbeelding 6.5 presenteert een overzicht met de lijst van uitdagingen die de respondenten hebben benoemd.

SAMEN DE UITDAGINGEN AANGAAN

Alle respondenten, op een na, geven aan bereid te zijn om samen uitdagingen omtrent de inzet van teruggewonnen stikstof aan te willen gaan. Sommigen noemen hier wel aantal voorwaarden voor: het ontvangen van analyseresultaten van monster(s) teruggewonnen stikstofproduct en dat 'bepaalde grenzen en verantwoordelijkheden' in acht werden genomen. Dat interpreteren wij zo: als het teruggewonnen stikstofproduct technisch kan voldoen aan de (belangrijkste) kwaliteitseisen, zijn de respondenten bereid om de overige uitdagingen (logistiek, wetgeving en prijs) samen aan te gaan. De partij die niet geïnteresseerd is in het samen aangaan van de uitdagingen merkt op dat het stikstofgebruik van het bedrijf qua volume te zo groot is dat de inzet van teruggewonnen stikstof qua volume weinig duurzaamheidsimpact heeft.

Dat de bereidheid om mee te werken hoog is geeft aan dat er voor de waterschappen kansen liggen om inzet van teruggewonnen stikstof verder te onderzoeken. Zo worden er door verschillende respondenten ook oplossingen geboden voor onderzoek en ondersteuning. De nutriëntenmengselproducent geeft aan dat zij kunnen bijdragen met pilots. De teruggewonnen stikstofproducten kunnen in hun testlaboratorium worden getest. Een kunstmestproducent kan hun marktkennis inzetten om nichemarkten te zoeken voor het afzetten van teruggewonnen stikstofproducten in de landbouw.

AFBEELDING 6.5 UITDAGINGEN INZET TERUGGEWONNEN STIKSTOF



Uitdagingen omtrent de kwaliteit, wetgeving en logistiek zijn het meest genoemd. Elk van de genoemde uitdagingen worden hieronder toegelicht.

KWALITEITSEISEN

Respondenten uit verschillende sectoren ervaren de kwaliteit van teruggewonnen stikstof als een mogelijke uitdaging. Met name de perceptie dat teruggewonnen stikstof uit rioolwater ook nog resten geneesmiddelen, gewasbeschermingsmiddelen, pathogenen en zware metalen kan bevatten is hardnekkig. Welke eisen de stikstofgebruikers stellen aan het teruggewonnen product is toegelicht in paragraaf 5.5.

WETGEVING

Wetgeving is ook één van de uitdagingen die vaak wordt benoemd, met name door kunstmestproducenten. In hoofdstuk 5 wordt uitgebreid ingegaan op het juridisch kader van teruggewonnen stikstof(producten).

LOGISTIEK

De opslag van vloeibare stikstofproducten (in de kunstmestindustrie) tot het gebruiksmoment is een uitdaging vanwege het grote opslagvolume. Vloeibaar kunstmest heeft doorgaans een lager stikstofpercentage per kubieke meter, waardoor het meer volume inneemt dan vaste stikstofproducten. Dit maakt ook het transport van vloeibare kunstmest duurder. Het overgrote deel van de huidige stikstofmarkt is momenteel ingespeeld op vaste kunstmestproducten, niet vloeibare. Naast de vorm is ook de seizoensvariatie in stikstofafname een uitdaging voor de opslag. De kunstmestinzet in Nederland kent een aantal pieken door het jaar heen: het voorjaar, juni en juli (paragraaf 5.3). Ter illustratie: GMB BioEnergie rijdt haar gehele voorraad aan teruggewonnen ammoniumsulfaat weg tussen half februari en begin mei. Dat is circa 18.000 ton ammoniumsulfaat à 35-40 %. Dat betekent dat tot die tijd al het ammoniumsulfaat moet worden opgeslagen, of de productie moet worden stilgelegd.

Veiligheid van opslag van gevaarlijke stikstofproducten wordt ook door twee kunstmestproducenten, een acrylonitrilproducent en een reststromenverwerker genoemd als uitdagingen. Het gaat hier met name om ammoniumnitraat en watervrije ammoniak. Hier is in paragraaf 7.4 dieper op ingegaan.

MARKTPRIJS

Drie respondenten zien prijs als een uitdaging voor teruggewonnen stikstof. Dit is in lijn met de bevindingen uit paragraaf 5.4. Meerdere respondenten noemen niet de prijs voor teruggewonnen stikstof, maar de prijs van aardgas als een uitdaging voor teruggewonnen stikstof: zolang aardgas 'spotgoedkoop' is, kan teruggewonnen stikstof niet concurreren met reguliere stikstofproducten.

LEVERINGSZEKERHEID

De productie van kunstmest en overige producten vereisen een constante toevoer aan grondstoffen, dus moet de leveringszekerheid van het teruggewonnen stikstofproduct hoog zijn. De reststromenverwerker en de acrylonitrilproducent hebben dit beide benadrukt.

IMAGO

Een aantal kunstmestproducten zien het imago van teruggewonnen stikstofproducten uit rioolwater als een mogelijke uitdaging. Zij omschrijven geur, stank en omgevingsklachten bij verwerking als mogelijke struikelblokken voor de inzet van teruggewonnen stikstof. Daarnaast wordt door een andere respondent uit de kunstmestindustrie genoemd dat de link van stikstofproducten met de rioolwaterzuivering inherent is aan problemen met wetgeving; dit kan ook worden opgevat als een imagoprobleem.

HET IMAGO VAN TERUGGEWONNEN STIKSTOF ALS KANS

Veel respondenten zien het duurzame imago van circulaire producten ook juist als een kans. De papierindustrie benoemt dat de inzet van alternatieve stikstofbronnen bijdraagt aan een duurzaam imago van het bedrijf. Het energiebedrijf en een kunstmestproducent benoemen dat een groen imago de verkoop voor die producten kan versnellen. De branchevereniging voor meststoffen geeft aan dat teruggewonnen stikstof een potentiële afzetmarkt heeft in bijvoorbeeld de biologische markt. Dit is in lijn met de ervaringen uit de Kunstmestvrije Achterhoek: regionale, duurzame meststoffen hebben een afzetmarkt tegen een (iets) hogere prijs en (iets) lagere opbrengst vanwege de juiste branding van het product.

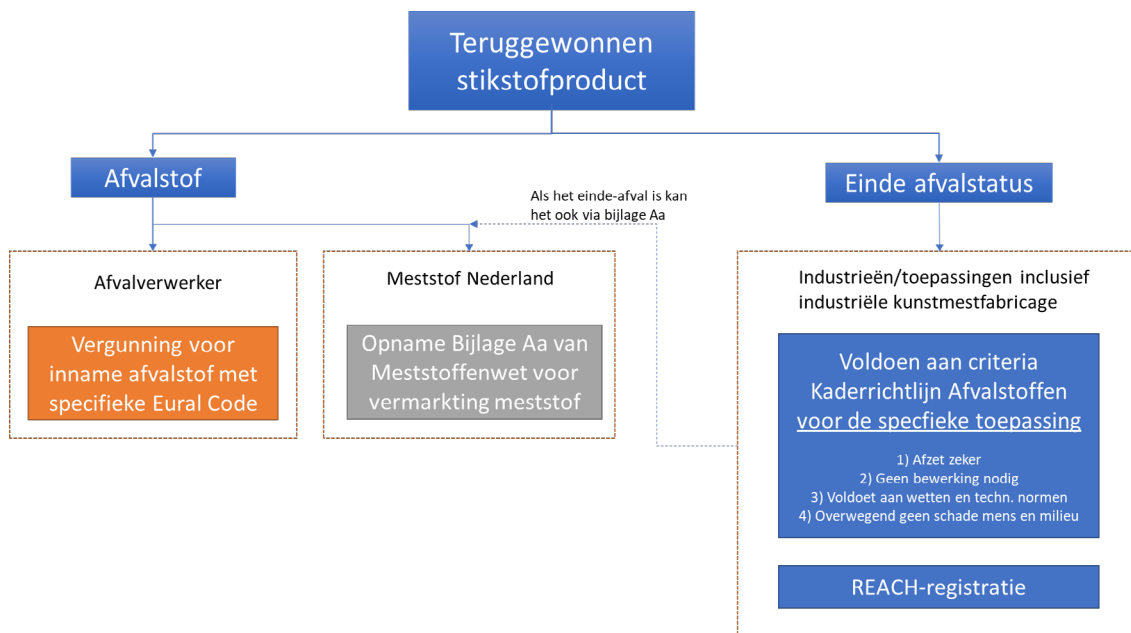
7

WETGEVING OMTRENT TERUGGEWONNEN STIKSTOF

Het huidige juridische kader omtrent teruggewonnen stikstof bepaalt in hoge mate de mogelijkheden voor de afzet van teruggewonnen stikstof. Het doel van dit hoofdstuk is om een globaal beeld te schetsen van de juridische mogelijkheden voor de inzet van teruggewonnen stikstof uit rioolwater. Voor het afzetten van teruggewonnen stikstof in de markt zijn meerdere juridische kaders van belang.

Afbeelding 7.1 presenteert een samenvattend schema van de relevante juridische kaders voor de afzet van teruggewonnen stikstof. Dit hoofdstuk volgt in hoofdlijnen de juridische routes in Afbeelding 7.1. Dit hoofdstuk beschrijft achtereenvolgens: de status van teruggewonnen stikstof als afvalstof (paragraaf 7.1), de toelating als meststof (paragraaf 7.2), de Reach-verordening (paragraaf 7.3) en de opslag van gevaarlijke stoffen (in relatie tot ammoniumnitraat; paragraaf 7.4).

AFBEELDING 7.1 SAMENVATTING VAN RELEVANTE JURIDISCHE KADERS VOOR DE AFZET VAN EEN TERUGGEWONNEN STIKSTOFPRODUCT



7.1 TERUGGEWONNEN STIKSTOF: AFVAL OF NIET?

Stikstof gewonnen uit een afvalstroom geldt in Nederland als een afvalstof tot het tegendeel is bewezen. Het kan pas als product verhandeld worden nadat is aangetoond dat voldaan wordt aan de vier einde-afvalcriteria uit de Kaderrichtlijn Afvalstoffen (c.q. Wet Milieubeheer):

- het voorwerp wordt gebruikelijk toegepast voor specifieke doelen;
- er is een markt voor of er is vraag naar de stof of het voorwerp;
- de stof of het voorwerp voldoet aan de technische voorschriften voor de specifieke doelen en aan de voor producten geldende wetgeving en normen;
- het gebruik van de stof of het voorwerp heeft over het geheel genomen geen ongunstige effecten voor het milieu of de menselijke gezondheid.

Voor teruggewonnen stikstof bestaat geen generieke Europese end of waste regeling of een Nederlandse einde-afvalregeling met een uitwerking van bovenstaande criteria voor een einde-afvalstatus. Dat betekent dat per geval, voor een specifieke productielocatie, toepassing(en) en afnemer(s), moet worden aangetoond dat aan de einde-afvalcriteria wordt voldaan. Voor het realiseren van een eind-afvalstatus zijn er drie mogelijkheden. Ten eerste kan de producent of houder zelf vaststellen dat aan de einde-afvalcriteria wordt voldaan. Rijkswaterstaat (RWS) Leefomgeving biedt een online tool aan waarmee een fabrikant zelf kan beoordelen of een stof een afvalstof is, een bijproduct of een einde-afvalstof. Een eigen oordeel biedt geen rechtszekerheid. Een handhaver kan een andere mening zijn toegedaan met het risico van handhaving en een rechtszaak. Het is aan te bevelen om naast een gedegen dossier een verklaring op te stellen dat de teruggewonnen stikstof voldoet aan de einde-afvalcriteria en deze ter beschikking te stellen aan de transporteur in verband met controles van het transport en aan de afnemer(s).

Ten tweede kan een rechtsoordeel gevraagd worden van het Ministerie van IenW via RWS Leefomgeving [43]. Dit is geen besluit, maar een zwaarwegende opinie van het Rijk. Sinds eind 2019 worden geen aanvragen voor rechtsoordelen meer in behandeling genomen. Het is nog niet bekend of en wanneer deze mogelijkheid weer beschikbaar komt.

Ten derde kan het bevoegd gezag een uitspraak doen. Het bevoegde gezag zijn de omgevingsdiensten (namens provincies en gemeenten) en de Inspectie Leefomgeving en Transport (ILT). In het kader van een vergunningverlening kan de omgevingsdienst vaststellen of de door een bedrijf ingenomen stof een afvalstof is of niet. In het kader van de vergunningverlening kan geen uitspraak gedaan of een uitgaande stof een afvalstof is of niet. De omgevingsdienst kan bijvoorbeeld niet in de vergunning van een rwzi vastleggen dat de teruggewonnen stikstof geen afvalstof is; dat is aan de omgevingsdienst van de ontvangende partij. Dit betekent dat men voor een teruggewonnen stof uit rioolwater dat landelijk wordt verhandeld, men met een groot aantal omgevingsdiensten te maken heeft. De omgevingsdienst kan buiten de vergunningverlening ook een 'rechtsoordeel' geven dat binnen de eigen regio geldig is.

Vanwege de herkomst van de teruggewonnen stikstof is bij de onderbouwing dat voldaan wordt aan het vierde einde-afvalcriterium – veiligheid voor mens en milieu – in het bijzonder aandacht nodig voor stoffen die aangetroffen worden in afvalwater en aanwezig kunnen zijn in de teruggewonnen stikstof zoals zeer zorgwekkende stoffen (ZZS), medicijnresten, zware metalen en pathogenen (zie paragraaf 5.5.4).

VERHANDELEN ALS AFVALSTOF OF PRODUCT

Wanneer teruggewonnen stikstof een einde-afvalstatus heeft verkregen, kan het als meststof of als grondstof voor andere toepassingen zoals acrylonitril- of caprolactamproductie verhandeld worden. De afvalstoffenregelgeving is dan niet van toepassing. Het product is echter niet geheel vrij verhandelbaar, maar alleen voor die specifieke toepassing(en) en afnemer(s) waarvoor is aangetoond dat voldaan wordt aan de einde-afvalcriteria. Ook is in dit geval Reach registratie nodig (paragraaf 7.3).

Teruggewonnen stikstof met de status van afvalstof kan alleen geleverd worden aan afnemers die vergund zijn om deze specifieke afvalstof (EURAL-code, www.euralcode.nl) te mogen ontvangen. Daarbij gelden alle beperkingen en eisen die gelden voor afvalstoffen zoals transport als afvalstof en bijhouden van de afvalstoffenregistratie. Teruggewonnen stikstof met de status van afvalstof kan in Nederland wel vrij als meststof verhandeld worden na toelating op bijlage Aa van de Uitvoeringsregeling Meststoffenwet. (paragraaf 7.2).

HANDEL MET HET BUITENLAND

Omdat de status van teruggewonnen stikstof uit afvalwater niet op Europees niveau bepaald is, is bij handel met het buitenland de eerste vraag wat de juridische status (afvalstof of niet) in het ontvangende land is. Bij het grensoverschrijdend vervoer van afval geldt de Europese Verordening Overbrenging Afvalstoffen (EVOA). Bij transport volgens de EVOA-richtlijn moet eerst toestemming gevraagd worden aan de transport autoriteiten in de betrokken landen. Wanneer er verschil is in mening tussen de landen of een stof een afvalstof is of niet, geldt de strengste interpretatie. Transport zonder de EVOA-procedure is dus uitsluitend mogelijk als zowel Nederland als het ontvangende land de teruggewonnen stikstof niet als afvalstof aanmerken. Voor toepassing als meststof of grondstof in een ander land moet uiteraard voldaan worden aan de daar geldende regelgeving.

7.2 TOELATING TERUGGEWONNEN STIKSTOF ALS MESTSTOF

Voor het gebruik van een teruggewonnen stikstofproduct als meststof zijn twee kaders relevant. De EU Meststoffenverordening harmoniseert het gebrek van meststoffen in Europa. Meststoffen die volgens deze verordening zijn toegelaten via een toelatingsprocedure mogen in heel Europa verhandeld worden. Daarnaast kunnen lidstaten via eigen meststoffenregelgeving aanvullend meststoffen toelaten en het gebruik reguleren. In Nederland is dit de Meststoffenwet en onderliggende besluiten en regelingen. Stoffen die zijn toegelaten via de Nederlandse meststoffenregelgeving kunnen alleen in Nederland verhandeld en toegepast worden.

EU MESTSTOFFENVERORDENING

In 2019 is de nieuwe EU Meststoffenverordening (EU) 2019/1009 van kracht geworden. Deze staat bekend als de Fertilizing Product Regulation (FPR). Deze vervangt de Verordening (EG) nr. 2003/2003. Tot juni 2022 is sprake van een overgangssituatie waarin de 2003/2003 verordening naast de FPR van kracht is. In de nieuwe verordening zijn niet alleen de regels voor de toelating van minerale meststoffen herzien, maar wordt het toepassingsgebied ook uitgebreid met organische meststoffen, bodemverbeteraars en biostimulanten.

De nieuwe meststoffenverordening sluit het gebruik uit van bijproducten, einde-afvalstoffen en stoffen die ooit afvalstof zijn geweest tenzij ze expliciet zijn toegelaten. Stikstof teruggewonnen uit rioolwater is niet opgenomen in één van de toegelaten materiaalcategorieën en komt daarmee niet in aanmerking voor de productie van EU-meststoffen.

De EU Commissie heeft de bevoegdheid om nieuwe stoffen en materiaalcategorieën toe te voegen zodat opname van stikstof teruggewonnen uit rioolwater op termijn een mogelijkheid is wanneer kan worden aangetoond dat er een substantieel marktpotentieel is en het gebruik veilig is [44].

MESTSTOFFENWET

In Nederland zijn naast EU-meststoffen alle andere producten automatisch toegelaten die voldoen aan de Meststoffenwet en aanhangende besluiten en regelingen. Een uitzondering geldt voor meststoffen die geproduceerd zijn uit afval- of reststromen. Deze kennen een toelatingsprocedure en worden na toelating opgenomen op een lijst in Bijlage Aa van de Uitvoeringsregeling Meststoffenwet. Bijlage Aa is een lijst van reststoffen die als meststof of hulpstof bij de productie van meststoffen mogen worden gebruikt. Stikstof teruggewonnen uit afvalwater komt in aanmerking voor opname op bijlage Aa. Hierop zijn al verschillende ammoniumsulfaat oplossingen uit luchtwassers opgenomen.

Het voordeel van opname op bijlage Aa is dat voor vermarkting van de teruggewonnen stikstof als meststof geen einde-afval status vereist is. Voor gedragingen (handelingen, activiteiten) die geregeld worden door de Meststoffenwet - handel, mengen en gebruik als meststof - wordt de afvalstoffenwetgeving [45] buiten werking gesteld. Onder handel valt ook vervoer en opslag van de meststof. Wat niet hieronder valt, is levering als grondstof aan een fabrikant van (kunst) meststoffen wanneer de grondstof wordt ingezet in een productieproces dat verder gaat dan mengen, zoals een chemisch productieproces. Hiervoor zal de fabrikant moeten beschikken over een vergunning om deze afvalstof te mogen ontvangen of is een einde-afvalstatus vereist. Dit is dus relevant wanneer teruggewonnen stikstof mogelijk als grondstof wordt gebruikt in het kunstmestproductieproces door kunstmestproducenten.

Een tweede mogelijkheid is om het stikstof product na het behalen van een einde-afvalstatus te verhandelen in Nederland als stikstofmeststof volgens de Meststoffenwet. Hiervoor is geen toelating vereist. Het is echter niet uitgesloten dat hierover discussie ontstaat. In artikel 5 van het Uitvoeringsbesluit Meststoffenwet (UBM) wordt gesteld dat meststoffen niet geheel of gedeeltelijk geproduceerd mogen zijn uit afvalstoffen of reststoffen. En uitzondering geldt voor stoffen die zijn opgenomen in bijlage Aa. Het begrip 'Reststoffen' is niet gedefinieerd in de Meststoffenwet, uit de toelichting blijkt wat de wetgever met reststoffen heeft bedoeld 'Onder reststromen worden in dit verband niet alleen restanten, residuen en overschotten verstaan, maar alle nevenstromen die vrijkomen bij een productieproces. Deze nevenstromen vertegenwoordigen een lagere economische waarde of kennen een laagwaardigere toepassing dan het product, waarop het proces primair is gericht [46]. Aangezien een einde-afvalstof geen afvalstof is en ook niet valt binnen de beschrijving van een reststof lijkt er geen noodzaak tot opname op Bijlage Aa. De einde-afvalstof is echter wél geproduceerd uit afvalstoffen. De vraag in hoeverre de bepaling dat meststoffen niet mogen worden geproduceerd uit afvalstoffen opwaarts doorwerkt in de productieketen is nog niet beantwoord.

7.3 DE REACH VERORDENING VOOR CHEMISCHE STOFFEN

Met het verlaten van de afvalfase valt teruggewonnen stikstof onder de REACH-verordening. Alle chemische stoffen die in Europa op de markt worden gebracht moeten beoordeeld worden op hun risico's en per fabrikant geregistreerd worden. Voor teruggewonnen stikstof zijn er twee mogelijkheden. De eerste mogelijkheid is om een REACH-registratie te doen. Ammoniumsulfaat en ammoniumnitraat zijn al geregistreerd zodat aangesloten kan worden

bij de bestaande registranten en via een Letter of Access (LoA) toegang verkregen kan worden tot de veiligheidsonderzoeken die nodig zijn voor de registratie. Het FARM REACH consortium beheert beide registraties [47]. De kosten van de LoA zijn ongeveer EUR 3.000 tot EUR 4.000. De eenmalige kosten van de REACH-registratie bedragen afhankelijk van het jaarvolume EUR 3.454 (10-100 ton) tot EUR 24.900 (>1.000 ton) [48].

De tweede mogelijkheid is gebruik te maken van de uitzondering op de REACH-registratieplicht voor teruggewonnen stoffen in artikel 2(7)d van de verordening [49]. De voorwaarde hiervoor is dat de stof overeenkomt met een al eerder geregistreerde stof. In het geval dit een stof betreft met een gevaar classificatie dient wel beschikking te worden verkregen over de veiligheidsdata die nodig zijn om een veiligheidsinformatieblad te kunnen verstrekken. Dit kan betekenen dat het nodig is om toch een Letter of Access (LoA) aan te schaffen voor toegang tot het veiligheidsonderzoek.

7.4 OPSLAG VAN GEVAARLIJKE STIKSTOFPRODUCTEN

Vanwege het explosiegevaar worden strenge eisen gesteld aan de opslag van ammoniumnitraat. Omdat ammoniumnitraat ook een veelgebruikte meststof is, zijn de juridische eisen aan de opslag van ammoniumnitraat hier uitgelicht. In het Besluit risico's zware ongevallen (BRZO) worden eisen gesteld aan het veiligheidsbeleid van bedrijven die werken met gevaarlijke stoffen of die deze in voorraad hebben. Het BRZO is van toepassing op ammoniumnitraat als drempelwaarden worden overschreven. Deze zijn afhankelijk van de zuiverheid en staan in de tabellen van de Seveso-richtlijn III (bijlage I deel II) [50]. Ook voor watervrije ammoniak is de BRZO van toepassing als de drempelwaarden uit deze richtlijn worden overschreden. Dit is dus ook relevant in de productie van acrylonitril.

BRZO bedrijven vallen ook onder het BEVI, het Besluit externe veiligheid inrichtingen. Hierin is geregeld dat de risico's en effecten van een bedrijf, waarin gevaarlijke stoffen aanwezig zijn, moeten voldoen aan veiligheidsnormen en richtwaarde en dat er voldoende afstand is ten opzichte van burgers en kwetsbare objecten. In de publicatiereeks gevaarlijke stoffen (PGS) worden per groep van stoffen veiligheidsmaatregelen uitgewerkt de het bevoegd gezag gebruikt in de vergunningverlening. Voor ammonium nitraat gaat het om PGS7 'Opslag van vaste minerale anorganische meststoffen' [51] en om PGS32 'Explosieven voor civiel gebruik: bovengrondse opslag'. Voor ammoniak is PGS12 'Ammoniak – Opslag en verlading' [52] van toepassing.

8

STIKSTOFTERUGWINNING: TECHNOLOGISCHE VERKENNING

In de voorgaande hoofdstukken is de vraagzijde, de markt, geanalyseerd. De aanbodkant is echter medebepalend voor het succes van een afzetroute van teruggewonnen stikstof. De eisen aan teruggewonnen stikstof uit de markt moeten kunnen aansluiten op wat technologisch mogelijk is (in de terugwinning van stikstof uit rioolwater). In dit verband doet dit hoofdstuk een technologische verkenning de lopende initiatieven op het gebied van stikstofterugwinning uit rioolwater in Europa. Het doel van de verkenning is om in kaart te brengen welke technologieën worden ingezet of ontwikkeld voor stikstofterugwinning, welke stikstofproducten worden teruggewonnen en wat de duurzaamheidsimpact is van deze technologieën. De vraag- en aanbodzijde worden in de strategische aanbevelingen (hoofdstuk 7) gekoppeld.

In het onderzoek zijn vijf typen stikstofterugwinning technologieën geïdentificeerd die het meest naar voren kwamen in de bureaustudie: strippen en scrubben, membraanstippen, bipolaire membraan elektrolyse, en ionenwisseling. Paragraaf 8.1 presenteert een overzicht van de verkende stikstofterugwinningsinitiatieven. Paragraaf 8.2 geeft een samenvatting van de belangrijkste gegevens per technologie weer in fact sheets. In paragraaf 8.3 zijn de technologieën met elkaar vergeleken.

8.1 OVERZICHT VAN STIKSTOFTERUGWINNINGSINITIATIEVEN

Middels een bureaustudie en informatie uitvragen bij leveranciers is een extensieve lijst van lopende stikstofterugwinningsinitiatieven gemaakt in Europa. Alleen initiatieven binnen Europa met TRL¹-niveau van ≥ 5 zijn opgenomen in dit rapport. Deze hebben namelijk de grootste potentie om binnen afzienbare tijd (rond 2025) commercieel ingezet te kunnen worden in Nederland.

Tabel 8.1 geeft een overzicht van de verkende initiatieven samen met relevante informatie daarover. De bevindingen van elk initiatief zijn in detail gepresenteerd in bijlage III in fact sheets (per initiatief). Deze paragraaf is verder opgedeeld in vier subparagrafen per technologie, waarin de verkende initiatieven zijn samengevat in globale fact sheets per technologie. Als onderdeel van de fact sheets is ook de duurzaamheidsimpact (uitgedrukt in GER-waarde en CO₂-uitstoot per kg N_{verwijderd}) gepresenteerd. De methodiek en een meer uitgebreide analyse van de duurzaamheidsbepaling is uiteengezet in bijlage IV.

1 TRL is de Technology Readiness Level. De TRL is een methode om de volwassenheid of schaalbaarheid van technologieën te kwantificeren. 1 is een onvolwassen techniek, 10 is een maximaal volwassen techniek.

