

stowa

CO₂-WINNING OP RWZI'S



RAPPORT

2014
21



CO₂-WINNING OP RWZI'S

RAPPORT

2014

21

ISBN 978.90.5773.642.1



COLOFON

UITGAVE Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer
Postbus 2180
3800 CD Amersfoort

AUTEURS

Anthonie Hogendoorn (Arcadis)
Jeroen Hulzebos (Arcadis)
Wouter van Betuw (Arcadis)
Alex Meindertsma (Arcadis)

BEGELEIDINGSCOMMISSIE

Jos van der Meer (Waternet)
Peter van Vugt (Waterschap Aa en Maas)
Gerrit Post (Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier)
Simon Gaastra (Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier)
Arné Boswinkel (RVO)
Oscar Helsen (Hoogheemraadschap van Delfland)
Otto Kluiving (Waterschap Hunze en Aa's)
Cora Uijterlinde (STOWA)

DRUK Kruyt Grafisch Adviesbureau
STOWA STOWA 2014-21
ISBN 978.90.5773.642.1

COPYRIGHT De informatie uit dit rapport mag worden overgenomen, mits met bronvermelding. De in het rapport ontwikkelde, dan wel verzamelde kennis is om niet verkrijgbaar. De eventuele kosten die STOWA voor publicaties in rekening brengt, zijn uitsluitend kosten voor het vormgeven, vermenigvuldigen en verzenden.

DISCLAIMER Dit rapport is gebaseerd op de meest recente inzichten in het vakgebied. Desalniettemin moeten bij toepassing ervan de resultaten te allen tijde kritisch worden beschouwd. De auteurs en STOWA kunnen niet aansprakelijk worden gesteld voor eventuele schade die ontstaat door toepassing van het gedachtegoed uit dit rapport.

TEN GELEIDE

De waterschappen willen in 2020 minstens 40% van het energieverbruik zelf opwekken. In de Meerjarenaafspraken energie-efficiency (2008), Klimaatakkoord (2010), Lokale Klimaatagenda (2011) Green Deal (2011), Ketenakkoord Fosfaat en recentelijk het SER Energieakkoord (2013) zijn beleidsmatige afspraken gemaakt over energie- en fosfaatterugwinning. Grondstoffen-terugwinning, energie- en kostenbesparing zijn belangrijke uitdagingen voor de toekomst.

Door met een nieuwe bril naar het traditionele waterzuiveringsproces te kijken, zijn de waterschappen tot het concept van de Grondstoffenfabriek gekomen. Binnen de Grondstoffenfabriek worden slimme combinaties van bestaande en nieuwe technieken ingezet om grondstoffen (energie) te besparen en te produceren. Op dit moment is een transitie gaande om producten met een steeds hogere toepassingswaarde uit afval te produceren. Alle Nederlandse waterschappen zijn betrokken bij de Grondstoffenfabriek.

Met de waterschappen wordt in het kader van de Grondstoffenfabriek nagedacht om de CO₂-uitstoot naar de atmosfeer kosteneffectief te verkleinen. Wanneer op rioolwaterzuiveringsinstallaties biogas wordt geproduceerd en de vrijkomende CO₂ wordt als product afgezet, snijdt het mes aan meerdere kanten: er wordt bijgedragen aan de diverse energie afspraken en er wordt aanvullend een af te zetten product geproduceerd. Grondstoffenfabriek en energiebesparingsdoelstellingen gaan samen.

In deze rapportage zijn de resultaten weergegeven van een onderzoek waarin de marktkansen en technische mogelijkheden zijn geëvalueerd van de winning van CO₂ op rioolwaterzuiveringsinstallaties. Technisch lijkt CO₂-winning haalbaar, echter is het de vraag aan welke kwaliteitsnormen het product uiteindelijk kan voldoen. Er is gekeken naar afzet bij onder andere de (lokale) glastuinbouw, en drinkwaterindustrie. De aanwezigheid van lokale afnemers is van belang in verband met de transportkosten. CO₂ levering uit bestaande biogasopwaarderingsinstallaties lijkt afhankelijk van het type technologie haalbaar en kent een terugverdientijd tussen de 1 en 12 jaar.

Het concept biedt kansen voor de waterschappen om doelmatig aan de Klimaatakkoord-doelstellingen en MJA-3 afspraken te voldoen. Met de werkgroep CO₂-terugwinning van de Grondstoffenfabriek wordt de toepassing van het concept verder verkend en uitgewerkt.

Joost Buntsma,
Directeur STOWA

SAMENVATTING

De waterschappen hebben zich verbonden aan de Klimaatakkoorddoelstellingen en de MJA-3 afspraken. Tegelijkertijd wordt er in initiatieven als de Grondstoffenfabriek gezocht naar methoden om grondstoffen te winnen uit afvalwater. Ook wordt er in de Energiefabriek nagedacht over methoden om energie te besparen dan wel te winnen uit afvalwater, met als doel de CO₂-uitstoot naar de atmosfeer kosteneffectief te verkleinen. In deze rapportage zijn de resultaten weergegeven van een onderzoek waarin de marktkansen en technische mogelijkheden zijn geëvalueerd van een concept dat in bovengenoemde initiatieven kan worden toegepast, namelijk: winning van CO₂ op RWZI's.

Met het toenemen van het aantal energiefabrieken en doordat slibgisters middels bijvoorbeeld warmte-koude-opslagsystemen op temperatuur gehouden kunnen worden, wordt biogasopwaarding vaker gebruikt als methode om het biogas te verwerken. Hierbij ontstaat een methaanrijke stroom (groengas) en, afhankelijk van de biogasopwaardeertechnologie, een geconcentreerde stroom CO₂. In plaats van dit in de atmosfeer te brengen, kan het afgezet worden. Dit heeft onder andere de volgende voordelen:

- Mits het proces goed ingericht is, kan er geld verdiend worden met het biogas;
- Het concept kan significant bijdragen aan de klimaatakkoorddoelstelling wat betreft broeikasgasuitstootreductie: als alle RWZI's met gisting het concept toepassen, is omstreeks 25% van de doelstelling verwezenlijkt;
- De energiebehoefte van CO₂ uit biogas is omstreeks 80% minder dan het conventionele proces; het heeft dus potentie om te worden opgenomen als ketenmaatregel in de MJA-3 maatregelen;
- Door de CO₂ in te zetten in bijvoorbeeld de drinkwaterindustrie, kan de watercyclus verder gesloten worden.

MARKTKANSEN EN –BEPERKINGEN

Er is een marktanalyse uitgevoerd die inzicht geeft in de verschillende partijen die in de markt acteren. Met behulp van deze marktanalyse is inzicht verkregen in de leveringseisen en prijs van CO₂. Het waterschap kan in de markt twee rollen vervullen. Enerzijds de rol van producent én leverancier van CO₂ en anderzijds kan het waterschap de CO₂ winning en/of levering uitbesteden aan een externe partij.

Om de groei van gewassen te vergroten wordt in de glastuinbouw CO₂ gedoseerd. Er zijn goede mogelijkheden voor de waterschappen om de glastuinbouw te voorzien, onder meer vanwege de toegenomen vraag. Ook is de levensmiddelenindustrie en de drinkwaterindustrie beschouwd. Zij gebruiken CO₂ in hun bereidingsprocessen.

Met behulp van het vijfkrachtenmodel van Porter is het marktpotentieel voor de waterschappen inzichtelijk gemaakt. De leveranciers en afnemers zijn in beeld gebracht en mogelijke alternatieven voor CO₂ (substituten) zijn beschouwd. Het blijkt dat er een beperkt aantal leveranciers zijn die veel macht hebben in de CO₂ markt. De afnemers hebben daarentegen weinig macht omdat zij relatief kleine spelers zijn. Verder vormen substituten een beperkte dreiging op de CO₂ markt, het is eerder zo dat CO₂ zélf een substituum kan zijn voor andere “schadelijke” stoffen.

Ook zijn potentiële toetreders geïnventariseerd en zijn de concurrentieverhoudingen beschouwd. De potentiële toetreders vormen echter een beperkte dreiging voor de toetreding van waterschappen. Het waterschap zal met het beperkte volume hooguit een beperkte positie op de markt kunnen verwerven. De concurrentieverhoudingen zijn star vanwege langlopende contracten en kostbare installaties.