FACT SHEETS VAN ELK INITIATIEF

Ten grondslag aan Tabel 8.1 liggen de opgemaakte fact sheets van elke initiatief. Deze zijn te vinden in Bijlage III. In de fact sheets is een korte beschrijving van elke technologie of initiatief te vinden, met daarbij een presentatie van beschikbare gegevens over de input- en outputstromen, het te vormen product, een kostenindicatie en andere belangrijke parameters. De fact sheets zijn meer gedetailleerd dan Tabel 8.1.

GEOGRAFISCHE LIGGING VAN INITIATIEVEN

Aangezien een lijst met Europese initiatieven is geïnventariseerd, is het interessant te zien waar geografisch gezien de meeste initiatieven worden opgezet. Onderstaande afbeelding presenteert de geografische ligging van de initiatieven. De initiatieven zijn gecategoriseerd naar de technologieën.

AFBEELDING 8.1 GEOGRAFISCHE LOCATIE VAN DE VERSCHILLENDE STIKSTOFTERUGWINNING INITIATIEVEN



Uit bovenstaande afbeelding blijkt dat veel initiatieven op basis van strippen en scrubben in Nederland te vinden zijn. Dat betekent dat Nederland een geschikte locatie is voor het bevorderen van de stikstofterugwinning bij waterschappen, omdat hier in vergelijking met de rest van Europa al veel ervaring mee is opgedaan. Dit kan bijdragen aan een goede kennisdeling en samenwerkingsverbanden. De overige initiatieven zijn daarentegen redelijk verspreid over West-Europa.

TABEL 8.1 OVERZICHT VERSCHILLENDE STIKSTOFTERUGWINNING INITIATIEVEN. DE VOLLEDIGE OMSCHRIJVING VAN ELK INITIATIEF KAN GEVONDEN WORDEN IN BIJLAGE III. ALLE STIKSTOFPRODUCTEN ZIJN VLOEIBAAR TENZIJ ANDERS VERMELD

Initiatiefnemer	Jaar	Locatie	Technologie	TRL	Schaalgrootte	Input	Stikstofproduct
AMFER® door Colsen	heden	Nederland	strippen en scrubben	8	commercieel	centraat uit slib of digestaat	$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ (52 %), NH_4NO_3 (35 %)
GMB BioEnergie	2001 - heden	Nederland	scrubben	8	commercieel	lucht van gedroogd slib	$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ (35 - 40 %)
Detricon	heden	België	strippen en scrubben	7	demonstratie	centraat uit slib of digestaat	NH_4NO_3 (52 %)
Dünger aus abwasser	2011 - heden	Zwitserland	strippen en scrubben	8	commercieel	centraat uit slib	$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ (40 %)
Nijhuis AECO-NAR	2016 - heden	Engeland	strippen en scrubben	9	commercieel	centraat uit slib of digestaat	$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ (35 - 38 %)
Nijhuis NoChemNAR	2020 - heden	Nederland	strippen en scrubben	6	pilotschaal	centraat uit slib	$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ (25 %), NH_4OH (20 %)
Yara en VEAS	2017 - heden	Noorwegen	strippen en scrubben	9	commercieel	centraat uit slib	NH_4NO_3 (54 %)
SaniPhos®	2010 - 2017	Nederland	strippen en scrubben	7	demonstratie	urine	$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$
Circular Values BV	heden	Nederland	strippen en scrubben	9	commercieel	centraat uit slib of digestaat	$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, NH_4NO_3
Powerstep door Eawag	2015 - heden	Zwitserland	membraanstrippen	8	commercieel	centraat uit slib	$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ (24,8 %)
SUEZ Process	heden	n.b.	membraanstrippen	7	demonstratie	centraat uit slib of digestaat	$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$
N_2 Wh door TU Delft	2016 - heden	Nederland	bipolaire membraan elektrolyse	5	labschaal	centraat uit slib	NH_4OH
LIFE-NEWBIES	heden	Spanje	bipolaire membraan elektrolyse	6	pilotschaal	centraat uit slib	$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ (15 - 20 %)
SVB Sluisjesdijk	2019	Nederland	ionenwisseling	5	labschaal	centraat uit slib	$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$
LIFE-ENRICH	2017 - 2021	Spanje	ionenwisseling	6	pilotschaal	centraat uit slib	$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, NH_4NO_3
LIFE-NECOVERY	2013 - 2017	Spanje	ionenwisseling	6	pilotschaal	voorbehandeld rioolwater	NH_4OH (1 - 2 gr N/L bij pH > 12)
Waterfabriek Wilp	2019 - 2020	Nederland	ionenwisseling	6	pilotschaal	voorbehandeld rioolwater	$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ (1 - 10 g N/L)

8.2 BESCHRIJVING STIKSTOFTERUGWINNINGSTECHNIEKEN

De volgende subparagrafen (8.2.1 tot en met 8.2.4) beschrijven elk de belangrijkste gegevens van de vier stikstofterugwintentechnologieën die in aanmerking zijn gekomen voor dit onderzoek.

8.2.1 STRIPPEN EN SCRUBBEN

TABEL 8.2 FACT SHEET VAN DE STRIPPEN EN SCRUBBEN TECHNOLOGIE

STRIPPEN EN/OF SCRUBBEN			
Aantal initiatieven	9	Locatie	Meerdere plekken in Europa
Jaar	2001 - heden	TRL	7-9
Omschrijving	<p>Strippen en scrubben kan worden toegepast op ammoniumrijke vloeibare stromen (bv. centraat, vloeibare mest of urine) om ammoniumzouten te produceren. In het proces wordt allereerst een base (meestal natronloog) toegevoegd aan de ammoniumrijke ingaande stroom om de pH te verhogen. Tevens wordt doorgaans de temperatuur verhoogd. Door de hoge pH en temperatuur verschuift het evenwicht van ammonium (NH_4^+) naar ammoniak (NH_3). In de tweede stap wordt de ammoniak (NH_3) gestript uit de ingaande stroom met lucht afkomstig van de scrubber. De ammoniakrijke luchtstroom wordt daarna gescrubd met een zuur om een ammoniumzout te vormen. In de meeste gevallen wordt zwavelzuur als scrubzuur gebruikt, maar salpeterzuur is ook mogelijk. De ammoniakvrije lucht afkomstig uit de scrubber wordt vervolgens teruggelid naar de stripper om weer ammoniak uit de ingaande stroom te strippen.</p> <p>Naast een ammoniumzout kan ook ammonia (ammoniak in water) worden teruggewonnen. Deze technologie is momenteel in ontwikkeling (zie fact sheet 2.6 in bijlage III). Nog een ander alternatief is ammoniumsulfaat terugwinnen uit proceslucht afkomstig van compost (zie fact sheet 2.2 in bijlage III). Hierin wordt de ingaande proceslucht gescrubd met een zuur om ammoniumsulfaat te vormen. Er is dan dus geen stripkolom aanwezig.</p>		
Processchema	<p>AFBEELDING 8.2 PROCESSTROOMSCHEMA VAN DE NIJHUIS AECO-NAR ALS VOORBEELD [53]</p>		
Inputstroom	digestaat, centraat, vloeibare mest, urine en lucht afkomstig van compost	Type ingaande stroom	750 - 4.000 mg $\text{NH}_4\text{-N/L}$
Kosten	TCO: -0,02 tot 7 EUR/kg N. De kosten zijn sterk afhankelijk van de ingaande stikstofconcentratie en de baten (verkoop stikstof)	Stikstofproduct gevormd	$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$: 25-52 % (5,3-10,9 % N), NH_4NO_3 : 35-54 % (11,7-18,1 % N), Ammonia: > 20 % (>16,4 % N)
Elektrische energie	0,87 - 7,97 kWh/kg $\text{N}_{\text{verwijderd}}$	Thermische energie	0,29 - 10 kWh/kg $\text{N}_{\text{verwijderd}}$
Totale energie	1 - 9,3 kWh/kg $\text{N}_{\text{verwijderd}}$		
Terugwinrendement	50 - 90 %	Chemicaliën gebruikt	NaOH, H_2SO_4 of HNO_3
GER-waarde grijs	77 - 110 MJ/kg $\text{N}_{\text{verwijderd}}$	CO_2 -uitstoot grijs	3,4 - 4,9 kg CO_2 eq /kg N
GER-waarde groen	43 - 61 MJ/kg $\text{N}_{\text{verwijderd}}$	CO_2 -uitstoot groen	1,0 - 4,3 kg CO_2 eq /kg N

8.2.2 MEMBRAANSTRIPPEN

TABEL 8.3 FACT SHEET VAN DE MEMBRAANSTRIPPEN TECHNOLOGIE

MEMBRAANSTRIPPEN			
Aantal initiatieven	2	Locatie	o.a. Zwitserland
Technologie	membraanstrippen	TRL	7 - 8 (demonstratie installatie)
Jaar	2015-heden		
Omschrijving	<p>Membraanstrippen lijkt grotendeels op strippen en scrubben, omdat in dit proces ook een base wordt toegevoegd aan een ingaande ammoniumrijke stroom en de temperatuur van de ingaande stroom wordt verhoogd met behulp van een warmtewisselaar. Hierdoor verschuift wederom het evenwicht van ammonium (NH_4^+) naar ammoniak (NH_3). Vervolgens wordt dit langs een gas-permeabel membraan geleid, waar het gasvormige ammoniak doorheen kan diffunderen. Aan de achterzijde van het membraan wordt een zuur of een vacuüm gebruikt als drijvende kracht. In het geval van een zuur wordt een ammoniumzout gevormd. Wanneer een vacuüm gebruikt wordt, ontstaat ammonia (ammoniak in water) als product.</p>		
Processchema	<p>AFBEELDING 8.3 VOORBEELD VAN EEN MEMBRAANSTRIP-UNIT WAARBIJ NH_3 DOOR HET MEMBRAAN HEEN DIFFUNDEERT EN AMMONIUMSULFAAT WORDT GEPRODUCEERD</p>		
Inputstroom	vloeibare fractie van mestdigestaat of centraat	Stikstofconcentratie ingaande stroom	ca. 750 mg $\text{NH}_4\text{-N/L}$
Kosten	TCO (incl. baten): €3,39 / kg N (bij 750 mg $\text{NH}_4\text{-N/L}$ ingaande stroom)	Stikstofproduct gevormd	vloeibaar $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, NH_4OH
Elektrische energie	2,55 kWh/kg $\text{N}_{\text{verwijderd}}$	Thermische energie	8,6 ² kWh/kg $\text{N}_{\text{verwijderd}}$
Totale energie	11,2 kWh/kg $\text{N}_{\text{verwijderd}}$		
Terugwinrendement	83 %	Chemicaliën gebruikt	NaOH, H_2SO_4 , citroenzuur
GER-waarde grijs	185 MJ/kg $\text{N}_{\text{verwijderd}}$	CO_2 -uitstoot grijs	8,9 CO_2 eq /kg N
GER-waarde groen	135 MJ/kg $\text{N}_{\text{verwijderd}}$	CO_2 -uitstoot groen	8,4 CO_2 eq /kg N

2 Met terugwinning van warmte met een warmtewisselaar. Anders is thermische energie 36 kWh/kg $\text{N}_{\text{verwijderd}}$

8.2.3 BIPOLAIRE MEMBRAAN ELEKTRODIALYSE

TABEL 8.4 FACT SHEET VAN DE BIPOLAIRE MEMBRAANELEKTRODIALYSE TECHNOLOGIE

BIPOLAIRE MEMBRAANELEKTRODIALYSE			
Aantal initiatieven	3	Locatie	Nederland en Spanje
Jaar	2016-heden	TRL	5 - 7 (pilot)
Omschrijving	<p>In dit proces wordt eerst de ingaande ammoniumrijke stroom opgewerkt met behulp van bipolaire membraan elektrolyse. Bipolaire membraan elektrolyse scheidt waterstromen in een zuur, base en zoutwater compartiment. Het aanwezige ammonium gaat door het opgelegde elektrische potentiaalverschil door een kation uitwisselingsmembraan naar een basische circulatieoplossing, waardoor de pH relatief hoog is.</p> <p>Hierdoor zullen de ammoniumionen (NH_4^+) weer worden omgezet in ammoniak (NH_3), wat vervolgens met membraanstrippen behandeld wordt om een ammoniumzout of ammonia te vormen. Het membraanstrippen volgt dus op de behandeling met bipolaire elektrolyse.</p>		
Processchema	<p>AFBEELDING 8.4 PROCESSTROOMSCHEMA VAN HET 'LIFE-NEWBIES' PROJECT ALS VOORBEELD [54]</p>		
Inputstroom	centraat, reststromen met een hoog NH_4^+ gehalte	Stikstofconcentratie ingaande stroom	$\sim 1.000 \text{ mg NH}_4\text{-N/L}$
Kosten	n.b.	Stikstofproduct gevormd	$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$: 15-20 % (3,2-4,2 % N) NH_4OH : 10 - 12 % allebei vloeibaar
Elektrische energie	2,75 - 5,3 kWh/kg $\text{N}_{\text{verwijderd}}$	Thermische energie	geen
Terugwinrendement	60 - 90 %	Chemicaliën gebruikt	H_2SO_4 bij strippen met zuur, bij vacuüm membraanstrippen geen chemicaliënverbruik
GER-waarde grijs	44 - 52 MJ/kg $\text{N}_{\text{verwijderd}}$	CO_2 -uitstoot grijs	2,09 - 3,4 kg $\text{CO}_2 \text{ eq /kg N}$
GER-waarde groen	28 - 32 MJ/kg $\text{N}_{\text{verwijderd}}$	CO_2 -uitstoot groen	0,51 - 0,59 kg $\text{CO}_2 \text{ eq /kg N}$
Opmerkingen	De inzet van reinigingschemicaliën op de elektrolyse membranen is niet zijn meegenomen in de duurzaamheidsimpactbepaling. Bij behandeling van centraat is vermoedelijk een periodieke reiniging van de membranen nodig. Hier zijn echter nog geen pilot- of praktijkgegevens van beschikbaar (want: labschaal).		

8.2.4 IONENWISSELING

TABEL 8.5 FACT SHEET VAN DE IONENWISSELING TECHNOLOGIE

IONENWISSELING			
Aantal initiatieven	4	Locatie	Nederland, Spanje, België
Jaar	2017 - heden	TRL	5 - 7
Omschrijving	<p>Bij technieken gebaseerd op ionenwisseling wordt de ammoniumrijke stroom door een ionenwisselaar geleid. In de ionenwisselaar zijn positief geladen ionen (zoals H⁺) gebonden aan het hars, die uitgewisseld kunnen worden met ammoniumionen (NH₄⁺) in de ingaande stroom. Op het moment dat het hars verzadigd is met ammoniumionen (NH₄⁺), wordt het hars geregenereerd met een regeneratiezuur. De aanwezige H⁺ ionen in het regeneratiezuur zullen de ammoniumionen (NH₄⁺) die opgenomen zijn door de ionenwisselaar vervangen. De ammoniumionen (NH₄⁺) zullen mee stromen met het zuur, waardoor er een zure ammoniumrijke productstroom ontstaat.</p> <p>De ionenwisseling is op zowel voorbehandeld influent (in een chemisch-fysische zuivering) toegepast als op centraat van rwzi's. Naast kunststof harsen is ook zeoliet onderzocht als 'hars' voor ionenwisseling. Zeoliet heeft een hogere affiniteit voor stikstof.</p>		
Afbeelding	<p>AFBEELDING 8.5 SCHEMATISCHE WEERGAVE VAN MEESTROOMS IX-OPSTELLING. NA⁺ KAN HIER VERVERGEN WORDEN DOOR NH₄⁺ (VOOR STIKSTOFTERUGWINNING)</p>		
Inputstroom	voorbehandeld rioolwater of centraat	Stikstofconcentratie ingaande stroom	rioolwater: 50 mg NH ₄ -N/L, centraat: 1.400 mg NH ₄ -N/L
Kosten	n.b.	Stikstofproduct gevormd	(NH ₄) ₂ SO ₄ : ca. 1 %
Elektrische energie	0,33-0,38 kWh/kg N _{verwijderd}	Thermische energie	geen
Terugwinrendement	90 - 98 %	Chemicaliën gebruikt	H ₂ SO ₄ of HNO ₃ , en afhankelijk van casus: HCl, FeCl ₃
GER-waarde grijs	47 - 79 kg CO ₂ eq /kg N	CO ₂ -uitstoot grijs	1,2 - 1,7 kg CO ₂ eq /kg N
GER-waarde groen	46 - 77 kg CO ₂ eq /kg N	CO ₂ -uitstoot groen	1,0 - 1,5 kg CO ₂ eq /kg N
Opmerkingen	Het energieverbruik per kg N _{verwijderd} is sterk afhankelijk van de ingaande stikstofconcentratie. Het energieverbruik is namelijk hydraulisch gedimensioneerd.		

8.3 VERGELIJKING VAN TECHNOLOGIEËN

De vier verschillende technologieën kunnen op hoofdlijnen met elkaar vergeleken worden. Belangrijke onderscheidende factoren tussen de technologieën zijn: de ingaande stroom, het gevormde stikstofproduct, de Technology Readiness Level (TRL), de kostenindicatie, de duurzaamheidsimpact en de geografische ligging. Deze factoren zijn hieronder achtereenvolgens per paragraaf toegelicht.

EEN MOMENTOPNAME

De analyse van de technologieën in dit rapport zijn een momentopname anno 2020. De technologieën zijn continue in ontwikkeling, waardoor gegeven waardes in dit rapport na 2020 gedateerd kunnen raken.

8.3.1 DE INGAANDE, AMMONIUMRIJKE STROOM

De technologieën van de verschillende initiatieven hebben verschillende ingaande stromen naar het proces. Alle technologieën kunnen stikstof uit centraat terugwinnen of hebben de mogelijkheid daartoe. Veel initiatieven die centraat verwerken kunnen ook de vloeibare fractie van mest verwerken. Dit bevestigt dat centraat een interessante waterstroom is om stikstof uit terug te winnen.

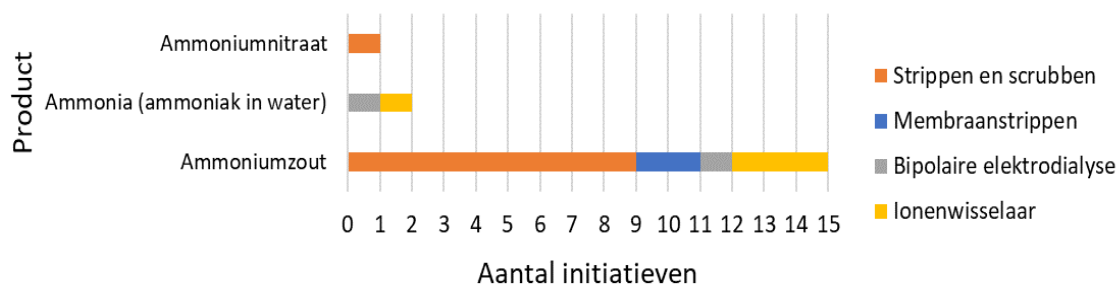
Twee initiatieven gebruiken voorbehandeld rioolwater als ingaande stroom. Een voorbeeld van zo een initiatief is Waterfabriek Wilp, waarin de zuivering gebaseerd is op fysisch chemische scheiding in plaats van het actief slibproces. Het voorbehandelde rioolwater is in dit geval water wat ontdaan is van alle verontreinigingen, op ammonium na. Doordat het voorbehandelde rioolwater nog nagenoeg de volledige vracht aan stikstof bevat, wordt dat ook een interessante stroom om stikstof uit terug te winnen. Vooralsnog is ionenwisseling de enige techniek die stikstof terugwint uit voorbehandeld rioolwater.

Overige opmerkelijke initiatieven zijn die van Saniphos® en GMB BioEnergie. Die winnen stikstof terug uit respectievelijk urine en lucht afkomstig van compost met behulp van strippen en scrubben.

8.3.2 GEVORMDE STIKSTOFPRODUCTEN

De verschillende initiatieven winnen ook verschillende producten terug. Dit is een belangrijk kenmerk van de technologie om de haalbaarheid voor de stikstofterugwinroute te bepalen. Onderstaande afbeelding geeft weer welke producten er teruggewonnen worden per technologie.

AFBEELDING 8.6 STIKSTOFPRODUCTEN DIE TERUGGEWONNEN WORDEN PER INITIATIEF



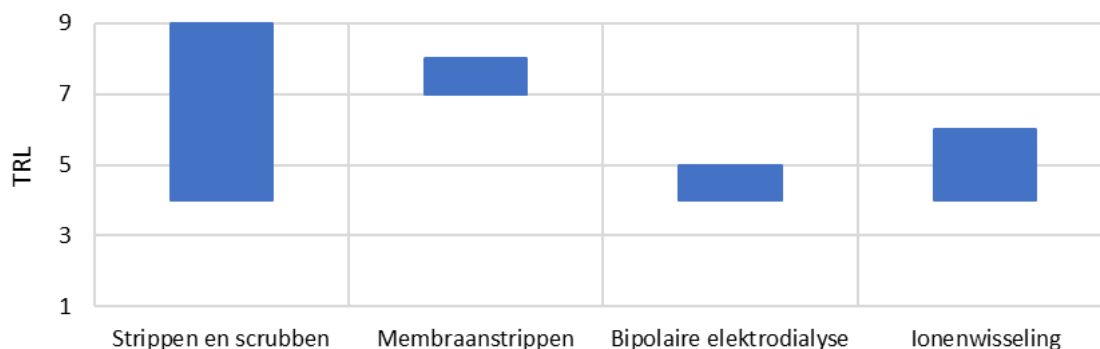
Het overgrote deel van de initiatieven wint een ammoniumzout terug. Van de initiatieven die ammoniumzout produceren, produceert 22 % ammoniumnitraat, 72 % ammoniumsulfaat en 6 % onbekend (maar wel één van de twee). De gevormde ammoniumsulfaat is vloeibaar en kent een concentratie die varieert tussen de 15 % tot 52 % (3,2 % tot 10,9 % N). Teruggewonnen ammoniumnitraat is ook vloeibaar en heeft een variërende concentratie tussen de 35 % en 52 % (11,7 % - 17,4 % N). Wat belangrijk is om hierbij op te merken is dat de terugwinning van ammoniumsulfaat of ammoniumnitraat afhankelijk van het gebruikte zuur, namelijk zwavelzuur of salpeterzuur. Voor veel technieken is het dus mogelijk om ammoniumsulfaat of ammoniumnitraat terug te winnen afhankelijk van het gebruikte zuur.

Verder winnen twee initiatieven ammonia (ammoniak in water) terug door middel van bipolaire membraanelektrodialyse of ionenwisseling.

8.3.3 DE TECHNOLOGY READINESS LEVEL

Het bereik van de TRL van de verschillende technologieën is weergegeven in onderstaande afbeelding. De TRL is ingeschat op basis van de schaalgrootte van de verkende initiatieven (Bijlage III).

AFBEELDING 8.7 OVERZICHT VAN HET BEREIK VAN TRL VAN ELKE TECHNOLOGIE. GEBASEERD OP INVENTARISATIE INITIATIEVEN



Strippen en scrubben is de meest doorontwikkelde technologie: hiervan worden installaties al commercieel en wereldwijd ingezet. Dat is terug te zien in een TRL van 9. De ondergrens van de TRL, 4, is gebaseerd op de nieuw ontwikkelde strip & scrubtechniek waarbij chemicaliën worden teruggewonnen en hergebruikt in het proces. Andere technologieën met een hoge TRL is membraan strippen.

Bipolaire membraanelektrodialyse en ionenwisseling zijn beide technieken met een lagere TRL (4 - 6) in deze toepassing. Bipolaire membraanelektrodialyse en ionenwisseling zijn in andere toepassingen al wel verder ontwikkeld tot commercieel inzetbare technieken (respectievelijk voedselproductie en demiwaterproductie). Voor toepassing op stikstofterugwinning zijn beide technieken tot op respectievelijk lab- en pilotschaal getest. De prestatie op praktijk-schaal is dus nog onbekend.

NIEUWE PRODUCTONTWIKKELING BIPOLAIRE ELEKTRODIALYSE

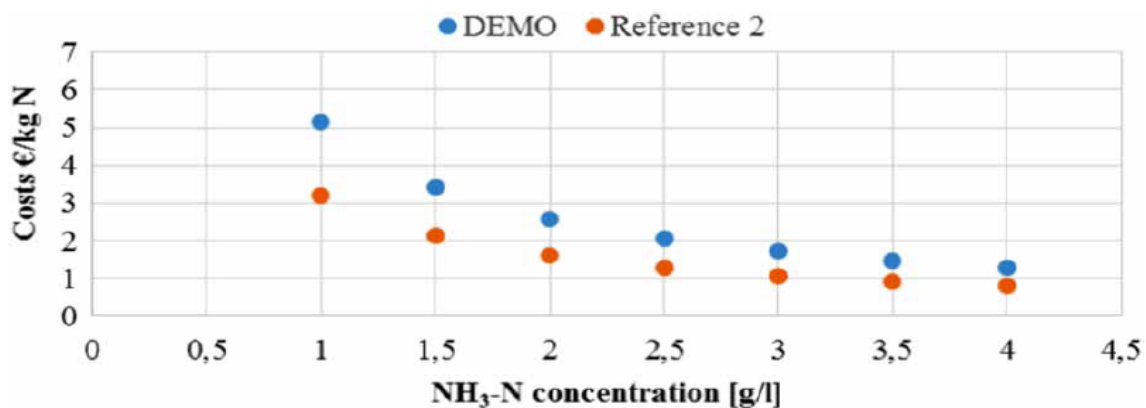
De TU Delft spin-off MEZT heeft in de zomer van 2020 een succesvol Proof of Concept (TRL 4-5) traject uitgevoerd voor bipolaire elektrolyse voor stikstofterugwinning met de TUD, WUR en technologiepartner Lenntech. In het proof of concept is 50 tot 90 % van stikstof totaal uit verschillende typen dierlijk mest verwijderd. Hierbij zijn geen chemicaliën gebruikt en is geen scaling of fouling geconstateerd (volgens leverancier). Op basis van dit onderzoek resultaten legt MEZT momenteel samen met Lenntech de laatste hand aan een prototype van 300 liter/uur voor de veehouderij, dat in Q2 en Q3 2021 in praktijk wordt getest. In het najaar van 2021 zal dit prototype ook ingezet worden, als onderdeel van een EU Interreg project, met rwzi Apeldoorn voor behandeling van rejectiewater voor de terugwinning van stikstof uit centraat.

8.3.4 KOSTEN VAN STIKSTOFTERUGWINNING

Over het algemeen hebben niet veel initiatieven hun kosten publiekelijk beschikbaar gesteld. Van strippen en scrubben, waarvan de meeste initiatieven zijn opgezet, is de meeste informatie beschikbaar. De kosten van strippen en scrubben, inclusief de baten, bedragen circa 0 tot 7 EUR/ kg $N_{\text{verwijderd}}$ afhankelijk van de ingaande stikstofconcentratie. De kosteninschatting uit STOWA 2012-51 valt binnen deze range. In het meest ideale geval kan strippen en scrubben, inclusief de verkoop van het teruggewonnen stikstofproduct, concurreren met het Anammox proces (ca. 0,8 EUR/kg N volgens STOWA 2012-51).

De kosten van strippen en scrubben sterk afhankelijk van de ingaande concentratie ammonium. Een voorbeeld hiervan is de Nijhuis AECO-NAR technologie, waarbij de Total Cost of Ownership (TCO) bij een ingaande stroom van 1.000 mg NH_4^+N/L ongeveer 5,2 EUR/kg N bedraagt, terwijl dat bij een ingaande stroom van 4.000 mg NH_4^+N/L slechts 1,2 EUR/kg N is. De relatie van de kosteneffectiviteit met de ingaande stikstofconcentratie is afgebeeld in de kostengrafiek van Nijhuis Industries (onderstaande afbeelding).

AFBEELDING 8.8 KOSTENGRAFIEK VAN DE AECO-NAR TECHNIEK VAN NIJHUIS INDUSTRIES. OVERGENOMEN UIT [53]



In de kostenbeschouwing in dit rapport is de impact van subsidiëring - via bijvoorbeeld DEI+³ van de rijksoverheid - niet meegenomen. De kostprijs van technologieën kan mogelijk gedrukt worden met subsidies, wat ten gunste komt van de business case. Pilots of andere innovatieproject op het gebied van afvalhergebruik of de productie van biobased grondstoffen komen in aanmerking voor DEI+. De maximale subsidie voor één project is 3 miljoen euro. Daarnaast bespaart stikstofterugwinning in de deelstroom, beluchttingsenergie in de waterlijn van de rwzi. Deze besparing is niet berekend in dit rapport, maar dient mee genomen te worden in de business case berekening voor stikstofterugwinning uit centraat.

3 <https://www.rvo.nl/subsidie-en-financieringswijzer/demonstratie-energie-en-klimaatinnovatie-dei/circulaire-economie>

8.3.5 DE DUURZAAMHEIDSIMPACT

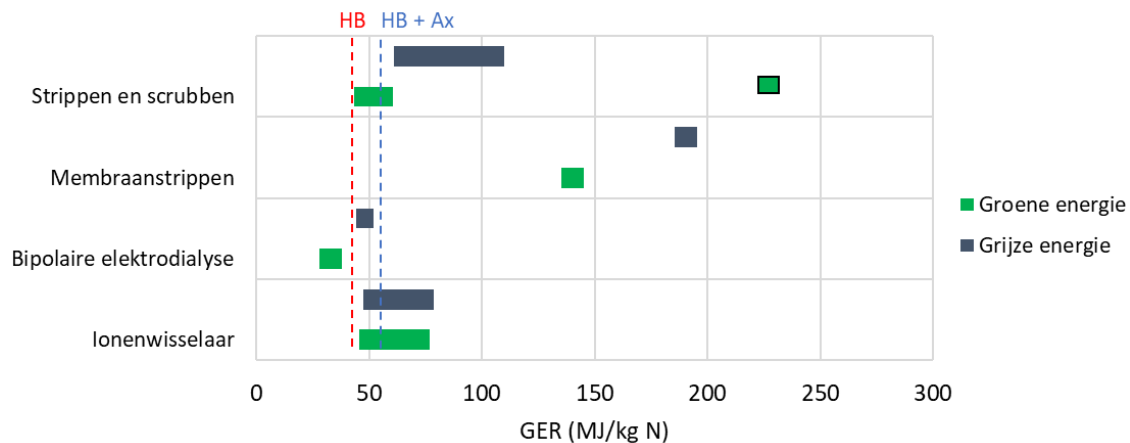
Het uiteindelijke doel van stikstofterugwinning is tweeledig: de transitie naar een klimaatneutraal én circulair waterschap. In dit verband is het belangrijk de duurzaamheidsimpact, uitgedrukt in de GER-waarde en CO₂-uitstoot, te bepalen van de stikstofterugwintertechnologieën. Zodoende kunnen deze worden vergeleken met het huidige alternatief, het Haber-Bosch proces en Anammox voor deelstroombehandeling. Afbeelding 8.9 en 8.10 geven een vergelijking weer van de duurzaamheidsimpact per technologie (respectievelijk de GER-waarde en CO₂-voetafdruk). Omdat voor de meeste technologieën de duurzaamheidsimpact voor meerdere casussen is berekend, is een range aangegeven. Deze range geeft het bereik aan waarbinnen de duurzaamheidsimpact van een casus met grote waarschijnlijkheid zal vallen.

In beide afbeeldingen is met stippellijnen de duurzaamheidsimpact van het conventionele Haber-Bosch proces (HB) en HB plus Anammox (HB + Ax) aangegeven ter vergelijking. Deze waarden zijn overgenomen uit STOWA 2012-51. Hierbij moet worden opgemerkt dat de CO₂-voetafdruk van het HB proces is bepaald op basis van het huidige, conventionele HB proces met aardgas. Er zijn 'groene' varianten van het HB proces beschikbaar (bijvoorbeeld elektrolytisch). Mogelijk wordt in de toekomst meer groene HB toegepast, waardoor de CO₂-voetafdruk daalt. De CO₂-uitstoot van Anammox is aangevuld met de CO₂-impact van lachgasemissies. Eventueel chemicaliënverbruik voor bestrijding legionella in deelstroomreactoren is niet meegenomen in de voetafdruk.

LACHGASEMISSIE UIT HET ANAMMOX PROCES

Het Anammox proces stoot lachgas uit, wat CO₂ emissies tot gevolg heeft. Lachgas is een zeer krachtig broeikasgas, namelijk 265 keer krachtiger dan CO₂ (IPCC 2019). De totale, gemiddelde lachgasemissie uit een typisch Anammox proces is ongeveer 0,023 kg N₂O/kg N (STOWA 2013-39). Dit betekent dus dat de CO₂-impact gelijk is aan 6,1 kg CO₂/kg N.

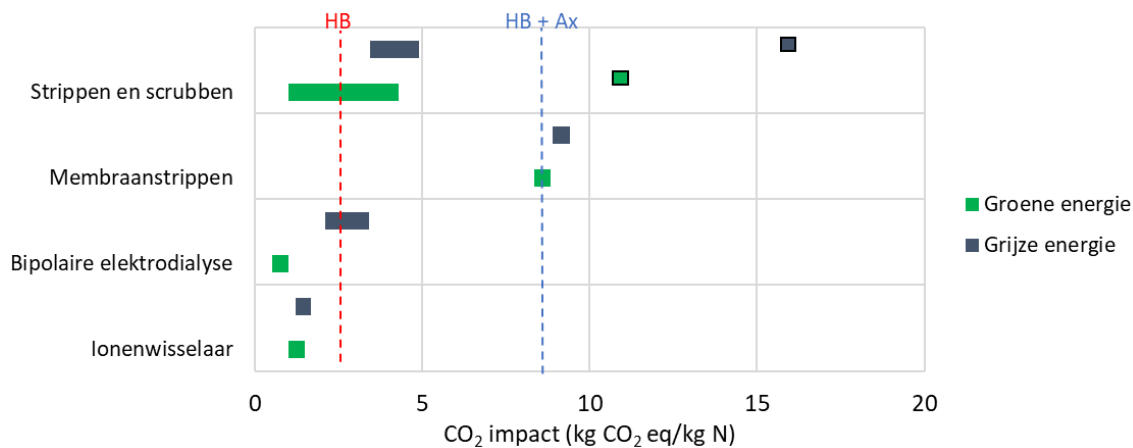
AFBEELDING 8.9 VERGELIJKING VAN GER-WAARDE PER KG N_{VERWIJDERD} PER TECHNOLOGIE. ZWART OMLIJNDE PUNTEN ZIJN OUTLIERS AFKOMSTIG VAN STRIP EN SCRUBPROCES OP KAMERTEMPERatuur. OVERIGE STRIP EN SCRUBPROCESSEN ZIJN OP HOGE TEMPERatuur.



Uit de vergelijking blijkt dat een aantal technologieën kunnen concurreren met het Haber-Bosch en Anammox proces wat betreft de GER-waarde. Met name de technologie met een laag chemicaliënverbruik scoren goed: bipolaire membraanelektrodialyse. Ook de duurzaamheidsimpact van strippen en scrubben is verbeterd ten opzichte van STOWA 2012-51, waarin een bereik van 97 tot 156 MJ/kg N is aangegeven. Tegenwoordig zijn er strippen en scrubben casussen die een GER van ongeveer 40 tot 60 MJ/kg N behalen, afhankelijk van de energiemix (groen) en de terugwinning van chemicaliën. Dat is in dezelfde range als het Haber-Bosch plus Anammox proces, met een GER-waarde van 50 tot 58 MJ/kg N.

De variëteit van duurzaamheidsimpact van stippen en scrubben is wel het grootst van alle technologieën. Dat komt doordat het chemicaliënverbruik afhankelijk is van watertemperatuur (en dus thermische energie). De casussen worden op verschillende temperaturen bedreven, waardoor het chemieverbruik uiteenloopt. Dit is goed zichtbaar aan de outlier (> 250 MJ/kg N), waarbij wordt gestript en gescrubd op kamertemperatuur. Het natronloogverbruik in deze casus is relatief heel hoog. Deze casus is als voorbeeld overgenomen uit STOWA 2012-51, en is daarom niet opgenomen in de fact sheets (bijlage III).

AFBEELDING 8.10 VERGELIJKING VAN CO₂-UITSTOOT PER KG N_{VERWIJDERD} PER TECHNOLOGIE. ZWART OMLIJNDE PUNTEN ZIJN OUTLIERS AFKOMSTIG VAN STRIP EN



De CO₂-uitstoot van de meeste technologieën, behalve membraanstrippen, is aanzienlijk lager dan het conventionele alternatief: Haber-Bosch plus Anammox. Dat komt door de lachgasemissie van Anammox, wat een krachtig broeikasgas is. Het vervangen van een Anammox reactor met een stikstofterugwin technologie heeft in het algemeen een verlaging van de CO₂-emissies tot gevolg. Uiteraard heeft de inzet van groene energie een positief effect op de duurzaamheidsimpact. Met name technologieën met een (relatief) groot energiegebruik kunnen hun CO₂-impact hiermee verlagen.

Een belangrijke kanttekening bij de vergelijking van duurzaamheidsimpact van de technologieën en het conventionele stikstofproductieproces, is dat ook verschillende stikstofproducten worden geproduceerd. De CO₂-impact van HB is hoger dan dat van groene bipolaire membraanelektrolyse, maar het gevormde product door HB (ammoniakgas) is ook meer zuiver dan van bipolaire elektrolyse (ammonia 10 % - 20 %).

STRIPPEN EN SCRUBBEN MET CHEMICALIËNTERUGWINNING

Op het moment wordt door Nijhuis Industries de strip en scrub technologie doorontwikkeld. De NoChemNAR gebruikt een conventioneel strip en scrub proces om stikstof terug te winnen uit centraat. Daarbovenop worden de gebruikte chemicaliën teruggewonnen door een extra behandelingsstap. Omdat de technologie zich nog in de ontwikkelfase bevindt, zijn nog niet veel praktijkgegevens bekend. Nijhuis Industries heeft ingeschat dat circa 90 % van de chemicaliën kan worden teruggewonnen en hergebruikt, tegen een extra elektrisch energieverbruik van circa 7 kWh/kg N_{verwijderd}. De hergebruik van chemie geeft een 20 % tot 30 % reductie op de GER-waarde ten opzichte van het conventionele strippen en scrubben. Bovendien worden veel kosten bespaard, wat de productie van stikstof goedkoper maakt ten opzichte van conventioneel strippen en scrubben.

9

STRATEGISCHE AANBEVELINGEN

De transitie naar een circulaire economie vraagt onder andere om een nieuwe benadering van grondstoffengebruik en een herwaardering van reststromen. ‘Waterschappen circulair in 2050’ is een heldere stip aan de horizon, maar er zijn meerdere wegen te bewandelen om daar te komen. Op basis van de markt-, juridische en technologische analyse van stikstofterugwinroutes in dit rapport, beschrijft dit hoofdstuk strategische aanbevelingen voor succesvolle stikstofterugwinning door de waterschappen op weg naar de circulaire doelen van 2050. Stikstofterugwinning uit rioolwater is een maatregel die waterschappen helpt om circulair te worden én emissie van broeikasgassen te reduceren.

Paragraaf 9.1 presenteert de randvoorwaarden voor stikstofterugwinning uit rioolwater. Deze voorwaarden zijn gebaseerd op de bevindingen uit de brede marktanalyse. Daarna schetst paragraaf 9.2 een mogelijke tijdlijn voor stikstofterugwinning voor waterschappen. De tijdlijn presenteert wanneer de waterschappen welke stappen zouden moeten nemen om in 2050 nagenoeg al het stikstof terug te winnen. Ook presenteert deze paragraaf drie kansrijke ontwikkelpaden voor stikstofterugwinning uit rioolwater, die op basis van de bevindingen uit het voorliggend onderzoek zijn geselecteerd. Het hoofdstuk sluit af met een slotbeschouwing van stikstofterugwinning uit rioolwater.

9.1 RANDVOORWAARDEN VOOR SUCCESVOLLE STIKSTOFTERUGWINNING

In de marktanalyse en technologieverkenning zijn de voorwaarden voor een succesvolle afzet van teruggewonnen stikstof uit rioolwater onderzocht (onderstaande tabel). De randvoorwaarden zijn zowel vanuit het perspectief van de markt als vanuit de waterschappen bekeken. Elke markt is getoetst op zes aspecten:

- de toepasbaarheid van huidige technologie (voor productie van relevante stikstofproducten);
- de kwaliteitseisen aan het stikstofproduct;
- de marktprijs van het stikstofproduct;
- de ambitie voor stikstofterugwinning;
- het juridische kader;
- impact op circulariteit.

Onder de tabel wordt voor elk criterium een vergelijking van de sectoren toegelicht. Hierin worden aanbevelingen gedaan om aan die randvoorwaarden te (kunnen gaan) voldoen.

TABEL 9.1 SAMENVATTING RANDVOORWAARDEN VOOR SUCCESVOLLE STIKSTOFTERUGWINNING PER MARKT

	Kunstmest	Milieutechniek (nutriëntenmengsel)	Energie	Reststromen (rookgasreiniging)
inzetbaarheid van huidige techniek	strippen en scrubben produceert ammoniumzouten. Reeds commercieel toegepast in de sector. Ureum kan nog niet met voorhanden technologieën worden geproduceerd	bipolaire elektrolyse en scrubben met terugwinning van zwavelzuur kunnen ammonia produceren. Ureum kan nog niet met voorhanden technologieën worden geproduceerd	bipolaire elektrolyse en de nieuwe scrubben met terugwinning van zwavelzuur kunnen ammonia produceren	bipolaire elektrolyse en de nieuwe scrubben met terugwinning van zwavelzuur kunnen ammonia produceren. Ureum kan nog niet met voorhanden technologieën worden geproduceerd
kwaliteitseisen stikstofproduct	pH neutraal, reukvrij, constante kwaliteit, geen verontreinigingen, bij voorkeur vaste vorm, maximaal stikstofpercentage	minimale verontreinigingen, maximaal stikstofpercentage, constante kwaliteit	geen verontreinigingen, bij voorkeur gasvormig (of ammonia met hoge concentratie N)	constante kwaliteit, 24,5 % stikstofpercentage van ammonia
marktprijs (groene) stikstofproducten	hetzelfde als conventionele stikstofproducten; enkele zijn bereid enigszins meer te betalen voor groene stikstofproducten.	hetzelfde als conventionele stikstofproducten	hetzelfde als conventionele stikstofproducten	hetzelfde als conventionele stikstofproducten
ambitie stikstofterugwinning	geen ambitie voor de inzet van circulaire stikstof. Wel grote ambitie voor duurzame landbouw, met focus op CO ₂ -impactreductie en precisielandbouw (voorkoming N emissies aan omgeving)	ambitie aanwezig om nutriëntenmengsels volledig circulair te maken (zoals struviet)	ambitie aanwezig om groene energie te produceren, geen concrete ambitie om stikstof uit rioolwater in te zetten. Staan wel open voor mogelijkheden	geen ambitie om circulaire stikstof in te zetten. Wel bereid circulair stikstof af te nemen, mits product voldoet aan eisen
juridisch kader	uitzonderingspositie voor de inzet van circulaire stikstof uit rioolwater als meststof, via opname in Bijlage Aa. Anders via reguliere route: einde-afvalstatus & REACH-verordening	indien product geen einde-afvalstatus heeft, moeten afnemers (circulaire) nutriëntenmengsels een Eural-code aanvragen voor inname afvalproduct	einde-afvalstatus & REACH-verordening nodig	Eural-code nodig voor inname afvalproduct
impact op circulariteit	recycle: terugwinning stikstof als chemicalie	recycle: terugwinning stikstof als chemicalie	energie: teruggewonnen stikstof als energiedrager	recycle: terugwinning stikstof als chemicalie

INZETBAARHEID HUIDIGE TECHNIEK

In de landbouwsector wordt al succesvol teruggewonnen stikstof ingezet, in de vorm van ammoniumsulfaat. De TRL van technieken die teruggewonnen stikstofproducten in de landbouw kunnen afzetten - strippen en scrubben - is dan ook het hoogst. Met de komst van bipolaire elektrolyse en ook de nieuwe ontwikkelde strip- en scrubtechnologie (met chemiete rugwinning) kan ook het product ammonia worden teruggewonnen. Ammonia kan in alle sectoren breed worden toegepast en is ook een 'bouwstof' voor vele stikstofderivaten. De doorontwikkeling van technieken die ammonia kunnen produceren is daarom belangrijk voor het verbreden van de teruggewonnen stikstof afzetmarkt. Daarbij moet worden opgemerkt dat zowel strippen en scrubben als bipolaire elektrolyse een lagere broeikasgasimpact en GER-waarde hebben dan het Haber-Bosch proces in combinatie met een deelstroomreactor op de rwzi's.

Ad 1: de ontwikkeling van technologieën die ammonia kunnen terugwinnen naast ammoniumzouten is belangrijk om de potentiële afzetmarkt van teruggewonnen stikstof te vergroten.

KWALITEITSEISEN STIKSTOFPRODUCT

De kwaliteitseisen per markt zijn matig onderscheidend. Mede-afhankelijk van de voorzuivering, zijn mogelijk extra technieken nodig om verontreinigingen uit de ammoniumstromen te verwijderen (dit kunnen bijvoorbeeld organische microverontreinigingen of zware metalen zijn). Alle markten zijn gebaat bij een zo hoog mogelijke stikstofconcentratie in het product, met een constante samenstelling.

Ad 2: technologieontwikkeling kan zich het beste focussen op een maximale stikstofconcentratie en constante samenstelling van het product om de potentiële afzetmarkt te vergroten.

ONDERZOEK NAAR DE GEWASOPBRENGST VAN EEN TERUGGEWONNEN STIKSTOFSUPPLEMENT

Een goed voorbeeld van het 'voldoen' aan de kwaliteitseisen van de afnemer is het wetenschappelijke onderzoek naar de gewasopbrengst van het stikstofconcentraat in de Kunstmestvrije Achterhoek (paragraaf 5.5). In dat onderzoek is de gewasopbrengst per kg stikstof van het stikstofconcentraat vergeleken met dat van een conventioneel kunstmest. Een dergelijk onderzoek kan veel zorgen wegnemen bij de afnemer over de effectiviteit van een teruggewonnen stikstofproduct.

MARKTPRIJS STIKSTOFPRODUCTEN

In het algemeen heerst de tendens om niet meer te willen betalen voor een teruggewonnen stikstofproduct dan voor een regulier stikstofproduct. Enkel in de landbouwsector blijken enkele partijen bereid te zijn dit wel te doen (alhoewel in beperkte mate), zolang die een aantoonbaar milieuvoordeel (en daarmee economische waarde voor het agrarisch bedrijf) vertegenwoordigd. Het initiatief de Kunstmestvrije Achterhoek is daar een voorbeeld van. Daarnaast is de inkoopprijs van ammoniumzouten (ammoniumsulfaat en -nitraat) hoger dan voor ammonia.

Ad 3: de landbouw is op korte en middellange termijn de meest interessante markt om vanuit economisch perspectief teruggewonnen stikstof in te zetten.

AMBITIE STIKSTOFTERUGWINNING (INTEGRALE KETENBENADERING)

Een enkele sector, namelijk milieutechniek, heeft een concrete ambitie op het gebied van stikstofterugwinning. De brede duurzaamheids- en circulariteitsambities van de sectoren - dus

niet alleen op het gebied van stikstof terugwinning - bieden wel kansen voor het aansluiten van teruggewonnen stikstof bij die ambitie. Zo ambieert de landbouw CO₂- en stikstofemissiereductie. Terugwinning van stikstof zorgt voor CO₂-impactreductie in de stikstofketen (ook bij de boer zelf als de technieken op meststromen zouden worden ingezet). Een integrale ketenbenadering is daarom belangrijk. Dit geldt zowel op kleine lokale schaal (enkele agrarische bedrijven), regionale schaal (denk aan Kunstmestvrije Achterhoek, via Waterschappen), landelijk (overheid, industrie) en ook globaal (impact op nutriëntenhuishouding Nederland met import van veevoer uit overzeese gebieden).

Ad 4: een integrale ketenbenadering is belangrijk voor het realiseren van een succesvolle afzetroute voor stikstof uit rioolwater, met gedeelde, lokale, regionale en landelijke baten en globale impact

DE NOODZAAK VAN KETENSAMENWERKING

Uit de marktanalyse blijkt een sterke behoefte aan samenwerking en gezamenlijke ambities op het gebied van kringloopsluiting en milieu-impactreductie. Door te kijken naar de afspraken die de verschillende sectoren hebben gemaakt in het Klimaatakkoord en Grondstoffenakkoord kunnen doelstellingen en initiatieven aan elkaar gekoppeld worden. De overheid, brancheverenigingen, adviesbureaus en onderzoeksinstituten zijn geschikte partijen om gezamenlijke sessies en workshops te faciliteren tussen verschillende sectoren. Zodoende kan een brug worden geslagen tussen de verschillende doelstellingen. Samenwerking in de keten is het startpunt en de drijfveer achter het verwezenlijken van een kringloopeconomie. Deze samenwerkingen omvatten niet alleen het delen van (teruggewonnen) grondstoffen, maar streven naar een symbiose waarin ook water en energie (restwarmte) wordt gedeeld.

Indien het teruggewonnen stikstofproduct voldoet aan alle technische eisen en even veel kost als het huidige ingezette product, is elke partij bereid het product te vervangen met een duurzaam alternatief.

JURIDISCH KADER

Op dit moment is directe toepassing van een teruggewonnen stikstofproduct in de landbouw juridisch gezien de meest aantrekkelijke optie, omdat hier 'slechts' een opname van het stikstofproduct in Bijlage Aa van de Meststoffenwet voor nodig is. Om stikstofterugwinning uit rioolwater toepasbaar, flexibel en toekomstbestendig te maken dienen andere juridische routes, zoals het verkrijgen van een einde-afvalstatus en een REACH-registratie, te worden ingezet.

Ad 5: het verkrijgen van een einde-afvalstatus en REACH-registratie is een noodzakelijk proces om teruggewonnen stikstof buiten de landbouwsector of als halffabrikaat circulair in te kunnen zetten.

IMPACT OP CIRCULARITEIT

Op de energiesector na, kunnen alle sectoren stikstof uit rioolwater recyclen. Recycling wil zeggen: stoffen en materialen waaruit een product bestaat worden na gebruik van het product opnieuw gebruikt (zonder in waarde te verminderen). De energiesector kan stikstof alleen inzetten als energie. Energie scoort een trede lager dan recycling op de ladder van Lansink (onderstaande afbeelding). De ladder van Lansink geeft prioriteit aan de milieuvriendelijkste verwerkingswijzen.

Ad 6: vanuit het circulariteitsperspectief scoren de sectoren landbouw, milieutechniek en reststromen beter dan de energiesector. Dat spreekt in het voordeel van die sectoren.

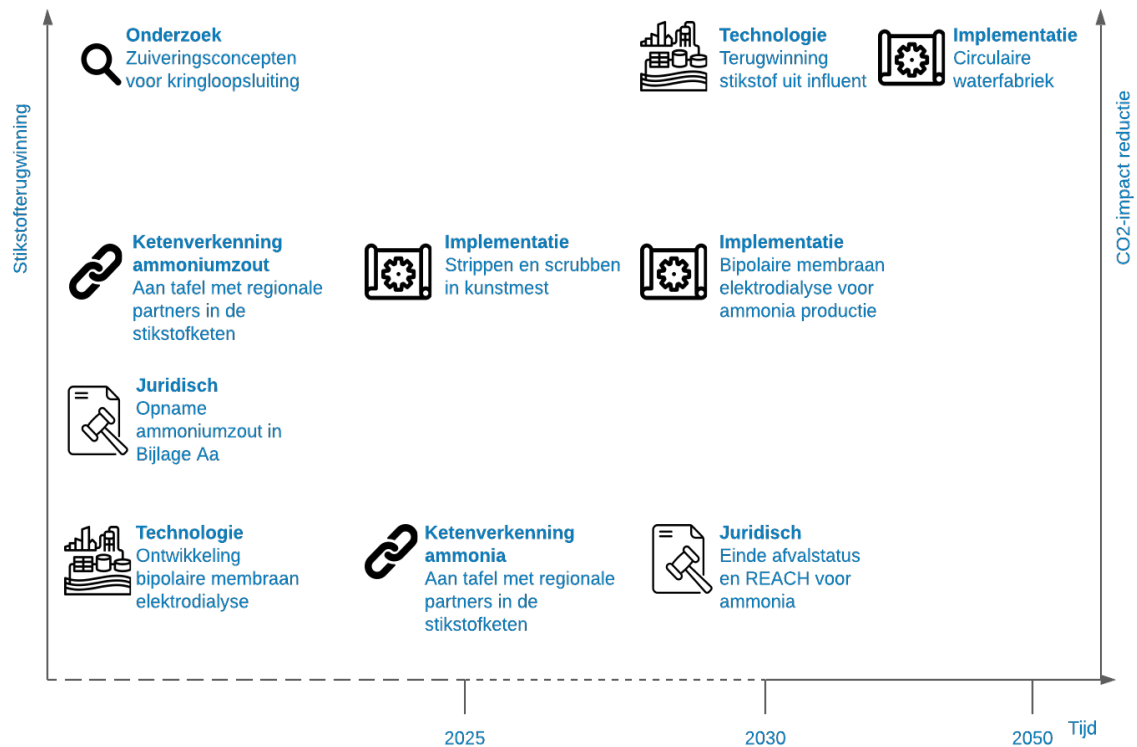
AFBEELDING 9.1 DE LADDER VAN LANSINK. A IS DE MEEST MILIEUVRIENDELIJKSTE VERWERKINGSWIJZE, F DE MINST MILIEUVRIENDELIJKE



9.2 TIJDLIJN STIKSTOFTERUGWINNING TOT EN MET 2050

De hierboven geschetste voorwaarden en adviezen leiden tot pakketten maatregelen en ontwikkelingen die in gang kunnen worden gezet om in 2050 het overgrote deel van stikstof te kunnen terugwinnen. Dit noemen we ontwikkelpaden. In de tijdlijn (x-as) van afbeelding 9.2 zijn drie kansrijke ontwikkelpaden voor stikstofterugwinning uit rioolwater gepresenteerd. De impact van elke maatregel op het behalen van de doelstellingen voor stikstofterugwinning en CO₂-equivalentemissiereductie kan aan de hand van de positie van de maatregel ten opzichte van respectievelijk de linker en rechter y-as worden afgelezen. Onder afbeelding 9.2 zijn de ontwikkelpaden toegelicht. Daarnaast is een benodigd omslag in beleid beschreven.