Tenslotte zijn de factoren technologie, politiek en wetgeving, socio-cultureel en economie verkend. Het blijkt dat er voldoende technieken beschikbaar zijn om CO₂ te produceren. Verder is er voldoende steun vanuit de politiek en wetgeving voor deze vorm van CO₂ productie en levering. Het versterken van een positief en groen imago om CO₂ nuttig in te zetten lijkt beperkt te zijn in de voedingsmiddelen industrie, vanwege beperkte acceptatie. Vanuit economisch oogpunt lijken er voor de waterschappen redelijke mogelijkheden om CO₂ af te gaan zetten.

Technologische mogelijkheden en CO₂-kwaliteit

Biogas kan worden opgewaardeerd met een breed scala technologieën: membraanfiltratie, druk/temperatuur-wisseladsorptie, cryogene scheiding, chemische absorptie en fysische adsorptie. Afhankelijk van de toegepaste technologie en de eisen van de afnemer, is extra zuivering van de CO₂ vereist:

- Cryogene scheiding: door koeling wordt de CO₂ vloeibaar gemaakt en kan gescheiden worden van het restgas. Deze methode levert een hoge kwaliteit CO₂ (voldoende voor de Kiwa-ATA norm). Indien dit volstroom wordt toegepast, kan ook vloeibaar biogas (LBG) worden gewonnen;
- Chemische absorptie: deze methode levert, na cryogene scheiding, het beste scheidingsrendement. Het product kan worden afgezet in de glastuinbouw. Voor de levensmiddelenindustrie is cryogene nazuivering vereist;
- Wisseladsorptie en membraanfiltratie leveren een product dat, ongeacht afzetmarkt, nog cryogene nazuivering vereist;
- In geval van fysische adsorptie worden grote hoeveelheden lucht gebruikt om het CO₂ te desorberen en af te voeren. Als gevolg resteert een sterk verdunde CO₂-stroom, wat winning van dit product economisch niet haalbaar maakt.

Om bovengenoemde stellingen te valideren zijn indicatieve CO₂-monsters genomen van de gasfase geproduceerd door de biogasopwaarderingsinstallatie op RWZI Beverwijk en Haarlem-Waarderpolder. De bedrijfsvoering van de installaties is op dit moment echter niet “getuned” voor CO₂ levering. Daarnaast bleek de monsternamen en -conservering complex. De verkregen resultaten geven daarom niet de juiste potentiële kwaliteit, die volgens de leveranciers gehaald kan worden in een situatie waarbij CO₂ levering van toepassing is. Omdat RWZI Beverwijk is uitgerust met een membraanfiltratie en cryogene nazuivering; Haarlem-Waarderpolder bestaat uit een volstroom cryogene scheidingsinstallatie.

De resultaten geven de volgende inzichten:

- Na membraanfiltratie resteert een CO₂ stroom met 20% CH₄; de membranen alleen zijn dus in staat volledige scheiding te realiseren;
- Zowel op Beverwijk als Haarlem-Waarderpolder fluctueert de fractie methaan in het CO₂-gas na cryogene scheiding, resp. tussen de 0% tot 1,2% en 0,5% tot 2,5%. De verwachting van de leveranciers is dat dit door eenvoudige verandering van bedrijfsvoeringsinstellingen gereduceerd kan worden tot de gewenste samenstelling. Daarnaast betreft het slechts twee steekmonsters. Ook zijn de installaties momenteel nog niet geoptimaliseerd voor levering van CO₂. Het is de verwachting dat eenvoudige procestechnologische

aanpassingen de mogelijke methaanuitstoot verder kan reduceren. Voor WKK's worden methaanslipwaarden in dezelfde orde van grootte geregistreerd;

- Methaanslip bij zowel WKK's als biogasopwaardeerinstallaties zijn een onderbelicht aspect. Verder onderzoek is noodzakelijk hoe methaanslip ontstaat en gereduceerd kan worden.

FINANCIËLE EVALUATIE

Voor de financiële evaluatie zijn twee routes beschouwd: een RWZI met een bestaande biogasopwaardeerinstallatie en een met een WKK zonder biogasopwaardeerinstallatie. In het laatste geval moet er dus nog een opwaardeerinstallatie worden gebouwd en is niet echt sprake van een terugverdientijd. Wanneer al een biogasopwaardeerinstallatie aanwezig is, is er afhankelijk van de toegepaste technologie potentie voor toepassing van het concept. De terugverdientijden variëren van 1 tot 12 jaar afhankelijk van de marktpartij waaraan geleverd kan worden. Deze financiële beoordeling is uitgevoerd met het huidige prijspeil. Indien de marktaande van CO₂ in de toekomst zal stijgen, kan dit tot andere financiële inzichten leiden.