AFBEELDING 9.2 TIJDLIJN VOOR SET MAATREGELEN EN ONTWIKKELINGEN DIE GEÏMPLIMENTEERD KUNNEN WORDEN TOT EN MET 2050.



9.2.1 ONTWIKKELPAD 1: AMMONIUMZOUTPRODUCTIE VOOR REGIONALE LANDBOUW

Op de zeer korte termijn is de productie van ammoniumzouten middels strippen en scrubben voor toepassing in de landbouw de meest kansrijke route voor waterschappen. Strippen en scrubben is een gecommmercialiseerde technologie die direct kan worden toegepast⁴. Toepassingen van strippen en scrubben ligt voor de hand op de meest geconcentreerde stikstofstromen op rwzi's: de rejectiewaterstromen van de slibontwatering; voornamelijk na slibgisting.

Allereerst kan een lokale of regionale ketenverkenning worden opgezet door het waterschap naar de inzet van ammoniumzouten in de regionale landbouwmarkt. Een regionale ketenaanpak heeft als voordeel dat het logistiek minder complex en emissiearm (CO₂, NOx en fijnstof wegtransport) is, en dat de baten - grondstoffenhergebruik, broeikasgasemissiereductie - regionaal 'verdiend' worden. De ketenverkenning moet uiteindelijk een bereidwillig, concrete en toekomstgerichte afzetpartner vinden voor het teruggewonnen stikstof uit rioolwater. De regionale ketenaanpak is succesvol gebleken in de Kunstmestvrije Achterhoek. Een voorwaarde voor de positieve businesscase van strippen en scrubben is de reductie van het chemicaliëngebruik.

Gelijktijdig dient de toelatingsprocedure van het te produceren ammoniumzout in Bijlage Aa uit de Uitvoeringsregeling Meststoffenwet te worden gestart, zodat het ammoniumzout grootschalig kan worden vermarkt en verhandeld aan lokale boeren. De verwachting is dat deze toelating minimaal vijf jaar duurt. Als het ammoniumzout is opgenomen in Bijlage Aa, kan worden gestart met grootschalig strippen en scrubben van ammonium uit rejectiewaterstromen. Eerdere (demonstratie)toepassingen dienen met gedoogconstructies en vergunnings-traject op maat gerealiseerd te worden.

9.2.3 ONTWIKKELPAD 2: AMMONIAPRODUCTIE VOOR REGIONALE PARTNERS

Ammonia is een veelzijdig product en halffabricaat welke toegepast kan worden in verschillende sectoren. Daarom is op de middellange termijn de verdere ontwikkeling van bipolaire membraan-elektrodialyse het tweede kansrijke ontwikkelpad voor de waterschappen. Door de productie van ammonia te ontwikkelen, kan teruggewonnen stikstof meer flexibel worden afgezet in verschillende sectoren. Daarnaast heeft bipolaire elektrodialyse een lagere CO₂-impact dan het conventionele Haber-Bosch proces en strippen en scrubben doordat het nagenoeg geen chemicaliën verbruikt. Hier valt dus CO₂-winst te behalen.

Eerst dient de technologie verder ontwikkeld te worden zodat de robuuste haalbaarheid van toepassing op rioolwater kan worden aangetoond. Onderdeel van deze ontwikkeling kan demonstratieonderzoek zijn, naar bijvoorbeeld de gewasopbrengst van het teruggewonnen stikstofproduct (in vergelijking met conventionele kunstmestproducten). Nadat dat is vastgesteld, kunnen de waterschappen starten met een regionale ketenverkenning voor de inzet van ammonia. Tegen 2030 is een REACH-registratie van ammonia uit bipolaire elektrodialyse gerealiseerd, zodat het stikstofproduct vrij kan worden ingezet in de industrie. Omdat dit een langdurig proces is - naar schatting tegen de 10 jaar (gebaseerd op struviet) - is het aanbevolen hier zo vroeg mogelijk mee te starten.

⁴ Afhankelijk van de ontwikkeling van strippen en scrubben met terugwinning van zwavelzuur kan deze strip- en scrub-technologie worden toegepast ten tijde van implementatie, zodat chemicaliën worden teruggewonnen en de CO₂-impact van de technologie is geminimaliseerd.

9.2.4 ONTWIKKELPAD 3: CIRCULAIRE WATERFABRIEKEN VOOR VOLLEDIGE KRINGLOOPSLUITING

Naast ontwikkeling en implementatie van stikstofterugwinning uit rejectiewaterstromen dienen grondstoffenterugwinning en milieu-impactreductie door waterschappen in een bredere zin worden verkend. Dit houdt in dat waterschappen verschillende zuiveringsconcepten moeten verkennen, om te kijken waar in de keten zij de grootste impact kunnen hebben en hierop kunnen sturen. Om terugwinning van de *volledige* stikstof-influentvracht te realiseren, zijn voorgaande ontwikkelpaden niet toereikend. Deze focussen zich namelijk op de nevenstroom rejectiewater voor de terugwinning van stikstof. Dat betekent nog steeds dat een groot deel van het binnengekomen stikstof in het actiefslibproces naar de lucht wordt geëmitteerd en in het slib achterblijft (ook bij slibgisting wordt een deel van het gebonden stikstof niet vrijgemaakt).

Daarom wordt aanbevolen om op de lange termijn circulaire waterfabrieken te ontwikkelen en te implementeren. Dat begint op de korte termijn met onderzoek naar dit innovatieve concept en potentiële afzetmarkten. In het geval van een circulaire waterfabriek - met enkel fysisch-chemische zuiveringsstappen - kan nagenoeg de hele influentvracht aan stikstof worden teruggewonnen. Dit is aangetoond met nanofiltratie, selectieve ionenwisseling en bipolaire elektrodialyse. Mogelijk komen in de toekomst meerdere technologieën beschikbaar die ook andere stikstofderivaten kunnen produceren uit voorbehandeld influent (naast ammoniumzouten).

9.2.5 NIEUW BELEID OP HET GEBIED VAN STIKSTOFTERUGWINNING

Naast ontwikkelpaden voor specifieke teruggewonnen stikstoftoepassingen en de bijbehorende markt dient er beleidsmatig een omslag te komen in de manier waarop naar afvalstoffen wordt gekeken. Dit moet bijdragen aan de ontwikkeling van nieuwe afzetmarkten voor teruggewonnen grondstoffen. Op dit moment is het voor afnemers namelijk aantrekkelijker om nieuwe (niet gerecycleerde) producten en grondstoffen af te nemen doordat teruggewonnen grondstoffen vaak duurder zijn. De gebruikte technologieën zijn vaak nieuw en nog niet doorontwikkeld, wat de kostprijs van het teruggewonnen product hoger maakt. Een hoge kostprijs maakt dat een hogere marktprijs nodig is voor een sluitende business case voor het waterschap. De markt is echter vaak niet bereid om een hogere marktprijs te betalen voor teruggewonnen producten. Dit bemoeilijkt de business case van grondstoffenterugwinning door waterschappen. Daarnaast dient de afnemer betrokken te worden in het einde-afvalstatus proces als diegene wenst een product af te nemen wat een afvalstatus heeft. Hier zijn afnemers niet happig op, waardoor het vinden van afnemers een uitdaging vormt.

De Europese Unie kan verschillende maatregelen treffen om afnemers te stimuleren om voor teruggewonnen grondstoffen te kiezen. Zo heeft de bestaande Europese ETS (Europese CO₂-heffing) invloed hebben op de prijs van ammoniumstikstof waardoor deze duurder wordt en mogelijk duurder wordt dan teruggewonnen grondstoffen. Teruggewonnen stikstofproducten kunnen beter concurreren met hoger geprijsde conventionele stikstofproducten (in ieder geval op de korte termijn). Ook kan de nieuwe DEI+ subsidieregeling bijdragen aan de verlaging van de kostprijs van stikstofterugwinttechnologieën; in ieder geval voor demonstratieprojecten. Het subsidiëren van demonstratieprojecten versnelt de ontwikkeling van een technologie, waardoor het ook sneller kosteneffectief kan worden gemaakt. Op juridisch vlak kan beleid worden gemaakt om het proces van het verkrijgen van een einde-afvalstatus voor een teruggewonnen product te vereenvoudigen; uiteraard op een verantwoorde en veilige (met betrekking tot de stof) manier. Een voorbeeld daarvan is de uitzonderingspositie van

de procedure voor stikstof als teruggewonnen meststof via bijlage Aa van de Meststoffenwet. Deze uitzonderingspositie kan ook worden uitgebreid naar andere sectoren en/of stikstofproducten.

9.3 SLOTBESCHOUWING

Terugwinning van stikstof uit rioolwater staat wereldwijd nog in de kinderschoenen maar heeft een veelbelovend perspectief om de sector overschrijdende nutriëntenkringloop duurzaam en toekomstbestendig te maken. Dit rapport draagt bij aan de doelstelling van Nederlandse waterschappen om in 2050 volledig circulair te opereren, door kansrijke routes voor de terugwinning en afzet van stikstof uit rioolwater te onderzoeken. In de marktanalyse en technologieverkenning zijn een aantal belangrijke kenmerken van succesvolle stikstofterugwininitiatieven naar voren gekomen die zijn benadrukt in dit hoofdstuk. Regionale ketensamenwerking is zo een kenmerk. Succesvolle lokale en regionale ketensamenwerking pakt een aantal aandachtspunten aan: het verlicht de eventuele logistieke lasten, het maakt de baten van stikstofterugwinning in de keten tastbaar (regionaal wordt minder stikstof en CO₂-emissiereductie gerealiseerd) en het mes van stikstofterugwinning snijdt aan twee kanten: beide partijen dragen bij aan een meer duurzame wereld.

Een ander belangrijk aspect van stikstofterugwinning is het juridisch kader. De huidige juridische mogelijkheden voor de afzet van teruggewonnen stikstofproducten zijn erg beperkt: de opname van een teruggewonnen stikstofproduct in Bijlage Aa is een short cut, maar alleen toepasbaar in de landbouwsector. Een REACH-verordening is nodig om het teruggewonnen stikstofproduct te kunnen inzetten in de meeste andere sectoren of als halffabricaat in productieprocessen. Het vergroten van de juridische mogelijkheden van de inzet van teruggewonnen 'afvalproducten' is dus een groot aandachtspunt. Aangezien dit een langdurig proces is, moet deze actie zo vroeg mogelijk worden gestart.

Daarnaast wordt opgemerkt dat terugwinning van stikstof uit nevenstromen een tussentijdse oplossing is om in 2050 nagenoeg alle stikstof terug te winnen. In dat geval zal namelijk de gehele influentvracht moeten worden teruggewonnen. Dit kan alleen als wordt bewogen van de huidige actiefslibprocessen naar circulaire waterfabrieken. Dit is een ontwikkeling van de lange termijn, maar die goed past in de bredere circulaire doelstellingen van de waterschappen. Parallel aan deze ontwikkelpaden moeten afzetmarkten worden verkend: zonder afzetmarkten is een circulaire waterfabriek niet haalbaar. Een omslag in het beleid om de terugwinning en afzet van teruggewonnen grondstoffen te stimuleren moet hierbij helpen.

10

BIBLIOGRAFIE

- [1] Unie van Waterschappen, „Waterschappen 100 procent circulair in 2050,” 11 2019. [Online]. Available: <https://www.uvw.nl/wp-content/uploads/2019/11/Waterschappen-100-procent-circulair-in-2050.pdf?x46159>.
- [2] Unie van Waterschappen, „Waterschappen stemmen unaniem in met het Klimaatakkoord,” Unie van Waterschappen, 11 Oktober 2019. [Online]. Available: <https://www.uvw.nl/waterschappen-stemmen-unaniem-in-met-het-klimaatakkoord/>. [Geopend 24 Februari 2021].
- [3] Centraal Bureau voor de Statistiek, „Zuivering van stedelijk afvalwater; per regionale waterkwaliteitsbeheerder,” 10 april 2020. [Online]. Available: <https://opendata.cbs.nl/statline/#/CBS/nl/dataset/71476ned/table?ts=1588082404236>. [Geopend 23 Februari 2021].
- [4] STOWA, „Explorative research on innovative nitrogen recovery,” STOWA, Amersfoort, 2012.
- [5] E. van der Knaap, M. Pronk, J. Porro en E. van Voorthuizen, „Risico-inschatting emissie lachgas vanuit Nederlandse rioolwaterzuiveringen,” STOWA, Amersfoort, 2019.
- [6] E. van Voorthuizen, G. Ijpelaar, M. Daelman, U. van Dongen en M. van Loosdrecht, „Emissie broeikasgassen vanuit rwzi's,” STOWA, Amersfoort, 2012.
- [7] GHG Protocol, „Global Warming Potential Values,” Greenhouse Gas Protocol, 20 februari 2016. [Online]. Available: https://www.ghgprotocol.org/sites/default/files/ghgp/Global-Warming-Potential-Values%20%28Feb%2016%202016%29_1.pdf. [Geopend 27 mei 2021].
- [8] J. Withgott en S. Brennan, ENVIRONMENT: The science behind the stories, San Francisco: Pearson Education, Inc., 2011.
- [9] W. Steffen, K. Richardson, J. Rockström, S. Cornell, I. B. E. Fetzer, R. Biggs, S. Carpenter, W. De Vries, C. De Wit en C. Folke, „Planetary boundaries: Guiding human development on a changing planet,” *Science*, nr. 6223, p. 347, 2015.
- [10] N. Lehnert, H. Dong en J. Harland, „Reversing nitrogen fixation,” *Nature*, vol. 2, pp. 278-289, 2018.
- [11] M. Maurer, P. Schwegler en T. A. Larsen, „Nutrients in urine: energetic aspects of removal and recovery,” *Water Science and Technology*, pp. 37-46, 2003.
- [12] STOWA, „Betuwse kunstmest, Winning van stikstof en fosfaat uit urine,” STOWA, Amersfoort, 2010.
- [13] H. Ritchie, „How many people does synthetic fertilizer feed?,” 07 November 2017. [Online]. Available: <https://ourworldindata.org/how-many-people-does-synthetic-fertilizer-feed>. [Geopend 15 September 2020].
- [14] Nutrient Platform NL, „Stikstof terugwinning uit zuiveringsslib,” [Online]. Available: <https://www.nutrientplatform.org/succesverhalen/gmb-2-2/>. [Geopend 17 September 2020].
- [15] M.-H. Vu, M. Sakar en T.-O. Do, „Insights into the Recent Progress and Advanced Materials for Photocatalytic Nitrogen Fixation for Ammonia (NH₃) Production,” *Catalysts*, p. 621, 2018.
- [16] RIVM, „Stikstof,” 2020. [Online]. Available: <https://www.rivm.nl/stikstof>. [Geopend 26 Februari 2021].
- [17] Centraal Bureau voor de Statistiek, „Nutriëntenoverschot landbouw,” 2016. [Online]. Available: <https://www.cbs.nl/nl-nl/maatschappij/natuur-en-milieu/groene-groei/milieu-efficentie/indicatoren/nutriëntenoverschot-landbouw>.

- [18] CBS, „Mineralenbalans landbouw,” 06 February 2020. [Online]. Available: <https://www.cbs.nl/nl-nl/cijfers/detail/83475NED?q=kunstmest>. [Geopend 15 September 2020].
- [19] Stockholm Resilience Centre, „The nine planetary boundaries,” 2015. [Online]. Available: <https://www.stockholmresilience.org/research/planetary-boundaries.html>. [Geopend 23 Februari 2021].
- [20] W. de Vries, J. Kros, C. Kroeze en S. P. Seitzinger, „Assessing planetary and regional nitrogen boundaries related to food security and adverse environmental impacts,” *Current Opinion in Environmental Sustainability*, Vols. %1 van %2Issues 3-4, nr. 5, pp. 392-402, 2013.
- [21] J. P. van der Hoek, R. Duijff en O. Reinstra, „Nitrogen recovery from wastewater: Possibilities, competition with other resources, and adaptation pathways,” *Sustainability*, 2018.
- [22] Centraal Bureau voor de Statistiek, „Zuivering van stedelijk afvalwater; per regionale waterkwaliteitsbeheerder,” CBS, 10 April 2020. [Online]. Available: <https://opendata.cbs.nl/stat-line/#/CBS/nl/dataset/71476ned/table?ts=1588082404236>. [Geopend 9 Maart 2021].
- [23] W. van Betuw, W. Wiegant en J. Kruit, „SHARON-ANAMMOX-SYSTEMEN,” STOWA, Utrecht, 2008.
- [24] M. van Eekert, J. Weijma, N. Verdoes, F. de Buissonjé, B. Reitsma, J. van den Bulk en J. van Gastel, „Explorative research on innovative nitrogen recovery,” STOWA, Amersfoort, 2012.
- [25] G. Maxwell, „Uses of ammonia,” in *Synthetic Nitrogen Products*, Boston, Springer, 2005, pp. 199-203.
- [26] „Ammonia Applications,” Mysore Ammonia, [Online]. Available: <https://www.mysoreammonia.com/applications/#:~:text=In%20rubber%2C%20ammonia%20is%20used,leathers%20and%20furs%20in%20storage..> [Geopend 24 12 2020].
- [27] „Nutriënten,” OPure, [Online]. Available: <https://www.opure.nl/nutrienten>. [Geopend 22 01 2021].
- [28] C. Egenhofer, L. Schrefler, V. Rizos en F. Genoese, *Composition and Drivers of Energy Prices and Costs in Energy Intensive Industries: The Case of Ceramics, Flat Glass and Chemical Industries*, Centre for European Policy Studies, 2014.
- [29] „Industries That Use Ammonia,” Analytical Technology Inc., 28 12 2015. [Online]. Available: <https://www.analyticaltechnology.com/analyticaltechnology/gas-water-monitors/blog.aspx?ID=1144&Title=Industries>. [Geopend 22 12 2020].
- [30] Euro1, „Wat is de functie van AdBlue?,” 18 Mei 2020. [Online]. Available: <https://eurol.com/wat-is-de-functie-van-adblue/>. [Geopend 23 Februari 2021].
- [31] „Rookgasreiniging,” RVO, 09 07 2020. [Online]. Available: <https://www.rvo.nl/onderwerpen/duurzaam-ondernemen/duurzame-energie-opwekken/bio-energie/toepassingen/rookgasreiniging>. [Geopend 23 12 2020].
- [32] Handboek Bodem en Bemesting, „Type meststoffen en hun werking en efficiëntie,” De Commissie Bemesting Akkerbouw/Vollegroondsgroententeelt, Oktober 2016. [Online]. Available: <https://www.handboekbodemenbemesting.nl/nl/handboekbodemenbemesting/Handeling/Bemesting/Type-meststoffen-en-hun-werking-en-efficientie.htm>. [Geopend 22 Februari 2021].
- [33] NutriNorm, „Stikstof voor de plant uit ureum,” NutriNorm, Oktober 2016. [Online]. Available: <https://nutrinorm.nl/bemesting/stikstof-voor-de-plant-uit-ureum/>. [Geopend 9 Maart 2021].
- [34] W. van Dijk, R. Postma, L. Gollenbeek, P. Mostert, J. Roefs en N. Verdoes, „Behoeftte mestbewateringsproducten in Nederland en Europa,” Wageningen University & Research, Wageningen, 2020.
- [35] E. t. Roller, „Ammoniak biedt sleutel tot duurzame toekomst - ‘Power to ammonia’ onderzoekt opslag van duurzame energie in vloeibare ammoniak,” November 2016. [Online]. Available: https://www.protonventures.com/wp-content/uploads/2016/11/Power2Ammonia_NPT_1.pdf. [Geopend 2 April 2021].

- [36] Agrifirm, „Kunstmest wordt snel duurder,” 1 januari 2021. [Online]. Available: <https://www.agrifirm.nl/nieuws/snel-stijgende-kunstmestprijzen/>. [Geopend 11 februari 2021].
- [37] Essent, „Specificatie van de gasprijs,” [Online]. Available: <https://www.essent.nl/kennisbank/stroom-en-gas/energierekening/opbouw-gasprijs>. [Geopend 11 Februari 2021].
- [38] S. de Bruyn, R. Vergeer, H. Croezen, I. Nieuwenhuijse en M. van Lieshout, „Effecten van CO₂-beprijzing in de industrie,” CE Delft, Delft, 2018.
- [39] YARA, „NOx-reductie via SNCR- en SCR-systemen met ammoniakwater (ammonia),” YARA, [Online]. Available: <https://www.yara.nl/chemische-en-milieuoplossingen/nox-reductie-voor-industrie/reagentia-voor-denox/ammoniakwater/>. [Geopend 24 Februari 2021].
- [40] M. Verbeke, L. Hermann, O. Schoumans en I. Regelink, „Market Research in Europe,” 2020.
- [41] M. E. Christiaens, K. M. Udert, J. B. Arends, S. Huysman, L. Vanhaecke, E. McAdam en K. Rabaey, „Membrane stripping enables effective electrochemical ammonia recovery from urine while retaining microorganisms and micropollutants,” *Water Research*, vol. 1, nr. 150, pp. 349-357, 2019.
- [42] K. Arola, A. Ward, M. Manttari, M. Kallioinen en D. Batstone, „Transport of pharmaceuticals during electrodialysis treatment of wastewater,” *Water Research*, nr. 161, pp. 496-504, 2019.
- [43] C. Preston, „Soil pH Effects Potassium and Phosphorus Fertilizer Availability and Management,” [Online]. Available: <https://nutrien-economics.com/news/soil-ph-effects-potassium-and-phosphorus-fertilizer-availability-and-management/#:~:text=Low%20pH%20decreases%20the%20soil's,decreased%20water%20and%20nutrient%20uptake..>
- [44] Meststoffen Nederland, „Standpunten - Duurzame bemesting,” Juli 2015. [Online]. Available: <https://www.meststoffennederland.nl/MESTNL/media/M/Documenten/Standpunten/Standpunt-Meststoffen-Nederland-Duurzame-bemesting-juli-2015.pdf>. [Geopend 10 Maart 2021].
- [45] „Toetsing afval of grondstof,” Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, [Online]. Available: <https://www.afvalcirculair.nl/onderwerpen/afval/toetsing-afval/>.
- [46] „VERORDENING (EU) 2019/1009 VAN HET EUROPEES PARLEMENT EN DE RAAD,” [Online]. Available: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/NL/TXT/?uri=CELEX%3A32019R1009>.
- [47] „Wet milieubeheer: Hoofdstuk 10,” [Online]. Available: <https://wetten.overheid.nl/BWBR0003245/2021-01-01>.
- [48] „Staatsblad van het Koninkrijk der Nederlanden 2007, 251, p26,” 2007.
- [49] „FARM REACH consortium,” reachcentrum, [Online]. Available: <https://www.reachcentrum.eu/consortium/farm-reach-consortium-112.html>.
- [50] „COMMISSION REGULATION (EC) No 340/2008,” [Online]. Available: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/HTML/?uri=CELEX:02008R0340-20150625>.
- [51] [Online]. Available: https://echa.europa.eu/documents/10162/13632/waste_recovered_nl.pdf.
- [52] „RICHTLIJNEN,” [Online]. Available: <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2012:197:0001:0037:NL:PDF>.
- [53] „Vaste minerale anorganische meststoffen – Opslag,” [Online]. Available: <https://publicatie-reeksgevaarlijkstoffennl/publicaties/PGS7.html>.
- [54] „Ammoniak – Opslag en verlading,” [Online]. Available: <https://publicatiereeksgevaarlijkstoffennl/publicaties/PGS12.html>.
- [55] H. Menkveld en E. Broeders, „Recovery of ammonia from digestate as fertilizer,” *Water Practice & Technology*, vol. 13, nr. 2, pp. 382-387, 2018.
- [56] „A smarter use of organic nitrogen,” LIFE NEWBIES, [Online]. Available: <https://newbies.eu/technology/>.
- [57] H. Kjerstadius, „Enhancing anaerobic digestion in urban wastewater management,” Department of Chemical Engineering, Lund University, Lund, 2017.
- [58] J. Bijlagte, „Technology for N recovery as ammonia nitrate/sulphate from raw digestate with

- “AMFER” stripping process (ID 455),” Colsen, [Online]. Available: https://nutrیمان.net/farmer-platform/technology/id_455.
- [59] D. de Wilde, „Technology for N recovery as inorganic fertilizer starting from liquid fraction of manure, digestate or other waste streams with “Detricon” stripping and scrubbing process (ID:296),” DETRICON, [Online]. Available: https://nutrیمان.net/farmer-platform/technology/id_296.
- [60] M. Böhler, A. Hernandez, J. Fleiner, W. Gruber en A. Seyfried, „WP4 – Nitrogen management,” 20 06 2018. [Online]. Available: http://powerstep.eu/system/files/generated/files/resource/d-4-3-operation-and-optimization-of-membrane-ammonia-stripping_0.pdf.
- [61] H. Siegrist en M. Boehler, „FULL SCALE DEMONSTRATION OF ENERGY POSITIVE SEWAGE TREATMENT PLANT CONCEPTS TOWARDS MARKET PENETRATION,” 06 07 2017. [Online]. Available: <http://powerstep.eu/system/files/generated/files/resource/10-siegrist-recovery-of-nitrogen-from-wastewater.pdf>.
- [62] N. van Linden, H. Spanjers en J. van Lier, „Gas recovery from wastewater”. Patent WO2019151855A1, 08 08 2019.
- [63] M. Christiaens, T. Liu, J. Schut en M. Stefani, „Direct NF-IX SVB Sluisjesdijk: Rapportage initiële haalbaarheid (fase 1),” Witteveen+Bos, Rotterdam, 2019.
- [64] H. Aarts, „Technology for N recovery as liquid fertilizer starting from liquid manure or biogas digestate with plasma manure processing system (ID:276),” N2 Applied, [Online]. Available: https://nutrیمان.net/farmer-platform/technology/id_276.
- [65] [Online]. Available: <https://elgritosagrado11.blogspot.com/2018/10/25-elegant-map-of-europe-without.html>.
- [66] „Subsidies voor aanpak stikstofproblematiek: minister kondigt maatregelenpakket aan,” [Online]. Available: <https://www.subvention.nl/agrarisch/subsidies-voor-aanpak-stikstofprobleem-maatregelenpakket/>. [Geopend 20 01 2021].
- [67] N. Applied, „ENERGY EFFICIENT PROCESS FOR PRODUCING NITROGEN OXIDE”. Norwegen Patent WO2012/150865, 29 12 2015.
- [68] „FARM REACH consortium,” reachcentrum, [Online]. Available: <https://www.reachcentrum.eu/consortium/farm-reach-consortium-112.html>.
- [69] Het Europees Parlement en de Raad van de Europese Unie, „VERORDENING (EG) Nr. 1013/2006 VAN HET EUROPEES PARLEMENT EN DE RAAD,” EUROPESE UNIE, 14 Juni 2006. [Online]. Available: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/NL/ALL/?uri=CELEX%3A32006R1013>. [Geopend 2 April 2021].

BIJLAGE 1

ENQUÊTEVRAGEN

Enquête verantwoorde stikstofterugwinning uit rioolwater: van marktambitie naar praktijk**Aanleiding enquête**

Waterschappen willen bijdragen aan een duurzame en circulaire samenleving, waarin de terugwinning van stikstof uit rioolwater een belangrijke rol gaat spelen. Door het vermarkten en afnemen van circulaire stikstof door de industrie, kan een deel van de CO₂-uitstoot uit conventionele stikstofproductieprocessen (zoals Haber-Bosch) worden vermeden.


Doel onderzoek

Deze enquête is onderdeel van een marktanalyse naar teruggewonnen stikstof uit rioolwater. De studie wordt uitgevoerd in opdracht van de Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer (STOWA), door AquaMinerals en Witteveen+Bos. Het doel van het onderzoek is om de marktbehoefte van teruggewonnen stikstof uit rioolwater in kaart te brengen. De valorisatie van teruggewonnen stikstof door waterschappen zal uiteindelijk leiden tot een nieuw en groen stikstofalternatief die stikstofafnemers kunnen toevoegen aan hun productcatalogus.

Waar wordt de enquête voor gebruikt?

De resultaten van de enquête zullen verwerkt worden in het openbaar beschikbaar STOWA rapport: "Verantwoorde stikstofterugwinning uit rioolwater: van marktambitie naar praktijk". Indien u bezwaar heeft tegen het gebruik van de resultaten in het rapport wegens vertrouwelijke bedrijfsinformatie, dan kunt u dat per vraag aangeven. De resultaten van die vragen worden dan vertrouwelijk behandeld.

Instructies enquête

De enquête zal ongeveer 20-30 minuten in beslag nemen. Neemt u meerdere producten af, dan zal de enquête iets langer duren. U kunt uw antwoorden in de gele boxen invullen. Ook incompete antwoorden zijn van waarde voor het onderzoek. Bij sommige vragen kunt u een keuze maken uit verschillende opties in een dropdown menu. Dit wordt aangegeven met de knop  bij de vraag. U kunt uw Excel bestandje na het invullen van de enquête opslaan en terugsturen naar het email-adres: "jair.dan@witteveenbos.com". Namens Witteveen+Bos en AquaMinerals danken we u hartelijk voor het invullen van de enquête.

1. Algemene informatie		Vertrouwelijk?
Bedrijf	Naam	<input type="checkbox"/>
	Vestigingsplaats	<input type="checkbox"/>
Contactpersoon	Naam	<input type="checkbox"/>
	Telefoonnummer	<input type="checkbox"/>
	E-mail	<input type="checkbox"/>
Wat doet uw bedrijf en wat is de relatie van uw bedrijf m.b.t. stikstof?		<input type="checkbox"/>
2. Huidige afname stikstofproducten		
Vink alstublieft het vakje aan voor welk stikstofproduct u de vragen wil beantwoorden. Indien u meerdere producten afneemt, dan kunt u dat onderaan bij "Indien u meerdere producten afneemt kunt u dat hier aangeven (regels uitklappen op het plus knopje links)" aangeven.		
	Ammoniak (gasvormig NH ₃)	<input type="checkbox"/>
	Ammonia (NH ₃ in water)	<input type="checkbox"/>
	Ammoniumnitraat (NH ₄ NO ₃)	<input type="checkbox"/>
	Ammoniumsulfaat ((NH ₄) ₂ SO ₄)	<input type="checkbox"/>
	Ammoniumsulfatsalpeter ((NH ₄) ₂ SO ₄ + SO ₂)	<input type="checkbox"/>
	Kalkammonsalpeter (NH ₄ NO ₃ + CaCO ₃ + MgO)	<input type="checkbox"/>
	Urean ((NH ₂) ₂ CO + NH ₄ NO ₃)	<input type="checkbox"/>
	Ureum ((NH ₂) ₂ CO)	<input type="checkbox"/>
	Anders, namelijk:	<input type="checkbox"/>
	Wat is de merknaam van het product dat u afneemt? (bv. OCI Nutramon)	<input type="checkbox"/>
	Hoeveel van het product neemt u jaarlijks af?	ton product/jaar <input type="checkbox"/>
	Ziet u een trend in de hoeveelheid die u jaarlijks afneemt? Zo ja, ziet u een afname of toename?	<input type="checkbox"/>
	Is er sprake van seizoensvariatie in de hoeveelheid die u afneemt? Zo ja, hoe is de afname verdeeld over het jaar?	<input type="checkbox"/>
	Wat is de huidige inkoopprijs van het product dat u afneemt? Kunt u aangeven of dat franco/niet franco is?	€/ton product <input type="checkbox"/>
	Welke prijstrend verwacht u richting de toekomst? (vanaf nu tot ong. 10 jaar)	<input type="checkbox"/>
	In welke vorm neemt u het product af? (dropdown menu)	<input type="checkbox"/>
	Wat is het percentage werkzame stof in het product dat u afneemt?	% werkzame stof <input type="checkbox"/>
Indien u meerdere producten afneemt kunt u dat hier aangeven (regels uitklappen op het plus knopje links)		
Indien u meerdere producten afneemt kunt u dat hier aangeven (regels uitklappen op het plus knopje links)		
Indien u meerdere producten afneemt kunt u dat hier aangeven (regels uitklappen op het plus knopje links)		
Indien u meerdere producten afneemt kunt u dat hier aangeven (regels uitklappen op het plus knopje links)		
Indien u meerdere producten afneemt kunt u dat hier aangeven (regels uitklappen op het plus knopje links)		
3. Marktpotentieel voor teruggewonnen stikstof door waterschappen		
	Zou u bereid zijn om teruggewonnen stikstof uit rioolwater af te nemen? (dropdown menu)	<input type="checkbox"/>

Welk percentage van de hoeveelheid stikstof die u op het moment afneemt zou u bereid zijn om te vervangen door teruggewonnen stikstof? (dropdown menu)		% van kwantiteit <input type="checkbox"/>
Hoeveel bent u bereid te betalen voor het teruggewonnen stikstofproduct in vergelijking met het huidige product dat u afneemt? (dropdown menu)		<input type="checkbox"/>
Aan welke kwaliteitseisen moet het teruggewonnen stikstofproduct voldoen? (Bv. welke verontreinigingen, droge stofgehalte, vorm van aanlevering (tankauto, big bag, etc.), hoeveelheid stikstof in product, grootte van korrel, etc...)		<input type="checkbox"/>
4. Overige vragen over teruggewonnen stikstof door waterschappen		
Welke uitdagingen verwacht u bij het afnemen van teruggewonnen stikstof uit rioolwater? (bv. op het gebied van logistiek, kwaliteit, wetgeving, prijs, acceptatie/imago)		<input type="checkbox"/>
Is er binnen het bedrijf ambitie of beleid op het gebied van het toepassen van teruggewonnen grondstoffen (met in het bijzonder stikstof)?		<input type="checkbox"/>
In hoeverre past het afnemen van teruggewonnen grondstoffen (met in het bijzonder stikstof) in de duurzaamheidsstrategie van het bedrijf?		<input type="checkbox"/>
Bent u bereid om samen uitdagingen die op de weg liggen m.b.t. teruggewonnen stikstof aan te gaan?		<input type="checkbox"/>
Voelt u dat de vraag naar teruggewonnen stikstof toeneemt vanuit aankomende wet en regelgeving, vragen van uw klanten of andere drivers?		<input type="checkbox"/>
5. Opmerkingen		
Heeft u nog overige opmerkingen over teruggewonnen stikstof uit rioolwater?		<input type="checkbox"/>

BIJLAGE 2

INTERVIEWVRAGEN

1 INTRODUCTIE

Deze notitie zet kort uiteen wat de aanleiding en het doel van het onderzoek is, waar het interview voor wordt gebruikt, de agenda van het interview en de interviewvragen zelf.

1.1 AANLEIDING & DOEL ONDERZOEK

Aanleiding

Waterschappen willen bijdragen aan een duurzame en circulaire samenleving, waarin de terugwinning van stikstof uit rioolwater een belangrijke rol gaat spelen. Door het vermarkten en afnemen van circulaire stikstof door de industrie, kan een deel van de CO₂-uitstoot uit conventionele stikstofproductieprocessen (zoals Haber-Bosch) worden vermeden. Het geplande interview is onderdeel van een marktanalyse naar teruggewonnen stikstof uit rioolwater.

Doel van het onderzoek

Het doel van het onderzoek is om de marktbehoefte van teruggewonnen stikstof uit rioolwater in kaart te brengen. De valorisatie van teruggewonnen stikstof door waterschappen zal uiteindelijk leiden tot een nieuw en groen stikstofalternatief die stikstofafnemers kunnen toevoegen aan hun productcatalogus.

Projectpartners in het onderzoek

De studie wordt uitgevoerd in opdracht van de Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer (STOWA), door AquaMinerals en Witteveen+Bos.

1.2 WAAR WORDT HET INTERVIEW VOOR GEBRUIKT?

De resultaten van het interview zullen verwerkt worden in het openbaar beschikbaar STOWA-rapport: 'Verantwoorde stikstofterugwinning uit rioolwater: van marktambitie naar praktijk'. Indien u bezwaar heeft tegen het gebruik van de resultaten in het rapport wegens vertrouwelijke bedrijfsinformatie, dan kunt u dat tijdens het gesprek aangeven. De resultaten van die vragen worden dan geanonimiseerd.

1.2 AGENDA VAN HET INTERVIEW

De agenda voor het interview ziet er als volgt uit:

- kennismaking;
- introductie project;
- doelstelling van het interview;
- interview (zie volgende hoofdstuk voor vragen);
- afronding

2. VRAGENLIJST INTERVIEW

Hieronder is de lijst met interview vragen gepresenteerd. Deze vragen vormen de rode draad door het interview heen. Deze vragenlijst kunt u van te voren doornemen ter voorbereiding.

1. Wat is de relatie van uw bedrijf met betrekking tot stikstof?
2. Zou u bereid zijn om teruggewonnen stikstof uit rioolwater af te nemen?
 - Welk percentage van de hoeveelheid stikstof die u op het moment afneemt zou u bereid zijn om te vervangen door teruggewonnen stikstof?
 - Op welk termijn zou uw bedrijf teruggewonnen stikstof gaan afnemen/ inzetten?
3. Voelt u dat de vraag naar teruggewonnen stikstof toeneemt vanuit aankomende wet en regelgeving, vragen van uw klanten of andere drivers?
4. In hoeverre past het afnemen van teruggewonnen grondstoffen (met in het bijzonder stikstof) in de duurzaamheidsstrategie van het bedrijf?
5. Aan welke kwaliteitseisen moet het teruggewonnen stikstofproduct voldoen? (Bijvoorbeeld welke verontreinigingen, droge stofgehalte, vorm van aanlevering (tankauto, big bag, etc.), hoeveelheid stikstof in product, grootte van korrel, etc.)?
6. Welke uitdagingen verwacht u bij het afnemen van teruggewonnen stikstof uit rioolwater (bijvoorbeeld op het gebied van logistiek, kwaliteit, wetgeving, prijs, acceptatie/imago)?
7. Hoeveel bent u bereid te betalen voor het teruggewonnen stikstofproduct in vergelijking met het huidige product dat u afneemt?
8. Bent u bereid om samen uitdagingen die op de weg liggen met betrekking tot teruggewonnen stikstof aan te gaan?

BIJLAGE 3

FACT SHEETS TECHNOLOGIEËN

1 INTRODUCTIE

Deze notitie presenteert de belangrijkste kenmerken van stikstofterugwin-initiatieven in Europa. Van elk initiatief is een fact sheet gemaakt die de belangrijkste, *beschikbare* gegevens samenvat. De gegevens zijn verzameld via een bureaustudie en contact met initiatiefnemers. Verder zijn enkel initiatieven met een TRL > 4 toegelicht. Hiervoor is de TRL definitie van STOWA aangehouden.

Initiatieven van de volgende technologieën zijn opgenomen in de notitie (dit is tevens de 'inhoudsopgave'):

- hoofdstuk 1: Strippen en/of scrubben;
- hoofdstuk 2: Membraanstripfen;
- hoofdstuk 3: Bipolaire membraan elektrolyse en membraanstripfen;
- hoofdstuk 4: Ionenwisseling.

2 STRIPPEN EN/OF SCRUBBEN

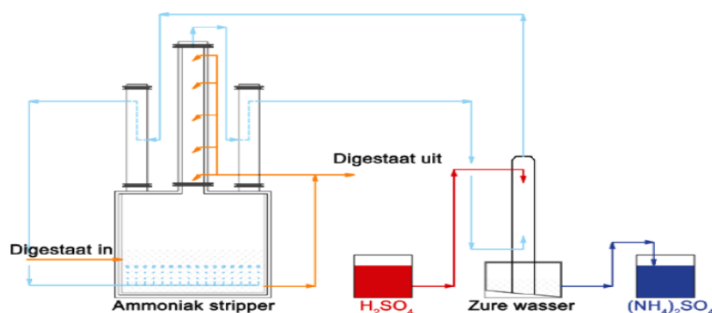
2.1 AMFER®

Organisatie	Colsen (industrie)	Locatie	rwzi Bath (pilotlocatie)
Technologie	strippen en scrubben	TRL	8 (technologie is te koop)
Jaar	heden		
Omschrijving	De AMFER (AMonium Fertilizer Recovery) technologie wint stikstof terug in de vorm van ammoniumsulfaat of ammoniumnitraat uit vergiste slib (digestaat) of centraat van biogasinstallaties door middel van strippen en scrubben. De AMFER is ontworpen voor digestaat, maar kan ook andere stikstofrijke afvalstromen verwerken. Het systeem kan gebruikt worden als batchproces of semi-continuproces. De AMFER installatie is ontworpen voor viskeuze stromen tot wel 10 % drogestof.		

Het verwijderingsrendement van stikstof in de AMFER installatie heeft een bereik van ongeveer 50 % tot 85 %. De installatie werkt op relatief lage temperaturen, waardoor de restwarmte van biogasinstallaties voldoende kan zijn om de AMFER te voorzien van warmte. Er is een project geweest bij rwzi Bath (stopgezet in 2015/2016) voor de behandeling van digestaat met de AMFER installatie (voor meer informatie hierover, zie "Opmerkingen" hieronder).

Afbeelding

AFBEELDING 2.1 PROCESSTROOMSCHEMA VAN DE 'AMFER' INSTALLATIE [1]



Schaal inputstroom	> 10.000 ton ingaande stroom / jaar	Inputstroom	Digestaat (pilot rwzi Bath), centraat of vloeibare mest
Schaal productstroom	n.b.	Stikstofproduct gevormd	(NH ₄) ₂ SO ₄ : 52 % (10,9 % N) NH ₄ NO ₃ : 35 % (11,7 % N) allebei vloeibaar
Stikstofconcentratie ingaande stroom	n.b.	Kosten	OPEX: €50.000/jaar CAPEX: n.b.
Elektrische energie	n.b.	Thermische energie	n.b.
Terugwinrendement	ca. 50 % tot 85 %	Chemicaliën gebruikt	NaOH, H ₂ SO ₄ /HNO ₃
GER-waarde grijs	n.b.	CO ₂ -uitstoot grijs	n.b.
GER-waarde groen	n.b.	CO ₂ -uitstoot groen	n.b.

Opmerkingen

Project bij rwzi Bath in 2015/2016 is stop gezet doordat er geen subsidie meer beschikbaar was. Na contact met Waterschap Brabantse Delta werd duidelijk dat de terugwinprijzen voor het product te laag waren, waardoor de business case niet sluitend was. Daarnaast waren de kosten voor het natronloog hoog en kon het digestaat niet goed ontwaterd worden tijdens het luchtstrippen in de AMFER installatie.

Bouwkosten bedragen circa €350.000 voor een capaciteit van 10.000 ton_{in}/jaar.

Bronnen

[1]

2.2 AMMONIUMSULFAAT UIT PROCESLUCHT DOOR GMB BIOENERGIE

Organisatie	GMB BioEnergie (industrie)	Locatie	Zutphen en Tiel (productielocaties)
Technologie	scrubben	TRL	9 (geoptimaliseerd proces, kunstmest wordt verkocht)
Jaar	2001 - heden		
Omschrijving	GMB BioEnergie droogt compost in biologische droogtunnels. De lucht afkomstig van de compost bevat veel ammoniak. De lucht wordt gescrubd met zwavelzuur waardoor ammoniumsulfaat ontstaat. GMB BioEnergie heeft geïnvesteerd in een concentratie en neutralisatiestap om het dunne spuiwater uit eigen compostering tot 35 - 40 % ammoniumsulfaat op te werken met een neutrale pH en laag gehalte zwevende stof. Het product van GMB is toegelaten onder Bijlage AA van de meststoffenwet, wat betekent dat het dus als meststof gebruikt mag worden.		
Afbeelding	Geen processchema beschikbaar		
Schaal inputstroom	n.b.	Inputstroom	lucht afkomstig van compost
Schaal productstroom	18.000 ton $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ / jaar	Stikstofproduct gevormd	$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$: 35-40 % (7,4-8,4 %N) vloeibaar
Stikstofconcentratie ingaande stroom	n.b.	Kosten	n.b.
Elektrische energie	n.b.	Thermische energie	n.b.
Terugwinrendement	n.b.	Chemicaliën gebruikt	H_2SO_4
GER-waarde grijs	n.b.	CO_2 -uitstoot grijs	n.b.
GER-waarde groen	n.b.	CO_2 -uitstoot groen	n.b.
Opmerkingen	Geen		
Bronnen	[2] [3] [4]		

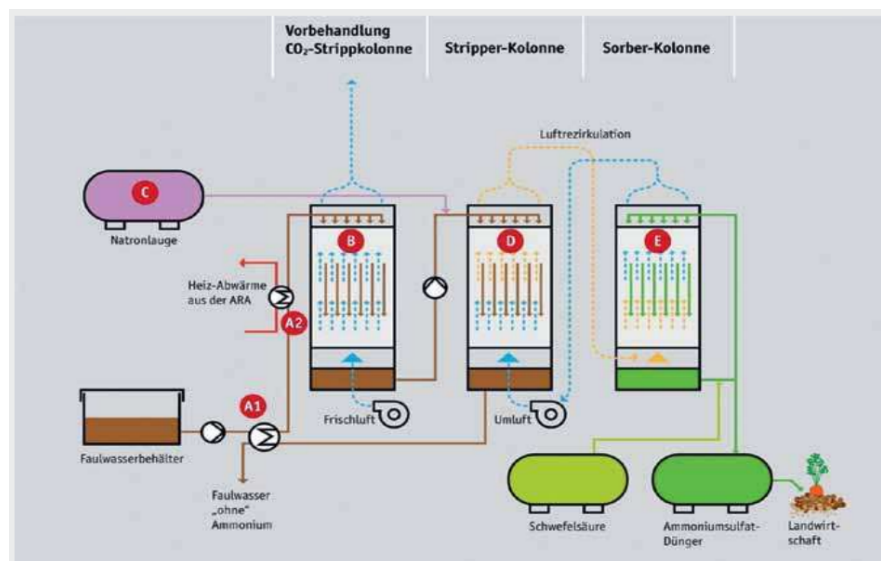
2.3 STRIPPING & SCRUBBING DOOR DETRICON

Organisatie	Detricon (industrie)	Locatie	Gent in België (locatie van organisatie)
Technologie	strippen en scrubben	TRL	8 (technologie is te koop)
Jaar	tot op heden		
Omschrijving	<p>Het Detricon stripping & scrubbing proces wint ammoniak terug uit de vloeibare fractie van mest, digestaat of andere vloeibare afvalstromen mits de ingaande stroom meer dan 0,1 % ammoniumstikstof bevat op basis van massa. Met de technologie kan zowel ammoniumnitraat als ammoniumsulfaat gemaakt worden afhankelijk van het gebruikte scrubberzuur. Door het verhogen van de pH en temperatuur schuift het evenwicht van ammonium naar ammoniak, wat vervolgens vervluchtigt door middel van het strippen met lucht afkomstig van de scrubber. De ammoniakrijke lucht reageert vervolgens met salpeterzuur of zwavelzuur tot ammoniumnitraat of ammoniumsulfaat in de scrubber.</p>		
Afbeelding	<p>AFBEELDING 2.2 PROCESSHEMA DOOR DETRICON [5]</p> <pre> graph LR DF[Dunne fractie] --> S[STRIPPER] S --> E[Effluent] S --> SCR[SCRUBBER] SCR --> HNO3[HNO3] SCR --> NH4NO3[NH4NO3] SCR --> S </pre>		
Schaal inputstroom	100 - 200.000 ton _{ingaaand} / jaar	Inputstroom	vloeibare fractie van mestdigestaat of centraat
Schaal productstroom	n.b.	Stikstofproduct gevormd	NH ₄ NO ₃ ; 52 % (17,4 % N) vloeibaar
Stikstofconcentratie ingaande stroom	> 0,1 % NH ₄ -N	Kosten	OPEX (incl. baten): € 0,9-1,2 / ton _{in} CAPEX: n.b.
Elektrische energie	n.b.	Thermische energie	n.b.
Terugwinrendement	n.b.	Chemicaliën gebruikt	NaOH, H ₂ SO ₄ of HNO ₃
GER-waarde grijs	n.b.	CO ₂ -uitstoot grijs	n.b.
GER-waarde groen	n.b.	CO ₂ -uitstoot groen	n.b.
Opmerkingen	De kostprijs is €300.000 voor een installatie van 3 m ³ /uur en €550.000 voor 8 m ³ /uur.		
Bronnen	[5]		

2.4 DÜNGER AUS ABWASSER DOOR EAWAG

Organisatie	Eawag (academisch)	Locatie	rwzi Opfikon (CH)
Technologie	strippen en scrubben	TRL	6 - 7 (technologie is in einde pilotfase en geoptimaliseerd)
Jaar	2011 - heden		
Omschrijving	In de eerste stap wordt de ingaande stroom door een filter geleid om neerslag in de warmtewisselaar te voorkomen. Na de filterstap wordt de temperatuur met behulp van een warmtewisselaar verhoogd tot 60-65 °C. Daarna wordt de CO ₂ uit de stroom gestript met lucht van buitenaf. In de vervolgstap wordt er natronloog aan de stroom toegevoegd om de pH verder te verlagen. In de stripper kolom wordt de ammoniak uit de stroom gestript met lucht afkomstig van de scrubber op 60-70 °C. In de vervolgstap wordt de ammoniak gescrubd met zwavelzuur, waardoor ammoniumsulfaat ontstaat.		

Afbeelding **AFBEELDING 2.3 PROCESSTROOMSCHEMA VAN HET 'DÜNGER AUS ABWASSER' INITIATIEF [6]**

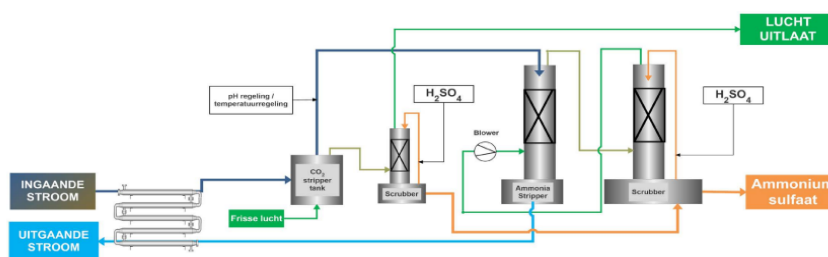


Schaal inputstroom	36.500 ton centraat/ jaar	Inputstroom	'vuilwater': vermoedelijk centraat
Schaal productstroom	n.b.	Stikstofproduct gevormd	(NH ₄) ₂ SO ₄ : 40 % (8,4 % N) vloeibaar
Stikstofconcentratie ingaande stroom	ca. 800 mg NH ₄ -N/L	Kosten	TCO (incl. baten): € 7,02/ kg N (bij 800 mg NH ₄ -N/L ingaande stroom)
Elektrische energie	1,1 kWh/kg N _{verwijderd}	Thermische energie	10 kWh/kg N _{verwijderd}
Terugwinrendement	90 %	Chemicaliën gebruikt	NaOH, H ₂ SO ₄
GER-waarde grijs	110 MJ/kg N _{verwijderd}	CO ₂ -uitstoot grijs	4,3 kg CO ₂ eq /kg N
GER-waarde groen	60 MJ/kg N _{verwijderd}	CO ₂ -uitstoot groen	3,9 kg CO ₂ eq /kg N
Opmerkingen		Geen.	
Bronnen		[6]	

2.5 AECO-NAR DOOR NIJHUIS INDUSTRIES

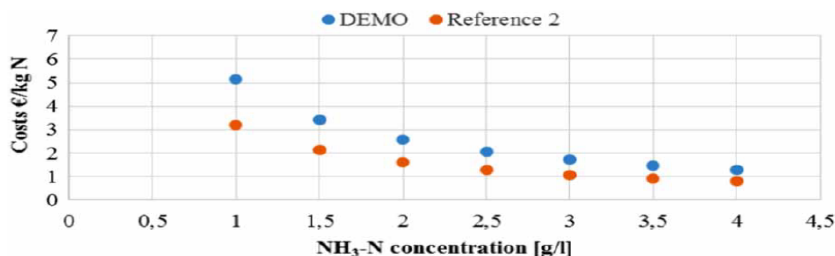
Organisatie	Nijhuis Industries (industrie)	Locatie	Bernard Matthews Ltd, Holton, Halesworth, Engeland; kalkoembedrijf in Engeland
Technologie	strippen en scrubben	TRL	9 (technologie is commercieel ingezet/verkocht)
Jaar	2016 - heden		
Omschrijving	Het Nijhuis Ammonium Recovery System (AECO-NAR) is ontworpen voor de behandeling van de vloeibare fractie van digestaat of centraat. Dit kan zowel toegepast worden op een rwzi als op een boerderij. Het proces bestaat uit een warmtewisselaar, CO ₂ strip tank, een ammoniakstripper en een scrubber. In de CO ₂ striptank wordt de vloeistof verwarmd tot 60-70 °C en er wordt lucht van buitenaf in de vloeistof geïnjecteerd om de CO ₂ te strippen. Doordat de CO ₂ gestript is, neemt de pH van de stroom toe waardoor de benodigde hoeveelheid natriumhydroxide (NaOH) afneemt. De vloeibare fractie uit de CO ₂ striptank wordt verder behandeld in de ammoniakstripper, waar de pH tussen de 8,5 en 9 is met een temperatuur tussen de 65-75 °C, zodat een groot gedeelte van de ammoniak verdampt. De ammoniakstripper gebruikt de lucht afkomstig van de scrubber als dragergas. Het gas uit de CO ₂ striptank en de ammoniakstripper wordt gescrubd met zwavelzuur in de scrubber zodat ammoniumsulfaat gevormd wordt. De scrubber is gevuld met pakking materiaal zodat het effectieve contactoppervlak tussen de vloeistof en het gas vergroot wordt. Een warmtewisselaar zorgt voor het terugwinnen van de benodigde warmte.		

Afbeelding AFBEELDING 2.4 PROCESSTROOMSCHEMA VAN DE NIJHUIS AECO-NAR [7]



Schaal inputstroom	27.000 ton digestaat/ jaar	Inputstroom	vloeibare fractie van mestdigestaat of centraat
Schaal productstroom	n.b.	Stikstofproduct gevormd	(NH ₄) ₂ SO ₄ : 35-38 % (7,4 - 8,0 %N) vloeibaar
Stikstofconcentratie ingaande stroom	1.000 - 4.000 mg NH ₄ -N/L	Kosten	TCO (incl. baten): €5,20/ kg N (bij 1.000 mg NH ₄ -N /L).
Elektrische energie	0,87 kWh/kg N _{verwijderd}	Thermische energie	0,29 kWh/kg N _{verwijderd}
Terugwinrendement	ca. 80 % - 90 %	Chemicaliën gebruikt	NaOH, H ₂ SO ₄
GER-waarde grijs	61 MJ/kg N _{verwijderd}	CO ₂ -uitstoot grijs	3,4 kg CO ₂ eq /kg N
GER-waarde groen	56 MJ/kg N _{verwijderd}	CO ₂ -uitstoot groen	3,0 kg CO ₂ eq /kg N

Opmerkingen DE KOSTEN ZIJN STERK AFHANKELIJK VAN DE INGAANDE CONCENTRATIE:



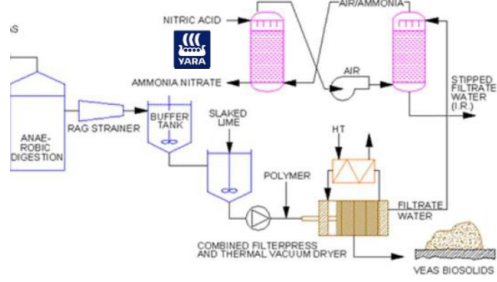

Bronnen

[8] [7] [9] [10]

2.6 NOCHEMNAR DOOR NIJHUIS INDUSTRIES (ONDER PATENT)

Organisatie	Nijhuis Industries (industrie)	Locatie	Doetinchem
Technologie	strippen	TRL	5 (nog in ontwikkelfase)
Jaar	2020 - heden		
Omschrijving	<p>De NoChemNAR is een doorontwikkeling op de AECO-NAR (strippen en scrubben) van de zelfde leverancier, waarbij het gros van de chemicaliën (circa 90%) wordt teruggewonnen. Dit bespaart kosten. Voor de terugwinning van chemie is circa 7 kWh/kg N extra elektrische energie voor nodig.</p> <p>De NoChemNAR is op dit moment nog in de ontwikkelfase. Nijhuis wacht nog op de goedkeuring van de patentaanvraag, daarom is er weinig informatie over de technologie beschikbaar. Het is de bedoeling dat de NoChemNAR ingezet kan worden op rwzi's en mestdigestaat.</p>		
Processchema	Er is geen processchema beschikbaar		
Schaal inputstroom	5 m ³ centraat/uur	Inputstroom	centraat (en in de toekomst mogelijk ook directe behandeling van digestaat)
Schaal productstroom	ca. 100 L product/ uur	Stikstofproduct gevormd	(NH ₄) ₂ SO ₄ ; 25 % (5,3 % N) vloeibaar; streefdoel is >20 % (> 16,4 % N) ammonia in toekomst
Stikstofconcentratie ingaande stroom	n.b.	Kosten	TCO (incl. baten): € -0,02 tot +1,49/ kg N
Elektrische energie	7,97 kWh/kg N _{verwijderd} (inschatting o.b.v AECO-NAR)	Thermische energie	0,29 kWh/kg N _{verwijderd} (inschatting o.b.v. AECO-NAR)
Terugwinrendement	ca. 80 - 90%	Chemicaliën gebruikt	NaOH, H ₂ SO ₄ , 90% besparing ten opzichte van AECO-NAR
GER-waarde grijs	77 MJ/kg N _{verwijderd}	CO ₂ -uitstoot grijs	4,9 kg CO ₂ eq /kg N
GER-waarde groen	43 MJ/kg N _{verwijderd}	CO ₂ -uitstoot groen	1,0 kg CO ₂ eq /kg N
Opmerkingen	<p>Het doel van de NoChemNAR is dat het kan concurreren met het Anammox proces voor de behandeling van stikstofrijke deelstromen. Dit is ook te zien aan de geschatte kosten van de NoChemNAR. Omdat niet veel informatie beschikbaar is, kunnen de gegevens lastig geverifieerd worden.</p>		
Bronnen	[11]		

2.7 STIKSTOFTERUGWINNING DOOR YARA EN VEAS

Organisatie	Yara en VEAS (industrie)	Locatie	rwzi Oslo (NO)
Technologie	strippen en scrubben	TRL	9
Jaar	2017-heden		
Omschrijving	Yara werkt in samenwerking met VEAS ammoniumnitraat terug op de rwzi in Oslo (650.000 i.e.). Er wordt gebluste kalk (calciumhydroxide) aan de centraat stroom toegevoegd om de pH te verhogen. Het centraat wordt eerst gestript met behulp van lucht afkomstig van de scrubber om de ammoniak eruit te halen. Vervolgens wordt de ammoniakrijke lucht gescrubd met salpeterzuur (HNO ₃) om ammoniumnitraat (NH ₄ NO ₃) te vormen. Op deze manier wordt 12-15 % van de totale ingaande hoeveelheid stikstof bij VEAS teruggewonnen		
Afbeelding	<p>AFBEELDING 2.5 PROCESSTROOMSCHEMA VAN HET STIKSTOFTERUGWINNING PROJECT VAN YARA EN VEAS [12]</p>  		
Schaal inputstroom	n.b.	Inputstroom	centraat
Schaal productstroom	4.000 ton product/ jaar	Stikstofproduct gevormd	NH ₄ NO ₃ : 54 % (18,1 %N) vloeibaar
Stikstofconcentratie ingaande stroom	n.b.	Kosten	n.b.
Elektrische energie	n.b.	Thermische energie	n.b.
Terugwinrendement	n.b.	Chemicaliën gebruikt	CaOH, HNO ₃
GER-waarde grijs	n.b.	CO ₂ -uitstoot grijs	n.b.
GER-waarde groen	n.b.	CO ₂ -uitstoot groen	n.b.
Opmerkingen		Geen	
Bronnen		[12] [13]	

2.8 SANIPHOS DOOR GMB BIOENERGIE

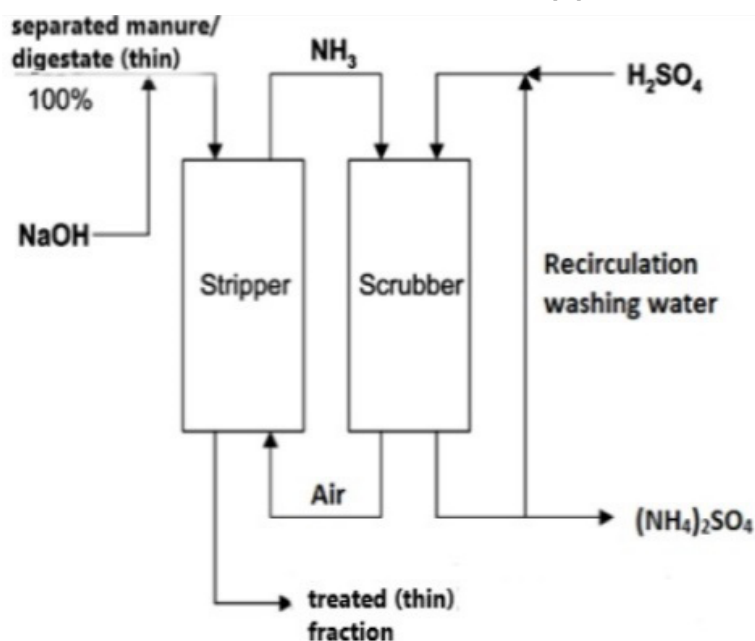
Organisatie	GMB BioEnergie (industrie)	Locatie	Zutphen (NL)
Technologie	strippen en scrubben	TRL	7
Jaar	2010 - 2017		
Omschrijving	De stikstof in de Saniphos van GMB BioEnergie wordt teruggewonnen uit apart ingezamelde urine, in plaats van centraat. In stap 1 wordt het aanwezige ureum gehydrolyseerd tot NH_3 . In stap 2 wordt de stroom gefilterd zodat grote deeltjes verwijderd worden. In stap 3 verwijdert een CO_2 stripper de aanwezige CO_2 . In stap 4 wordt struviet teruggewonnen middels magnesiumoxide dosering. In stap 5 wordt natronloog toegevoegd om de pH te verlagen. Hierdoor zal het ammonium omgezet worden in ammoniak wat vervolgens in stap 6 gestript wordt op een pH van 10-11 op 60 °C met proceslucht afkomstig van de scrubber. De warmte wordt vervolgens met een warmtewisselaar teruggewonnen. De ammoniak (NH_3) wordt gestript in stap 7 met een ammoniumsulfaat oplossing door middel van het scrubben met zwavelzuur.		
Schaal inputstroom	5.000 ton urine / jaar	Inputstroom	urine
Schaal productstroom	n.b.	Stikstofproduct gevormd	vloeibaar $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$
Stikstofconcentratie ingaande stroom	n.b.	Kosten	n.b.
Elektrische energie	47,5 kWh/ m ³ urine	Thermische energie	
Terugwinrendement	n.b.	Chemicaliën gebruikt	MgO, NaOH, H ₂ SO ₄
GER-waarde grijs	n.b.	CO ₂ -uitstoot grijs	n.b.
GER-waarde groen	n.b.	CO ₂ -uitstoot groen	n.b.
Opmerkingen	GMB BioEnergie heeft de installatie in 2017 stopgezet omdat het project niet rendabel was. Een deel van de urine was afkomstig van Moeders voor Moeders. Moeders voor Moeders zet hun urine nu af bij waternet, waar het bij de vergister wordt toegevoegd om struviet terug te winnen.		
Bronnen		[14] [15]	

2.9 STIKSTOF RAFFINAGE DOOR CIRCULAR VALUES

Organisatie	Circular Values BV (industrie)	Locatie	Nederland
Technologie	strippen en scrubben	TRL	9 (technologie is commercieel)
Jaar	heden		
Omschrijving	De technologie van Circular Values is zowel beschikbaar op kleine schaal (mobiel) als grote schaal (stationair). De technologie wordt met name ingezet in de landbouwsector.		
	Aan de ingaande stroom wordt eerst natronloog toegevoegd om de pH te verhogen en/of de temperatuur wordt verhoogd. Hierdoor verschuift het evenwicht naar ammoniak, wat in de stripper gestript wordt met lucht afkomstig van de scrubber. De ammoniakrijke lucht wordt gescrubd met zwavelzuur of salpeterzuur om respectievelijk ammoniumsulfaat of ammoniumnitraat te vormen. De N-terugwinefficiëntie is tot wel 85 % van de ingaande stroom. Doordat het een gesloten proces is, zijn er geen emissies.		
Schaal inputstroom	mobiele unit: 50.000 - 100.000 ton _{ingtaande} / jaar; stationaire unit: 'onbeperkt'	Inputstroom	vloeibare fractie van mestdigestaat of centraat
Schaal productstroom	n.b.	Stikstofproduct gevormd	vloeibaar $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ of vloeibaar NH_4NO_3
Stikstofconcentratie ingaande stroom	n.b.	Kosten	OPEX: € 1,0-3,0 / ton behandeld CAPEX: n.b.
Elektrische energie	n.b.	Thermische energie	n.b.
Terugwinrendement	n.b.	Chemicaliën gebruikt	NaOH, H_2SO_4 of HNO_3
GER-waarde grijs	n.b.	CO_2 -uitstoot grijs	n.b.
GER-waarde groen	n.b.	CO_2 -uitstoot groen	n.b.
Opmerkingen	Bouwkosten zijn circa 100.000 - 265.000 EUR (o.b.v. genoemde schaal ingaande stroom).		

Afbelding

AFBEELDING 2.6 PROCESSTROOMSCHEMA VAN HET 'STIKSTOF RAFFINAGE' PROCES [16]



Bronnen

[16]

3 MEMBRAANSTRIPPEN

3.1 POWERSTEP DOOR EAWAG, ATEMIS EN SUSTEC

Organisatie	Eawag (CH), ATEMIS GmbH (DE), SUSTEC BV (NL) (academisch en industrie)	Locatie	rwzi Althenrein (CH); rwzi Yverdon- les Bains (CH)
Technologie	membraan strippen	TRL	8 (grote praktijkinstallatie op rwzi Althenrein, nog geen andere locaties)
Jaar	2015 - heden		
Omschrijving	In de eerste stap wordt CO ₂ uit het centraat gestript, waarna er natronloog (NaOH) wordt toegevoegd om de pH te verhogen. In de coagulatie/flocculatie tank slaan alle vaste organische stoffen neer, welke worden verwijderd door een filter. Na deze stap volgt een laatste filterstap, zodat de membranen niet verstopt raken. Vervolgens wordt de temperatuur verhoogd met behulp van een warmtewisselaar. Het proces gebruikt een gas permeabel membraan, waardoor NH ₃ diffundeert. Het evenwicht verschuift door de hoge pH van NH ₄ ⁺ naar NH ₃ . Dit kan door het membraan diffunderen, waarna het NH ₃ reageert aan de permeaatkant van het membraan met zwavelzuur tot ammoniumsulfaat, wat verkocht kan worden als kunstmest.		
Afbeelding	<p>AFBEELDING 3.1 PROCESSTROOMSCHEMA VAN HET 'POWERSTEP' INITIATIEF [17]</p>		
Schaal inputstroom	128.000 ton centraat/ jaar	Inputstroom	centraat
Schaal productstroom	n.b.	Stikstofproduct gevormd	vloeibaar (NH ₄) ₂ SO ₄
Stikstofconcentratie ingaande stroom	ca. 750 mg NH ₄ -N/L	Kosten	TCO (incl. baten): €3,39 /kg N (bij 750 mg NH ₄ -N/L ingaande stroom)
Elektrische energie	2,55 kWh/kg N _{verwijderd}	Thermische energie	8,6 kWh/kg N _{verwijderd}
Terugwinrendement	83%	Chemicaliën gebruikt	NaOH, H ₂ SO ₄ , citroenzuur
GER-waarde grijs	185 MJ/kg N _{verwijderd}	CO ₂ -uitstoot grijs	8,9 kg CO ₂ eq /kg N
GER-waarde groen	135 MJ/kg N _{verwijderd}	CO ₂ -uitstoot groen	8,4 kg CO ₂ eq /kg N
Opmerkingen	Er is veel voorbehandeling nodig van de ingaande stroom, zoals te zien in afbeelding 3.1. Hogere GER waarde en CO ₂ impact dan andere technologieën door hoog natronloog verbruik.		
Bronnen	[17] [18]		

3.2 STIKSTOFTERUGWINNING DOOR SUEZ

Organisatie	SUEZ Green Tech GmbH (industrie)	Locatie	n.b.
Technologie	membraanstrippen en kristallisatie	TRL	8 (technologie is beschikbaar)
Jaar	heden		
Omschrijving	Eerst wordt de stroom voorbehandeld zodat alle fosfor volledig opgelost is. Vervolgens wordt de stroom gescheiden in een vloeibare stroom en een vaste stroom door middel van filtratie. De nutriëntrijke vloeibare fractie wordt eerst behandeld met magnesiumdosering om fosfaat terug te winnen. Vervolgens wordt stikstof teruggewonnen in de vorm van ammoniumsulfaat middels membraanstrippen gevolgd door kristallisatie.		
Afbeelding	<p>AFBEELDING 3.2 OVERZICHT VAN HET 'SUEZ' PROCES [19]</p>		
Schaal inputstroom	10.000 ton ingaand/ jaar; Er wordt gewerkt aan een plant voor 150.000 ton/ jaar.	Inputstroom	vloeibare fractie van mestdigestaat of centraat
Schaal productstroom	n.b.	Stikstofproduct gevormd	vloeibaar $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$
Stikstofconcentratie ingående stroom	n.b.	Kosten	n.b.
Elektrische energie		Thermische energie	
Terugwinrendement	n.b.	Chemicaliën gebruikt	NaOH , H_2SO_4 , (magnesium)
GER-waarde grijs	n.b.	CO_2 -uitstoot grijs	n.b.
GER-waarde groen	n.b.	CO_2 -uitstoot groen	n.b.
Opmerkingen	De installatie wint zowel fosfaat als stikstof terug ('twee vliegen in een klap'). Daarom is ook magnesium benodigd om de fosfaat terug te winnen.		
Bronnen	[19]		

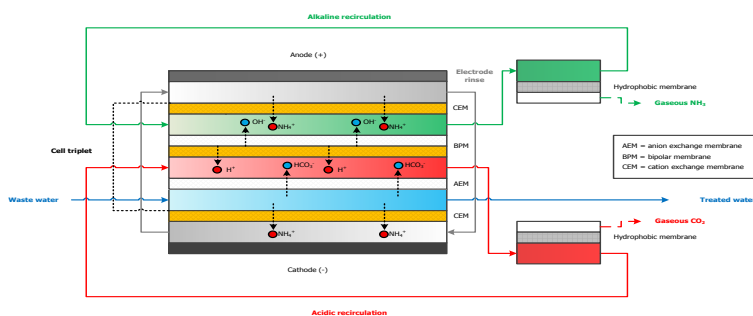
4 BIPOLAIRE MEMBRAAN ELEKTRODIALYSE EN MEMBRAANSTRIPPEN

4.1 N₂KWH DOOR TU DELFT

Organisatie	TU Delft (academisch)	Locatie	Delft
Technologie	bipolaire elektrolyse en membraan strippen	TRL	4 op synthetisch afvalwater (nog in ontwikkelfase, kleine pilot)
Jaar	2016-heden		
Omschrijving	In het N ₂ kWh project wordt onderzoek gedaan naar de terugwinning van ammoniak uit reststromen. De ammoniak wordt gebruikt voor het produceren van elektriciteit door middel van Solid Oxide Fuel Cells. Een van de terugwinttechnologieën die onderzocht wordt is de terugwinning van ammoniak met behulp van bipolaire elektrolyse gevolgd door membraan gas strippen. Het afvalwater met een hoog NH ₄ HCO ₃ gehalte wordt eerst behandeld door bipolaire elektrolyse. Door het elektrische potentiaalverschil gaat NH ₄ ⁺ door het kation uitwisselingsmembraan naar een basische circulatieoplossing. Het HCO ₃ ⁻ ion gaat door het anion uitwisselingsmembraan naar een zure circulatieoplossing. Daarnaast wordt water door het elektrische potentiaalverschil gesplitst in OH ⁻ en H ⁺ . Dit zorgt ervoor dat CO ₂ gevormd wordt in de zure circulatieoplossing door de reactie van H ⁺ met HCO ₃ ⁻ . In de basische circulatie oplossing wordt ammonia (NH ₃) gevormd door de reactie van OH ⁻ met NH ₄ ⁺ . Een hydrofoob membraan kan de ammoniak onttrekken uit de oplossing door een vacuüm op te leggen aan de permeaatzijde van het membraan. Er wordt daarnaast ook water onttrokken uit de oplossing, waardoor het product dus water bevat.		

Afbeelding

AFBEELDING 4.1 SCHEMATISCHE WEERGAVE VAN BIPOLAIRE ELEKTRODIALYSE MET MEMBRAANSTRIPPEN [20]



Schaal inputstroom	labschaal	Inputstroom	reststroom met een hoog NH ₄ ⁺ gehalte (bv. centraat)
Schaal productstroom	n.b.	Stikstofproduct gevormd	NH ₄ OH: 10-12% oplossing
Stikstofconcentratie ingaande stroom	1.500 mg NH ₄ -N/L	Kosten	n.b.
Elektrische energie	5,3 kWh/kg N _{verwijderd}	Thermische energie	geen
Terugwinrendement	88 %	Chemicaliën gebruikt	geen
GER-waarde grijs	52 MJ/kg N _{verwijderd}	CO ₂ -uitstoot grijs	3,4 kg CO ₂ eq /kg N
GER-waarde groen	28 MJ/kg N _{verwijderd}	CO ₂ -uitstoot groen	0,51 kg CO ₂ eq /kg N
Opmerkingen	Voordeel van deze technologie is dat er geen chemicaliën worden gebruikt. Het concept is tot nu toe alleen onderzocht op synthetisch afvalwater (à la centraat). Lage GER en CO ₂ waarde in vergelijking met strippen en scrubben en membraanstrippen door geen chemicaliënverbruik.		

Bronnen

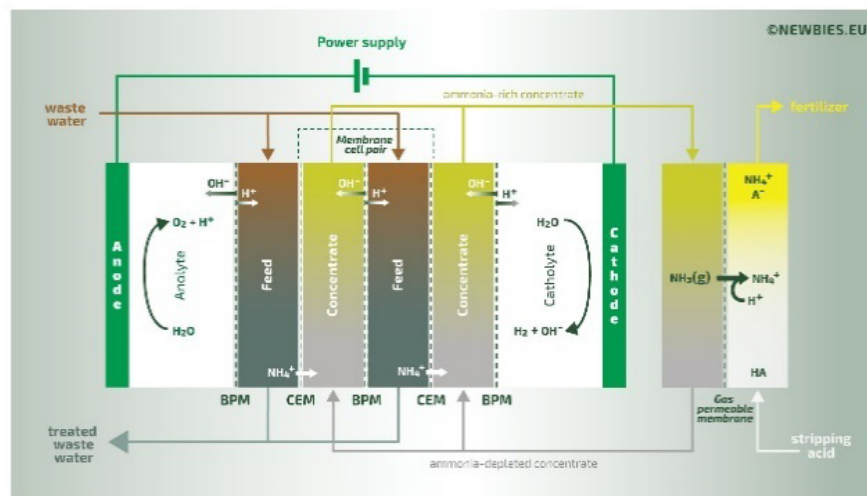
[21] [22] [23]

4.2 LIFE NEWBIES PROJECT

Organisatie	W&F Technologies, ICRA, Evides, Wetsus, LIFE (academisch)	Locatie	rwzi Trargisa (ES)
Technologie	bipolaire elektrolyse en membraan gas strippen	TRL	5 (kleine pilot)
Jaar	heden		
Omschrijving	De technologie in het project behandelt ingaande stromen met een relatief hoge ammoniumconcentratie. Het aanwezige ammonium in het afvalwater wordt met behulp van bipolaire elektrolyse naar een concentraatstroom getransporteerd. Door de uitwisseling middels de bipolaire membranen heeft de concentraatstroom een vrij hoge pH, waardoor het evenwicht verschuift van ammonium naar ammoniak. Vervolgens wordt de ammoniakrijke stroom gestript met behulp van membraan gas strippen. Het ammoniak zal door het membraan diffunderen en reageren met zwavelzuur om ammoniumsulfaat te vormen. De drijvende kracht bij het membraan gas strippen is het aanwezige zwavelzuur aan de permeatzijde van het membraan.		

Afbeelding

AFBEELDING 4.2 PROCESSTROOMSCHEMA VAN HET 'LIFE-NEWBIES' PROJECT [24]



Schaal inputstroom	1 m ³ / jaar (pilot schaal)	Inputstroom	centraat
Schaal productstroom	n.b.	Stikstofproduct gevormd	(NH ₄) ₂ SO ₄ ; 15-20 % (3,2-4,2 % N) vloeibaar
Stikstofconcentratie ingaande stroom	n.b.	Kosten	n.b.
Elektrische energie	2,75 kWh/kg N _{verwijderd}	Thermische energie	geen
Terugwinrendement	60 - 90%	Chemicaliën gebruikt	H ₂ SO ₄
GER-waarde grijs	44 MJ/kg N _{verwijderd}	CO ₂ -uitstoot grijs	2,1 kg CO ₂ eq /kg N
GER-waarde groen	32 MJ/kg N _{verwijderd}	CO ₂ -uitstoot groen	0,6 kg CO ₂ eq /kg N
Opmerkingen	Het verschil met het N ₂ kWh project (factsheet 3.1) is het feit dat het N ₂ kWh project vacuüm membraan strippen gebruikt om ammonia terug te winnen in plaats van ammoniumsulfaat bij het LIFE NEWBIES project.		
Bronnen	[24] [25]		

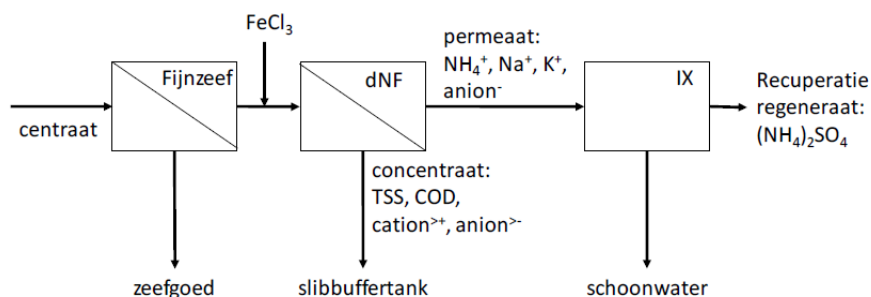
5 IONENWISSELING

5.1 DIRECT NF-IX SVB SLUISJESDIJK

Organisatie	W+B, SVB Sluisjesdijk, Waterschap Hollandse Delta (industrie)	Locatie	SVB Sluisjesdijk
Technologie	ionenwisselaar	TRL	4 (labschaal)
Jaar	2019		
Omschrijving	Als onderdeel van een variantenstudie voor de terugwinning van stikstof uit centraat is het volgende concept onderzocht op labschaal. In de eerste stap gaat het centraat door een fijnzeef heen om eventueel onopgeloste stoffen te verwijderen. Vervolgens wordt als voorbehandeling FeCl_3 gedoseerd om organische stof te coaguleren. In de vervolgstap wordt met behulp van directe nanofiltratie het grootste deel van de zwevende stof (SS), Chemische Zuurstofverbruik componenten (CZV) en tweewaardige kationen verwijderd. De resterende stroom wordt door middel van een ionenwisselaar behandeld. De H^+ ionen in de ionenwisselaar worden uitgewisseld met NH_4^+ ionen uit het permeaat afkomstig van de directe nanofiltratie (dNF). De ionenwisselaar wordt geregenereerd met zwavelzuur (H_2SO_4) zodat ammoniumsulfaat ($(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$) ontstaat.		

Afbeelding

AFBEELDING 5.1 PROCESSTROOMSCHEMA VAN HET 'NF-IX SVB SLUISJESDIJK' PROJECT [26]



Schaal inputstroom	labschaal	Inputstroom	centraat
Schaal productstroom	1 - 5 % van ingaande stroom	Stikstofproduct gevormd	onbekend % vloeibaar $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$
Stikstofconcentratie ingaande stroom	1.400 mg N/ L	Kosten	n.b.
Elektrische energie	0,33 kWh/kg $N_{\text{verwijderd}}$	Thermische energie	geen
Terugwinrendement	90 %	Chemicaliën gebruikt	H_2SO_4 , FeCl_3
GER-waarde grijs	79 MJ/kg $N_{\text{verwijderd}}$	CO_2 -uitstoot grijs	1,7 kg CO_2 eq /kg N
GER-waarde groen	77 MJ/kg $N_{\text{verwijderd}}$	CO_2 -uitstoot groen	1,5 kg CO_2 eq /kg N
Opmerkingen	Het percentage ammoniumsulfaat in de regeneraatstroom is niet onderzocht in het labonderzoek. Uiteindelijk heeft Waterschap Hollandse Delta voor een alternatieve variant gekozen, waardoor dit concept niet verder is uitgewerkt.		
Bronnen		[26]	

5.2 LIFE ENRICH PROJECT

Organisatie	Cetaqua, AQUATEC, Universitat Politècnica de Catalunya, IRTA, Aguas De Murcia, Universitat politècnica de Valencia. ASG	Locatie	Valencia (ES)
Technologie	ionenwisselaar (zeoliet)	TRL	4 - 6 (lastig in te schatten door gebrek aan informatie)
Jaar	2017 - 2021		
Omschrijving	<p>Het doel van het LIFE ENRICH project is het bijdragen aan een circulaire economie door de terugwinning van nutriënten uit rioolwater en in te zetten als meststof. Er wordt fosfor teruggewonnen in de vorm van struviet door middel van magnesiumdosering. De ammoniumstikstof wordt teruggewonnen met behulp van een ionenwisselaar (zeoliet) met membranen als vervolgstap om een ammoniumzout terug te winnen.</p> <p>Het onderzoek heeft aangetoond dat er een 10 % vermindering van de rwzi OPEX is en ook 10 % vermindering van lachgasemissies van de rwzi door de stikstofterugwinning.</p>		
Afbeelding	<p>AFBEELDING 5.2 OVERZICHT VAN HET LIFE ENRICH PROJECT [27]</p>		
Schaal inputstroom	n.b.	Inputstroom	centraat
Schaal productstroom	n.b.	Stikstofproduct gevormd	ammoniumzout
Stikstofconcentratie ingaande stroom	n.b.	Kosten	n.b.
Elektrische energie	n.b.	Thermische energie	n.b.
Terugwinrendement	n.b.	Chemicaliën gebruikt	magnesiumdosering, onbekend zuur
GER-waarde grijs	n.b.	CO ₂ -uitstoot grijs	n.b.
GER-waarde groen	n.b.	CO ₂ -uitstoot groen	n.b.
Opmerkingen	Men moet er op bedacht zijn dat wellicht medicijnresten kunnen adsorberen aan het zeoliet [28].		
Bronnen	[27]		

5.3 LIFE RECOVERY PROJECT

Organisatie	Àrea Metropolitana de Barcelona, Aqualogy, Degremont, Aigües de Barcelona, Waterschap Brabantse Delta, Rota mining corporation, ZeoCat, ZEOCEM	Locatie	rwzi Vilanova i la Geltrú (ES)
Technologie	ionenwisselaar (zeoliet)	TRL	4 - 6 (lastig in te schatten door gebrek aan informatie)
Jaar	2013 - 2017		
Omschrijving	Het prototype bestaat uit een voorbehandelingsstap, biosorptie stap (verwijdering van zware metalen), primaire zuiveringsstap en een scheidingsstap voor vaste deeltjes. De stikstof wordt vervolgens teruggewonnen met behulp van een ionenwisselaar bestaande uit een zeoliet. Het zeoliet heeft een hoge affiniteit voor ammonium. De kolom wordt geregenereerd met 4 % NaOH, zodat de NH_4^+ ionen worden uitgewisseld met Na^+ ionen. Het regenerant heeft hierdoor een hoge pH (> 12), met een hoge concentratie ammonia.		
Afbeelding	<p>AFBEELDING 5.3 OVERZICHT VAN HET LIFE RECOVERY PROJECT [29]</p> <p>Figure 1. General layout of the LIFE RECOVERY process Figura 1. Esquema general del proceso LIFE RECOVERY</p>		
Schaal inputstroom	8.400 ton _{ingand} / jaar	Schaal inputstroom	voorbehandeld rioolwater
Schaal productstroom	n.b.	Schaal productstroom	NH_4OH : 0,1 - 0,2 %
Stikstofconcentratie ingaande stroom	ca. 50 mg $\text{NH}_4\text{-N/L}$	Stikstofconcentratie ingaande stroom	TCO: ~ € 7,4/ kg N
Elektrische energie	n.b.	Elektrische energie	n.b.
Terugwinrendement	90 %	Terugwinrendement	NaOH
GER-waarde grijs	n.b.	GER-waarde grijs	n.b.
GER-waarde groen	n.b.	GER-waarde groen	n.b.
Opmerkingen	Geen		
Bronnen	[29] [30]		

5.4 WATERFABRIEK WILP

Organisatie	Waterschap Vallei en Veluwe en Witteveen+Bos en RHDHV (DWR combinatie)	Locatie	rwzi Terwolde
Technologie	ionenwisselaar	TRL	6 (grote pilot)
Jaar	2019 - 2020		
Omschrijving	In de pilot waterfabriek Wilp wordt rioolwater gezuiverd tot zeer schoon effluent door middel van het scheiden van verschillende fracties uit het rioolwater. De zuivering is volledig fysisch-chemisch ontworpen (dus zonder biologisch actief slib).		

In de laatste stap van de waterfabriek, na de nanofiltratie, rest alleen nog ammoniumstikstof in het water. De ammoniumstikstof wordt verwijderd met ionenwisselaars die NH_4^+ uitwisselen met H^+ . Als de ionenwisselaar verzadigd is, wordt het hard geregenereerd met zwavelzuur. Het ammoniumstikstof in het hars wordt terug gewisseld met H^+ en wordt als ammoniumsulfaat afgevoerd met het regeneraat. Om een zo puur mogelijk product te krijgen uit het stikstofverwijderende hars, wordt het water daarvoor nog behandeld met een onthardend hars om calcium en magnesium maximaal te verwijderen.

Afbeelding

AFBEELDING 5.4 OVERZICHT VAN 'WATERFABRIEK WILP' [31]



Schaal inputstroom	5 m ³ rioolwater jaar	Inputstroom	voorbehandeld rioolwater
Schaal productstroom	1 -5 % van ingaande stroom	Stikstofproduct gevormd	(NH ₄) ₂ SO ₄ ; ca. 1 % oplossing
Stikstofconcentratie ingaande stroom	50 - 70 mg N/l	Kosten	n.b.
Elektrische energie	0,38 kWh/kg N _{verwijderd}	Thermische energie	geen
Terugwinrendement	>98%	Chemicaliën gebruikt	H ₂ SO ₄ , HCl (voor ontharding)
GER-waarde grijs	47 MJ/kg N _{verwijderd}	CO ₂ -uitstoot grijs	1,2 kg CO ₂ eq /kg N
GER-waarde groen	46 MJ/kg N _{verwijderd}	CO ₂ -uitstoot groen	1,0 kg CO ₂ eq /kg N
Opmerkingen	Mogelijke aanwezigheid van zware metalen en microverontreinigingen (geneesmiddelen) in ammoniumsulfaatoplossing (het regeneraat). De concentraties zijn onbekend.		
Bronnen	Witteveen+Bos intern		

6 BIBLIOGRAFIE

- [1] J. Bijnagte, „Technology for N recovery as ammonia nitrate/sulphate from raw digestate with “AMFER” stripping process (ID 455),” Colsen, [Online]. Available: https://nutriman.net/farmer-platform/technology/id_455.
- [2] „INZET VAN INNOVATIEVE TECHNOLOGIE STIKSTOFTERUGWINNING,” EFGF, [Online]. Available: <https://www.efgf.nl/actueel/inzet-van-innovatieve-technologie-stikstofterugwinning>.
- [3] „Nitrogen recovery from wwtp sludge (biodrying),” Dutch Water Technology, [Online]. Available: <https://www.dutchwatertechnology.com/our-solutions/nitrogen-recovery-from-wwtp-sludge>.
- [4] B. Wicherink, Interviewee, Interview met GBM BioEnergie. [Interview]. 17 12 2020.
- [5] D. de Wilde, „Technology for N recovery as inorganic fertilizer starting from liquid fraction of manure, digestate or other waste streams with “Detricon” stripping and scrubbing process (ID:296),” DETRICON, [Online]. Available: https://nutriman.net/farmer-platform/technology/id_296.
- [6] M. Böhler, S. Büttner, C. Liebi en H. Siegrist, „DÜNGER AUS ABWASSER,” 2012. [Online]. Available: https://www.dora.lib4ri.ch/eawag/islandora/object/eawag%3A8977/datastream/PDF/B%C3%B6hler-2012-D%C3%BCnger_aus_Abwasser._Ammoniakstrippung_mittels-%28published_version%29.pdf.
- [7] H. Menkveld en E. Broeders, „Recovery of ammonia from digestate as fertilizer,” *Water Practice & Technology*, vol. 13, nr. 2, pp. 382-387, 2018.
- [8] N. Industries, „NIJHUIS AECO-NAR,” 07 2017. [Online]. Available: https://www.groenemineralencentrale.nl/sites/default/files/2017-11/Product%20Sheet_AECO-NAR_JUNE_DIGITAL_0.pdf.
- [9] F. Oesterholt, S. Matassa, L. Palmen, K. Roest en W. Verstraete, „Pilot scale production of single cell proteins using the power-to-protein concept,” [Online]. Available: <https://www.powertoprotein.eu/wp-content/uploads/www.powertoprotein.eu-publications-presentation-irrc-2017-session-1a-kees-roest-kwr-power-to-protein.pdf>.
- [10] R. van Zelm, R. de Paiva Seroa de Motta, W. Yee Lam, W. Menkveld en E. Broeders, „Life cycle assesment of side stream removal and recovery of nitrogen from wastewater treatment plants,” *Journal of Industrial Ecology*, vol. 24, nr. 4, pp. 913-922, 2020.
- [11] N. Industries, Mailcontact met Nijhuis Industries, 2020.
- [12] Ammoniumterugwinning uit afvalwater en concentraatstromen (W+B Powerpoint).
- [13] „Yara’s recovery and reuse of nitrogen from municipal waste water,” Yara International ASA, 11 04 2017. [Online]. Available: <http://www.circularity.eu/project/yara-recovery/>.
- [14] P. Kuntke, „Nutrient and energy recovery from urine,” Wageningen University, Wageningen, 2013.
- [15] „SANIPHOS: FOSFAAT EN STIKSTOF UIT URINE,” Nutrient Platform NL, [Online]. Available: <https://www.nutrientplatform.org/succesverhalen/gmb/>.
- [16] S. Mommers, „Technology for N Recovery as liquid ammonium sulphate or ammonium nitrate starting from separated liquid slurry with “Circular Values” stripping and scrubbing process (ID:265),” Circular Values, [Online]. Available: https://nutriman.net/farmer-platform/technology/id_265.
- [17] M. Böhler, A. Hernandez, J. Fleiner, W. Gruber en A. Seyfried, „WP4 – Nitrogen management,” 20 06 2018. [Online]. Available: http://powerstep.eu/system/files/generated/files/resource/d-4-3-operation-and-optimization-of-membrane-ammonia-stripping_0.pdf.
- [18] H. Siegrist en M. Boehler, „FULL SCALE DEMONSTRATION OF ENERGY POSITIVE SEWAGE TREATMENT PLANT CONCEPTS TOWARDS MARKET PENETRATION,” 06 07 2017. [Online]. Available: <http://powerstep.eu/system/files/generated/files/resource/10-siegrist-recovery-of-nitrogen-from-wastewater.pdf>.

- [19] K. Bastuck, „Technology for N&P recovery as phosphorus salt and ammonium sulphate from manure and digestate with “SUEZ” process (ID:371),” SUEZ, [Online]. Available: https://nutrیمان.net/farmer-platform/technology/id_371.
- [20] N. van Linden, From pollutant to power: Ammonia Recovery by electro dialysis bipolar and vacuum membrane stripping, 2018.
- [21] „From pollutant to power | NWO STW – IWT,” [Online]. Available: <https://www.emconsult.nl/opdrachtgevers/projecten/n2kwh-from-pollutant-to-power/>.
- [22] N. van Linden, H. Spanjers en J. van Lier, „Gas recovery from wastewater”. Patent WO2019151855A1, 08 08 2019.
- [23] N. van Linden, G. Bandinu, D. Vermaas, H. Spanjers en J. van Lier, „Bipolar membrane electro dialysis for energetically competitive ammonium removal and dissolved ammonia production,” *Journal of Cleaner Production*, vol. 259, 2020.
- [24] „A smarter use of organic nitrogen,” LIFE NEWBIES, [Online]. Available: <https://newbies.eu/technology/>.
- [25] „NEWBIES Pilot Installation,” LIFE NEWBIES, [Online]. Available: <https://newbies.eu/pilot-project/>.
- [26] M. Christiaens, T. Liu, J. Schut en M. Stefani, „Direct NF-IX SVB Sluisjesdijk: Rapportage initiële haalbaarheid (fase 1),” Witteveen+Bos, Rotterdam, 2019.
- [27] „Boosting synergies between water and agriculture sectors,” LIFE ENRICH, [Online]. Available: http://www.life-enrich.eu/wp-content/uploads/AF_CET_NoticeBoard_Enrich.pdf.
- [28] A. Martucci, L. Pasti, N. Marchetti, A. Cavazzini, F. Dondi en A. Alberti, „Adsorption of pharmaceuticals from aqueous solutions on synthetic zeolites,” *Microporous and Mesoporous Materials*, vol. 148, nr. 1, pp. 174-183, 2012.
- [29] „LIFE NECOVERY Layman’s report,” LIFE NECOVERY, [Online]. Available: <http://www.life-necovery.eu/index.php/life-necovery-laymans-report-now-available/>.
- [30] „LIFE NECOVERY Final Report,” 31 07 2018. [Online]. Available: http://www.life-necovery.eu/wp-content/uploads/2019/02/NECOVERY_Final-report_short-technical-version.pdf.
- [31] „Waterfabriek Wilp,” [Online]. Available: <https://www.vallei-veluwe.nl/toptaken/bij-mij-in-debuurt/in-voorbereiding/waterfabriek-wilp/>.
- [32] J. Dan, 2021.
- [33] H. Aarts, „Technology for N recovery as liquid fertilizer starting from liquid manure or biogas digestate with plasma manure processing system (ID:276),” N2 Applied, [Online]. Available: https://nutrیمان.net/farmer-platform/technology/id_276.
- [34] P. Blanc, B. Ducastel, J. . Cazin en M. Al Blooshi, „First-Time Implementation of Innovative In situ Biotechnology on an Offshore Platform in Arabian Gulf for Continuous Water Quality Monitoring and Early Leak Detection,” in *Abu Dhabi International Petroleum Exhibition & Conference*, Abu Dhabi, 2017.
- [35] N. Applied, „ENERGY EFFICIENT PROCESS FOR PRODUCING NITROGEN OXIDE”. Norwegian Patent WO2012/150865, 29 12 2015.

BIJLAGE 4

METHODIEK DUURZAAMHEIDSIMPACT

1 INTRODUCTIE

Deze notitie is onderdeel van het eindrapport van STOWA-onderzoek: stikstofterugwinning uit rioolwater. In dat eindrapport is de duurzaamheidsimpact van de stikstofterugwin technologieën uitgedrukt in de GER-waarde en CO₂-uitstoot per kg N_{verwijderd}. De notitie presenteert achtereenvolgens de gehanteerde methodiek en de resultaten per technologie. De resultaten zijn tevens vermeld in het hoofdrapport. De notitie dient als naslagwerk op het eindrapport.

2 UITGANGSPUNTEN

In de duurzaamheidsbepaling van elke technologie zijn de volgende uitgangspunten gehanteerd:

- de duurzaamheidsimpact is gebaseerd op de exploitatie van de techniek. Dat wil zeggen: inbegrepen in de berekening zijn het chemicaliën- en energieverbruik voor de terugwinning van stikstof. De duurzaamheidsimpact van de nieuwbouw van de installaties is niet meegenomen;
- de kengetallen voor de GER- en CO₂-waarde van elke hulpstof zijn uit SimaPro, versie 9.1.1., overgenomen. De kengetallen van de volgende hulpstoffen zijn uit de database gehaald:
 - 1 kg Sulfuric acid {RER} | production;
 - 1 kg Sodium hydroxide, without water, in 50 % solution state {GLO} | market for;
 - 1 kg Hydrochloric acid, without water, in 30 % solution state {RER} | market for;
 - 1 kg Iron (III) chloride, without water, in 40 % solution state {GLO} | market for;
 - 1 kg Citric acid {RER} | production;
 - 1 kWh Electricity, medium voltage {NL} | market for;
 - 1 kWh Electricity, low voltage {NL} | electricity production, photovoltaic, 570kWp open ground;
 - 1 m³ Natural gas, high pressure {NL} | market for;
 - 1 m³ Biogas {RoW} | market for biogas.

Volgens de licentie mogen de kengetallen uit SimaPro niet direct in deze notitie gepubliceerd worden. Wel kunnen lezers aan de hand van bovenstaande titels van hulpstoffen de bijgewerkte kengetallen opzoeken in SimaPro. De database van SimaPro wordt bijna dagelijks geüpdatet naar nieuwe inzichten.

2.1 VERSCHIL SIMAPRO MET ANDERE DATABASES

Doordat SimaPro bijna dagelijks haar database update volgens nieuwe inzichten, zijn de kengetallen voor de GER- en CO₂-waarde uit SimaPro het meest actueel. Het gevolg hiervan is wel dat kengetallen die in deze notitie zijn gehanteerd verschillen met kengetallen die zijn gehanteerd in eerdere STOWA onderzoeken. Aangezien volgens de SimaPro licentie de kengetallen niet mogen worden gepubliceerd, wordt hier geen overzicht gegeven van de verschillen. Ter indicatie worden wel de kengetallen uit eerdere STOWA onderzoeken hieronder weergegeven, zodat een lezer deze zelf kan vergelijken met SimaPro.

TABEL 2.1 OVERZICHT VAN KENGETALLEN VOOR DE GER-WAARDE UIT OVERIGE DATABASES (NIET GEHANTEERD IN DIT RAPPORT)

Hulpstof	Eenheid	RVO-lijst 2018	STOWA 2012-06
zwavelzuur (98 %)	MJ/kg	2,10	2,12
natronloog (50 %)	MJ/kg	19,90	20,69
zoutzuur (30 %)	MJ/kg	16,60	13,92
ijzerchloride (40 %)	MJ/kg	n.b.	16,30
citroenzuur (100 %)	MJ/kg	n.b.	n.b.
elektriciteit (grijs)	MJ/kg	n.b.	n.b.
elektriciteit (groen)	MJ/kg	5,44	n.b.
aardgas (uit NL)	MJ/kg	45,20	n.b.
biogas (uit NL)	MJ/kg	45,20	n.b.

2.2 GROENE VERSUS GRIJZE ENERGIE

Voor de bepaling van de duurzaamheidsimpact zijn consequent twee scenario's uitgewerkt per technologie: namelijk een gebaseerd op grijze energie en een op basis van groene energie. Grijze energie is gedefinieerd als de elektriciteit die uit het lokale net komt (medium voltage) en het gebruik van aardgas voor thermische energie. Groene energie is gedefinieerd als elektriciteit afkomstig van een zonnepanelenpark (low voltage) en biogas voor thermische energie. In de praktijk kan per casus de definitie van groene energie verschillen: windturbines in plaats van zonnepanelen, of de inzet van restwarmte in plaats van biogas. De lezer kan in dat geval, met kengetallen uit SimaPro, de GER-waarde zelf berekening op basis van het hulpstoffenverbruik in hoofdstuk 3.

3 HULPSTOFFENVERBRUIK PER TECHNOLOGIE

Tabel 3.1 (op volgende pagina) geeft een overzicht van het hulpstoffenverbruik van de berekende casussen, per technologie. Overige relevante randvoorwaarden zijn in de kolom 'opmerkingen' geplaatst. Elke casus in detail toegelicht in de fact sheets, die onderdeel zijn van het eindrapport.

TABEL 3.1 OVERZICHT VAN HULPSTOFFENVERBRUIK PER CASUS, PER TECHNOLOGIE. UITGEDRUKT PER KG 100 % HULPSTOF PER KG N_{VERWUDDERD*}

Tech.	Casus	elektriciteit	thermisch	zwavelzuur	natronloog	citroenzuur	ijzerchloride	zoutzuur	Opmerkingen
		kWh	MJ	kg H ₂ SO ₄	kg NaOH	kg citr. z.	kg FeCl ₃	kg HCl	
S&S	Siegrist	8 - 9	0	9 - 10	7 - 8				T _{operationeel} = 20C; N _{in} = 800 mg N/l
S&S	Dünger aus abwasser	1 - 1,5	35 - 40	2 - 3	1,75 - 2,25				T _{operationeel} = 60C; N _{in} = 800 mg N/l; pH = 9,5
S&S	AECO-NAR	0,75 - 1	1 - 1,25	2 - 3	2				T _{operationeel} = 65-75C; N _{in} = 2.500 mg N/l
S&S	NoChemNAR	7 - 7,25	1 - 1,25	0,2 - 0,3	0,2				T _{operationeel} = 65-75C; N _{in} = 2.500 mg N/l
MS	Powerstep	2,5 - 3	125 - 130	4 - 4,25	4,75 - 5	< 0,01			T _{operationeel} = 40C; N _{in} = 1.000 mg/l
BPM	N ₂ kWh	5 - 5,5							T _{operationeel} = 20C; N _{in} = 1.000 mg/l
BPM	LIFE NEWBIES	2,5 - 3		3,5 - 4					T _{operationeel} = 20C; N _{in} = 1.000 mg/l
IX	WF Wt/p	0,35 - 0,4		8 - 8,25				0,4 - 0,45	N _{in} = 60 mg N/l (voorbehandeld influent)
IX	SVB Sluisjesdijk	0,3 - 0,35		16			0,05 - 0,07	0	N _{in} = 1.100 mg N/l (centraat)
PB	N ₂ Applied	8							gebaseerd op online patentaanvraag

S&S = Strippen & scrubben

MS = membraanstripfen

BPM = bipolaire elektrolyse

IX = ionenwisseling

PB = plasmaboog

3.1 INSCHATTING VAN DE NOCHEMNAR

In tegenstelling tot de andere casussen, is het hulpstoffenverbruik van de NoChemNAR is ingeschat. De technologie zit namelijk nog in de ontwikkelfase (onder patent). Het is aangenomen (in overleg met Nijhuis Industries) dat 90 % van het de gebruikte chemicaliën kunnen worden teruggewonnen in het proces. De terugwinning van chemicaliën kost 7 kWh/kg N aan extra elektrische energie.

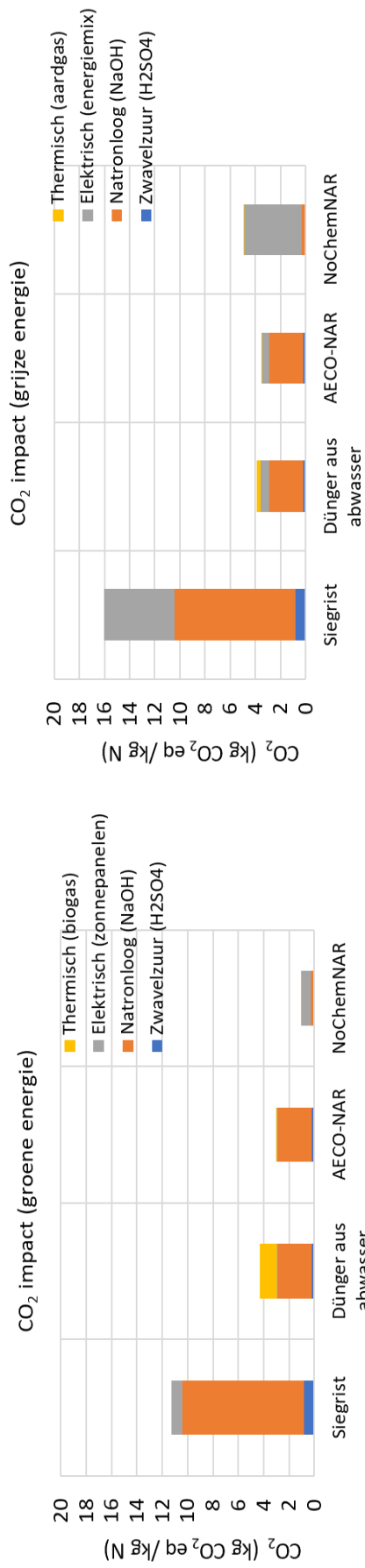
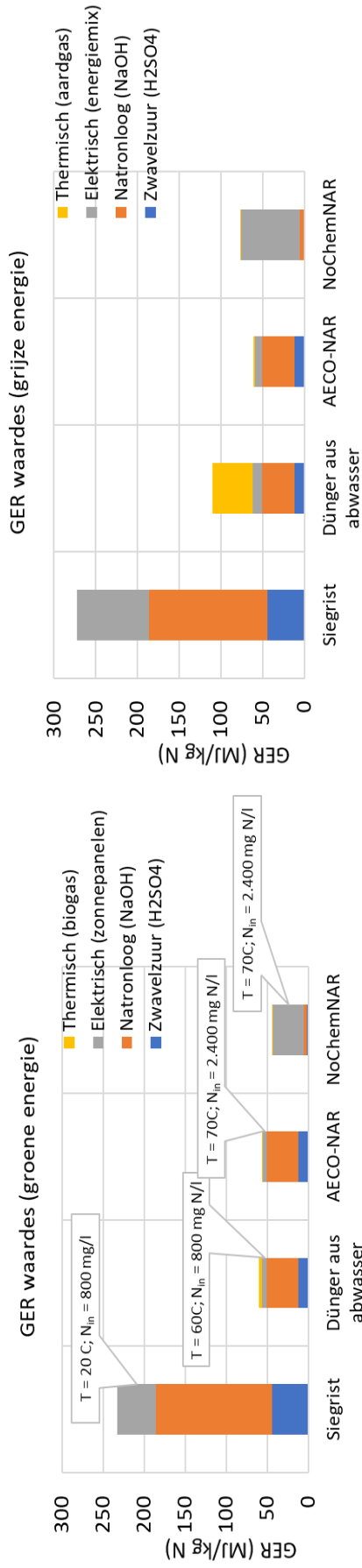
4 RESULTATEN

De resultaten zijn op de volgende pagina's per technologie, per subparagraaf, gepresenteerd in vier afbeeldingen: groene en grijze energie van de GER-waarde en de CO₂-uitstoot per kg N_{verwijderd}. Het aandeel van chemicaliën, elektriciteit en thermische energie is in staafdiagrammen weergegeven.

In het eindrapport is een analyse van een vergelijking van de technologieën toegelicht.

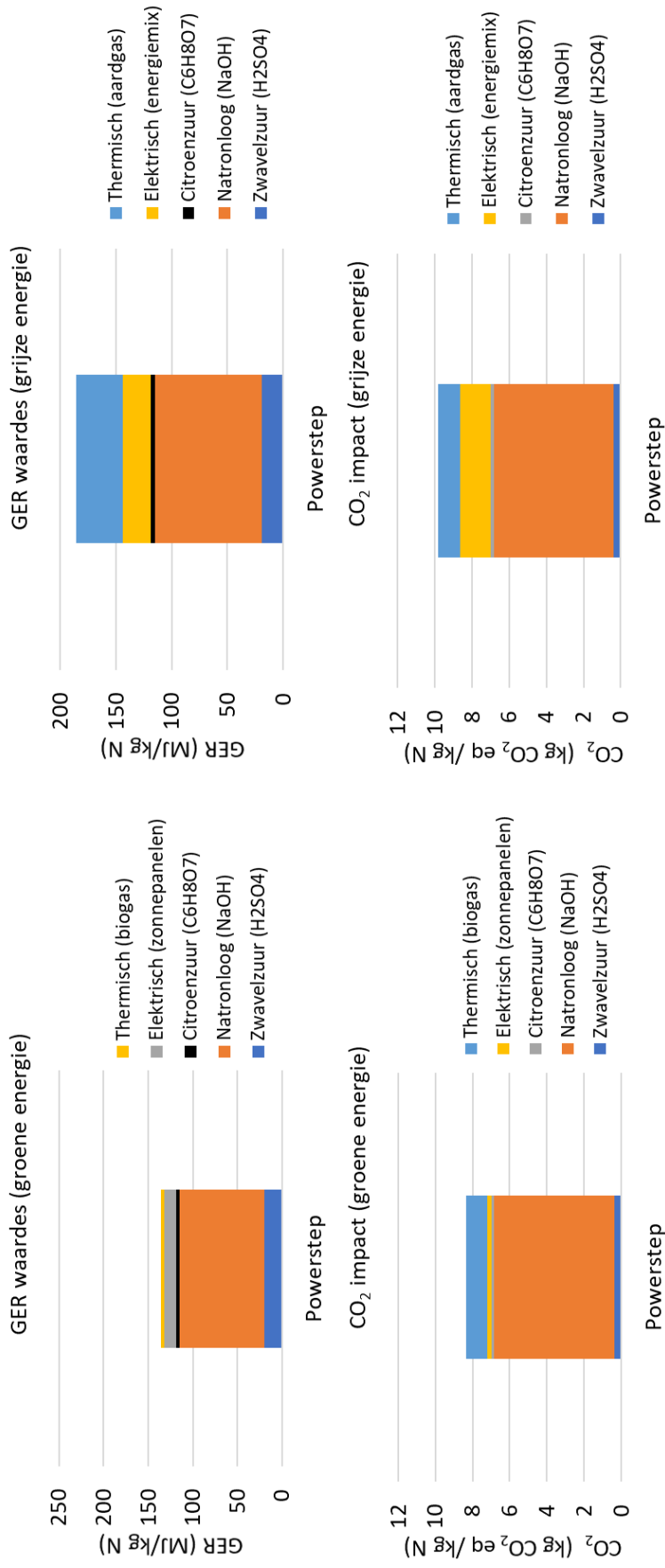
4.1.1 STRIPPEN EN SCRUBBEN

AFBEELDING 4.1 RESULTATEN DUURZAAMHEIDSBEPALING STRIPPEN EN SCRUBBEN. CALLOUTS IN DE GRAFIEK LINKSBOVEN GEVEN KENMERKEN CASUS WEER



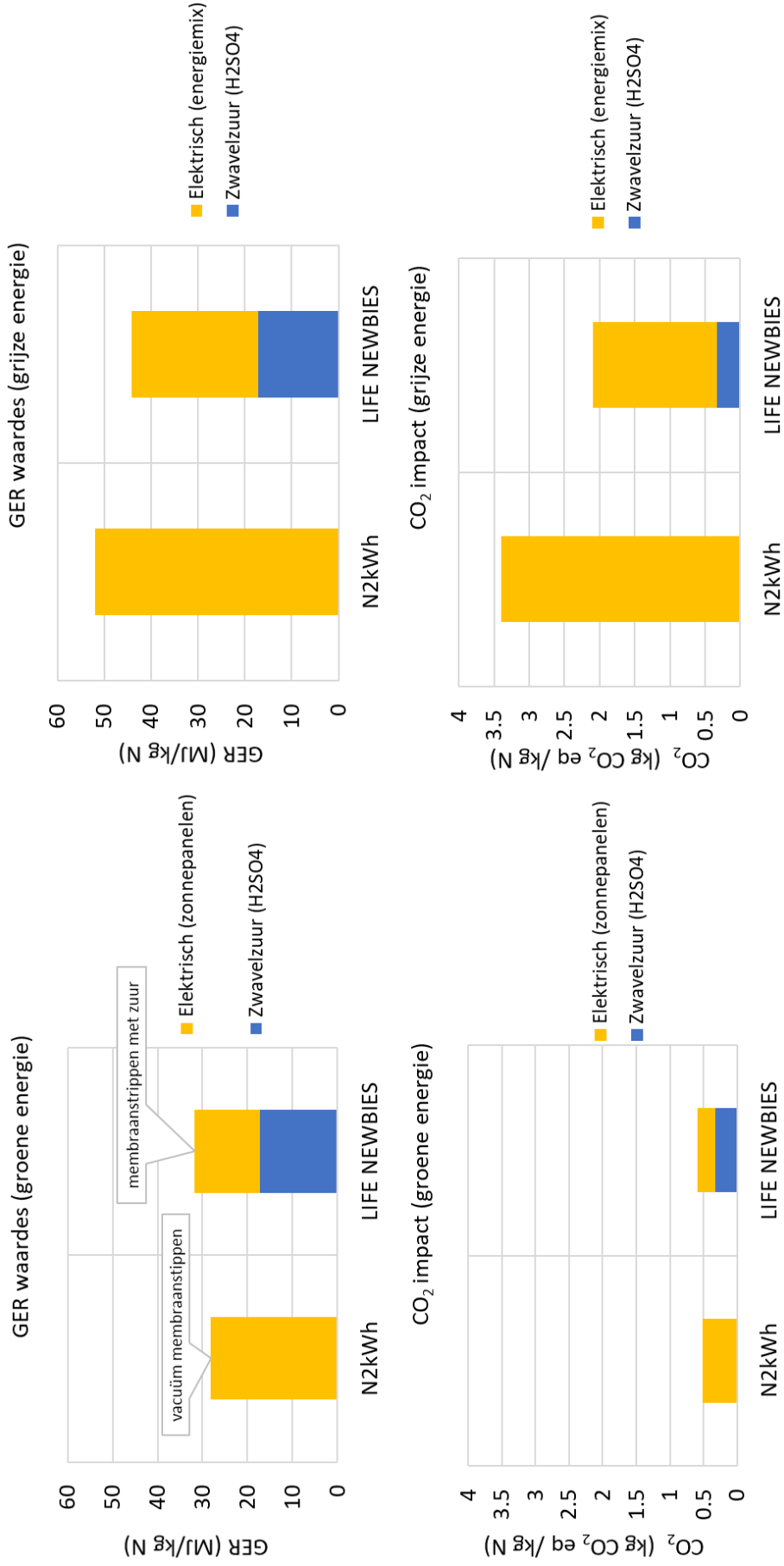
4.1.1.2 MEMBRAANSTRIPPEN

AFBEELDING 4.2 RESULTATEN DUURZAAMHEIDSBEPALING MEMBRAANSTRIPPEN



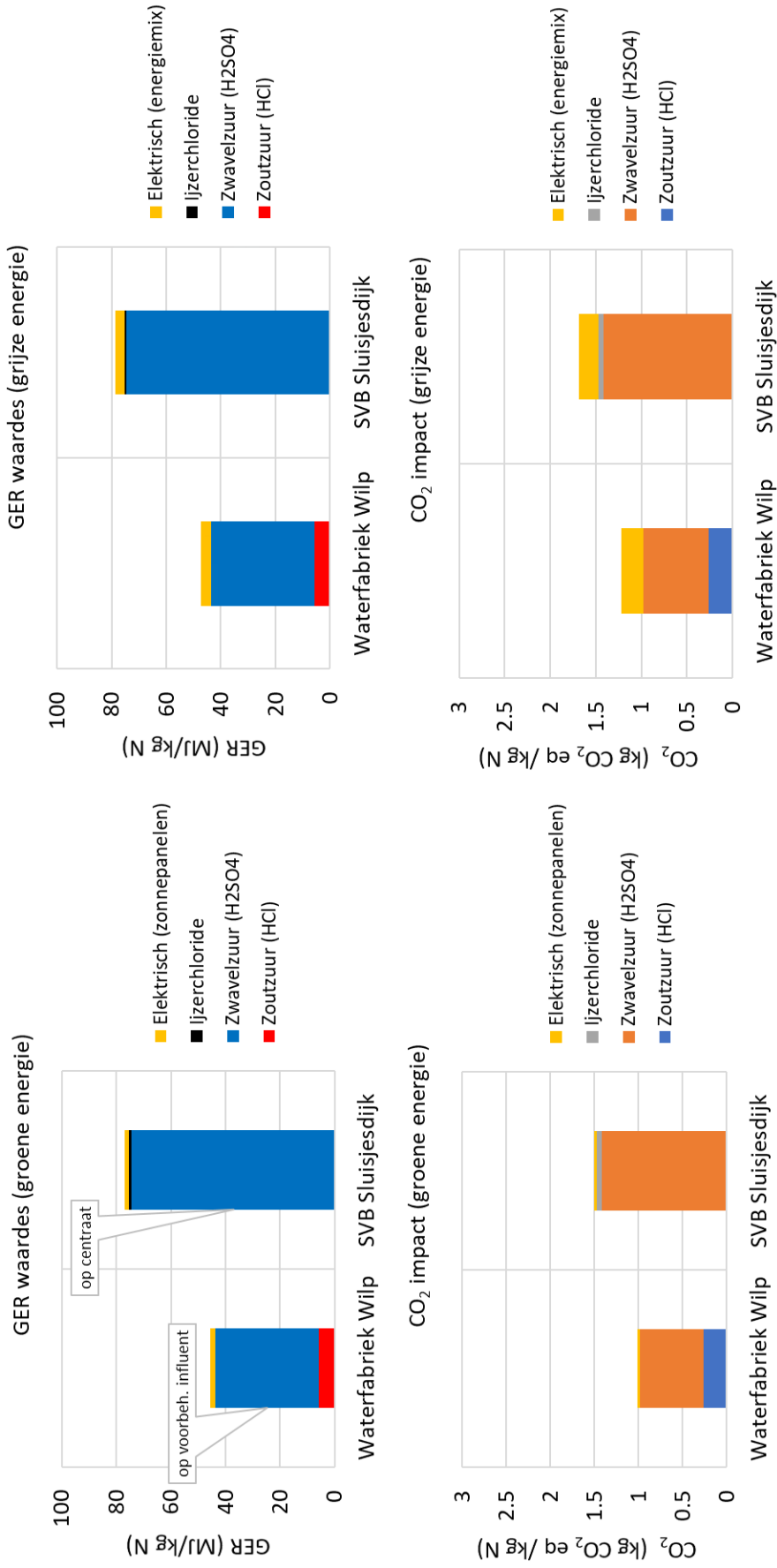
4.1.3 BIPOLAIRE ELEKTRODIALYSE

AFBEELDING 4.3 RESULTATEN DUURZAAMHEIDSBEPALING BIPOLAIRE MEMBRAANELEKTRODIALYSE. CALLOUTS IN DE GRAFIEK LINKSBOVEN GEVEN KENMERKEN CASUS WEER



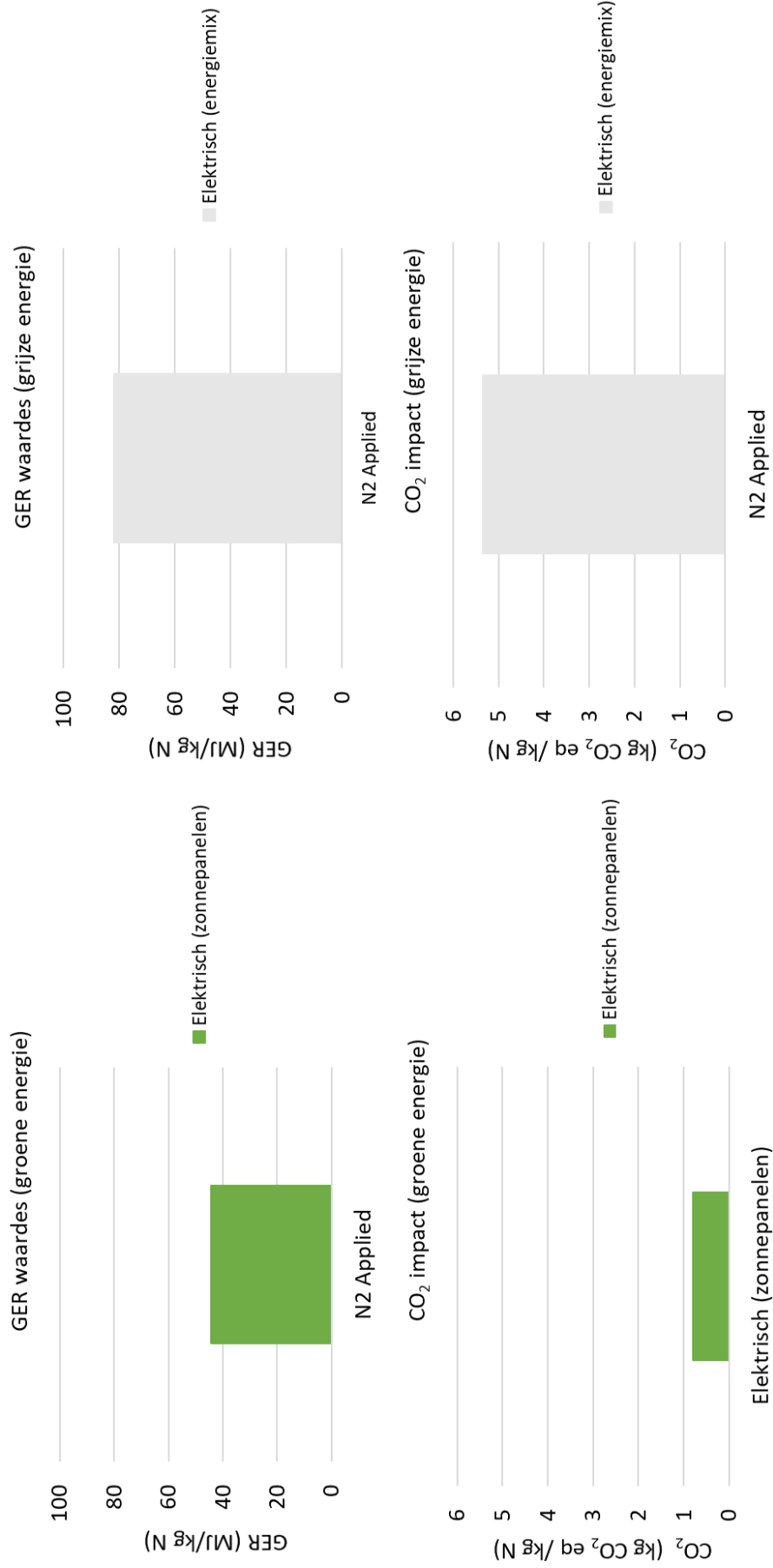
4.1.1.4 IONENWISSELING

AFBEELDING 4.4 R ESULTATEN DUURZAAMHEIDSBEPALING IONENWISSELING. CALLOUTS IN DE GRAFIEK LINKSBOVEN GEVEN KENMERKEN CASUS WEER



4.1.1.5 PLASMABOOG

AFBEELDING 4.5 RESULTATEN DUURZAAMHEIDSBEPALING PLASMABOOG. CALLOUTS IN DE GRAFIEK LINKSBOVEN GEVEN KENMERKEN CASUS WEER



BIJLAGE 5

METHODIEK MARKTANALYSE

1 INTRODUCTIE

Deze notitie is onderdeel van het eindrapport van STOWA-onderzoek: stikstofterugwinning uit rioolwater. In dat eindrapport is een marktanalyse uitgevoerd voor het in kaart brengen van kansrijke stikstofterugwinroutes uit rioolwater, op de markt. Deze notitie beschrijft de methodiek die is aangehouden in de marktanalyse.

2 METHODIEK MARKTANALYSE

De marktanalyse van de huidige stikstofmarkt is uitgevoerd door interviews en enquêtes af te nemen bij stikstofgebruikers in verschillende industrieën. De afname van enquêtes en interviews is in vier stappen tot stand gekomen. Elke achtereenvolgende stap is in dit hoofdstuk per paragraaf toegelicht.

AFBEELDING 2.1 STAPPENPLAN MARKTANALYSE



2.1 STAP 1: VERKENNING VAN STIKSTOFGEBRUIKERS

In een eerste verkenning zijn verschillende industrieën geïnventariseerd welke stikstofproducten produceren, afnemen, halffabricaten ontwikkelen of op een andere manier betrokken zijn bij stikstof. De verkenning is middels een bureaustudie uitgevoerd en ervaringsdeskundige op het gebied van stikstofterugwinning.

Tabel 2.1 geeft een overzicht, de longlist, van industrieën waarin stikstof wordt gebruikt, met daarbij informatie over de stikstofvormen die worden toegepast, een omschrijving van de industrie en het product en op welke manier de industrieën zijn benaderd in dit onderzoek.

TABEL 2.1 LONGLIJST INDUSTRIËLE STIKSTOFGEBRUIKERS IN NEDERLAND

Industrie	Product/ proces	Stikstof input	Omschrijving	Hoe benaderd?	Bron
chemische industrie	acrylonitril	ammoniak	in de productie van acrylonitril reageert ammoniak met propaan en zuurstof tot acrylonitril	enquête	(Maxwell, 2005) (Ammonia Applications, sd)
(industriële) afvalwaterzuivering	nutriëntenmengsels	ureum, ammoniak	afvalwater wat nutriëntarm is, heeft nutriëntenmengsels nodig om organische stof af te breken	interview	(Nutriënten, sd)
energiesector	elektriciteit	ammoniak, ammonia	ammoniak is een drager van waterstofmoleculen die kunnen worden omgezet in elektriciteit	interview en enquête	
chemische industrie	caprolactam	ammoniak	in de productie van caprolactam reageert cyclohexanon met ammoniak en zwavelzuur om caprolactam te vormen	enquête	(Maxwell, 2005) (Ammonia Applications, sd)
wapenindustrie	explosieven	ammoniumnitraat	ammoniumnitraat wordt gebruikt als bestanddeel van sommige explosieven	niet benaderd	(Egenhofer, Schrefler, Rizos, & Genoese, 2014)
landbouwsector	kunstmeststoffen	ammoniumderivaten, ureum, specifieke kunstmestblends	de landbouw gebruikt verschillende kunstmeststoffen. Afhankelijk van het gewas wordt een (blend) van de kunstmeststoffen gebruikt	interview en enquête	(Egenhofer, Schrefler, Rizos, & Genoese, 2014) (Industries That Use Ammonia, 2015)
brandstofindustrie	AdBlue	ureum	ureum wordt gebruikt als bijvoeging in dieselmotoren om ze schoner te laten rijden	niet benaderd	(Euro, 2020)
leerindustrie	curing agent, ontlijmingsmiddel	ammonia, ammoniumsulfaat	leerindustrie gebruikt ammoniak gebruikt als curing agent. Ook zet het ammoniumsulfaat in voor ontlijming.	enquête	(Industries That Use Ammonia, 2015)
papierindustrie	case dispersant	ammonia	papierfabrieken gebruiken ammonia bij het pulpen van hout en het wordt gebruikt als caseïne dispersant bij het coaten van het papier	interview	(Egenhofer, Schrefler, Rizos, & Genoese, 2014) (Industries That Use Ammonia, 2015)
afvalverwerkingscentrale	rookgasreiniging	ammonia, ureum	ammonia of ureum wordt gebruikt in de katalytische en niet-katalytische reductie van NO _x naar N ₂ bij de reiniging van rookgassen	interview en enquête	(Ammonia Applications, sd)
rubberindustrie	dispersant	ammonia	de rubberindustrie gebruikt ammonia om coagulatie van natuurlijke en synthetische latex te voorkomen	niet benaderd	(Industries That Use Ammonia, 2015) (Ammonia Applications, sd)
consumentenproducten	schoonmaakmiddelen	ammonia	ammonia wordt gebruikt in huis-tuin-en-keuken schoonmaakmiddelen	niet benaderd	(Egenhofer, Schrefler, Rizos, & Genoese, 2014)

2.2 STAP 2: ENQUÊTERING

Het doel van de marktanalyse is tweeledig: enerzijds het huidige stikstofgebruik en de stikstofmarkt in kaart te brengen en anderzijds de motivatie en bereidheid om teruggewonnen stikstof af te nemen te onderzoeken. In dit verband zijn de enquêtevragen onderverdeeld in vijf hoofdthema's (Tabel 2.2). Elk hoofdthema is weer onderverdeeld in een aantal sub-thema's die zijn uitgewerkt in vragen. De verstuurdde enquêtevragen zijn toegevoegd aan bijlage I ter inzage.

TABEL 2.2 HOOFD- EN SUB THEMA'S VAN DE ENQUÊTE- EN INTERVIEWVRAGEN

Hoofdthema	Sub-thema
huidig stikstofgebruik	vorm van het product (vast/vloeibaar, % N, soort product) kwantiteit en seizoensgebonden trends prijs en prijstrends
kwaliteitseisen aan teruggewonnen stikstof uit rioolwater	gestelde kwaliteitseisen aan teruggewonnen stikstof
marktvraag voor teruggewonnen stikstof uit rioolwater	bereidheid om teruggewonnen stikstof af te nemen kwantiteit prijs van stikstof marktvraag naar teruggewonnen stikstof
motivatie voor het toepassen van teruggewonnen stikstof	ambitie of beleid duurzaamheidsstrategie
uitdagingen voor teruggewonnen stikstof uit rioolwater	soorten uitdagingen bereidheid om uitdagingen aan te gaan

2.2.1 RESPONS OP DE ENQUÊTES

In totaal zijn er 27 enquêtes verstuurd naar bedrijven binnen de stikstofmarkt, waarop 30 % van de bedrijven een respons heeft gestuurd. Onderstaande tabel geeft een overzicht van de verschillende industrieën waarvan responses zijn ontvangen.

TABEL 2.3 RESPONS OP ENQUÊTES VOOR MARKTVERKENNING

Industrie	Aantal responses
kunstmeststoffensector	7
chemische industrie	1
afvalverwerkingcentrales	1

2.3 STAP 3: INTERVIEWS

2.3.1 SELECTIE VAN REPRESENTATIEVE BEDRIJVEN

De interviews zijn een verdieping op de enquêtevragen. Daarom is het doel van stap 3 om per interessante sector een of meerdere representatieve bedrijven te interviewen, als verdieping op de marktanalyse in de enquêtes. De relevante sectoren zijn gekozen in overleg met de begeleidingscommissie op basis van expert judgement. Per sector zijn een aantal bedrijven benaderd voor een interview. In een diverse sector als de landbouwsector zijn meerdere bedrijven geïnterviewd.

2.3.2 DE INTERVIEWVRAGEN

In de interviews zijn naast dezelfde vragen als in de enquêtes ook aanvullende vragen gesteld toegespitst op de specifieke sector of het specifieke bedrijf, om meer diepgang te krijgen in de marktverkenning en om voorlopige resultaten uit enquêtes te kunnen verifiëren. In de eerste interviews zijn ook een aantal nieuwe contacten gekomen voor interviews, op basis van informatie over kansen of knelpunten voor inzet van teruggewonnen stikstof. De interviewvragen

zijn aangepast op basis van deze nieuwe informatie en zijn specifiek gemaakt voor het type bedrijf. De interviewvragen zijn toegevoegd aan bijlage II.

2.3.3 AFNAME VAN INTERVIEWS

In verband met COVID-19 maatregelen zijn alle interviews online via Microsoft Teams gehouden. Tijdens elk interview waren zowel projectmedewerkers van Witteveen+Bos en AquaMinerals aanwezig. Tijdens de interviews zijn de rollen als volgt verdeeld: één gespreksleider, één tweede interviewer en één notulist. Ook zijn de interviews opgenomen zodat alle informatie volledig genotuleerd kon worden (met toestemming van de betrokken partijen).

In totaal zijn acht interviews afgenomen. Onderstaande tabel geeft een overzicht van de bedrijven die zijn geïnterviewd. De bedrijfsnaam, de desbetreffende industrie en een bedrijfsomschrijving zijn gepresenteerd.

TABEL 2.4 GEÏNTERVIEWDE BEDRIJVEN IN MARKTANALYSE

Bedrijf/ organisatie	Werkzaam in sector:	Relatie tot stikstof
Attero	reststromen	rookgasreiniging voor afvalverwerking
GMB BioEnergie	reststromen	slibwerker. Ook producent ammoniumsulfaat uit proceslucht van compostverwerking
meststoffen Nederland	kunstmest	belangenorganisatie voor producenten, importeurs en distributeurs van meststoffen
Lenntech	milieutechnologie	promovendus gesproken op stikstofterugwinning voor energieproductie. Nu werkzaam bij Lenntech
Proton Ventures	energie	inzet ammoniak voor decentrale energieopslag
Opure	milieutechnologie	producent van nutriëntenmengsels voor awzi's
Smurfit Kappa	papier- en karton	afnemer van nutriëntenmengsel op de awzi
ICL Group Ltd.	kunstmest	kunstmestproducent
Kunstmestvrije Achterhoek	kunstmest	samenwerkingsverband tussen agrariërs, mestverwerkers en engineering partijen ten behoeve van inzet van herwonnen regionale nutriënten in de landbouw
Vruchtbare Kringloop Achterhoek	kunstmest	belangenorganisatie van agrariërs ten behoeve van efficiënt mineralengebruik en optimalisatie van gewasopbrengst

2.4 STAP 4: MARKTANALYSE

De antwoorden uit de enquêtes en interviews zijn in de marktanalyse verzameld en overzichtelijk in kaart gebracht. Met name de antwoorden uit de enquête leenden zich goed voor een kwantitatieve analyse. De antwoorden uit de interviews zijn als verdieping op de enquêtes gebruikt. Als in de interviews informatie is gegeven die aansluit op de enquêtes, is deze informatie ook opgenomen in de kwantitatieve analyse⁵.

De geënuquêteerde en geïnterviewde respondenten zijn een goede en diverse representatie van de belangrijkste stikstof gebruikende industrieën in Nederland. Desalniettemin kunnen de respondenten onmogelijk een compleet beeld van elke markt of sector geven. De antwoorden moeten daarom indicatief geïnterpreteerd worden. De respondenten hebben wel een goed beeld gegeven van de motivatie van het desbetreffende (en soortgelijke) bedrijven, de uitdagingen en kansen voor de inzet van herwonnen stikstof in hun (of soortgelijke) productieprocessen en afzetmarkten.

⁵ Hierdoor is het mogelijk dat hierdoor het totaal aantal respondenten per grafiek verschilt.

Alle bedrijven zijn gecategoriseerd per industrie zodat een analyse per industrie of afzetmarkt kon worden gemaakt. De vijf categorieën in de analyse zijn: kunstmest, chemie, reststromen, energie en milieutechnologie. De bedrijven zijn gecategoriseerd op basis van de toepassing van het stikstofproduct. Smurfit Kappa is bijvoorbeeld onderverdeeld bij milieutechnologie, omdat het om het nutriëntenmengsel op awzi gaat. GMB BioEnergie is ingedeeld in de categorie kunstmest (ondanks dat het een slibverwerker is), omdat het teruggewonnen ammoniumsulfaat afzet in de landbouw.