Indien een CO₂-winningsinstallatie wordt geplaatst voor de bestaande WKK, lijkt het financieel niet aantrekkelijk dit uit te voeren. De inkomsten van groengas en CO₂ zijn mogelijk niet voldoende om de gemiste elektriciteitsinkomsten en de afschrijving van de installatie te dekken.

De doelmatigheid van de CO₂-winning is vastgesteld in kostprijs per vermeden ton CO₂ emissiereductie. de kosten voor de CO₂-emissiereductie worden vergeleken met andere manieren om de uitstoot te beperken, vallen de kosten echter in dezelfde range. Het concept biedt dus kansen voor de waterschappen om doelmatig aan de Klimaatakkoorddoelstellingen en MJA-3 afspraken te voldoen.

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 onderzoekslijnen 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 van 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.

SUMMARY

Dutch waterboards have signed the climate agreement and MJA-3 arrangements. At the same time initiatives are started in which valuable substances are recovered from wastewater. Also strategies to reduce energy use or to enhance energy recovery are developed, with as main goal to reduce the CO₂ footprint of waste water treatment. In this report results are presented of research to the market and technical chances and challenges are investigated of a new concept: CO₂ recovery at waste water treatment plants (WWTP's).

Due to the increase of 'energy factories' and the enhanced utilization of heat cold storage in the subsoil for digester heating, biogas upgrading is more frequently used as a biogas treatment system. In these systems a methane rich stream is produced, together with a CO₂ rich stream. Instead of emitting latter stream to the atmosphere, this CO₂ can be sold and utilized. This has the following benefits:

- When the process is designed properly, additional income is generated;
- The concept can contribute significantly to the climate agreement objective of greenhouse gas emission reduction. When the system is applied on all WWTP's with digesters, 25% of the objective is accomplished;
- The energy demand of CO₂ from biogas is around 80% smaller than conventional processes; the system has potential to be considered as a chain measure within the MJA-3 measurements;
- By using CO₂ in for example the drinking water industry, the water chain is closed further.

MARKET ANALYSIS

A market analysis is performed to gain insight in the various stakeholders acting in the CO₂ market. The waterboard can access this market by being a producer and supplier of CO₂ or the waterboard can give this role to an external exploitant.

CO₂ is dosed in greenhouses to stimulate plant growth (fotosynthesis). There are opportunities for waterboards to supply CO₂ to greenhouses, among others due to the increasing demand. The drinking water and food industry is also considered.

With the 5 competing forces model of Porter the market potential of waterboards on the CO₂ market is made explicit. The suppliers and customers are mapped, including possible CO₂ substitute products. It can be concluded that there are a few suppliers which dominate the market. The power of customers is limited, mainly due to their small size. Substitute products are of limited importance, CO₂ itself can act as a substitute for various other 'dangerous' compounds.

Potential new entrants are considered as a small threat for waterboard since they will not achieve a significant role due to the relatively limited production potential. The relation between competing companies are inert as a result of long term contracts and valuable process equipment.

Finally the factors technology, politics and legal issues, socio-cultural and economics are investigated. Sufficient technologies are available to produce CO₂. From a political side there seems to be sufficient support for CO₂ production at WWTP's. The food industry doesn't consider the green image of the CO₂ as a buying reason for hygienic reasons. From an economical point of view there seems to be reasonable possibilities for CO₂ production.

TECHNOLOGICAL POSSIBILITIES AND CO₂ QUALITY

A range of technologies can be used for biogas upgrading: membrane filtration, pressure/temperature swing adsorption, cryogenic separation, chemical absorption and physical adsorption. Dependent on the wishes of the CO₂ customer, additional CO₂ purification processes are required:

- Cryogenic separation: by cooling the CO₂ is fluidized and can be separated from the residual gas. This method delivers high quality CO₂. If this technology is applied on the main stream biogas, LBG can be recovered as well;
- Chemical absorption: this method delivers, except for cryogenic separation, the best separation efficiency. The product can be used in greenhouses. For the food industry additional cryogenic treatment is required;
- Swing adsorption and membrane filtration deliver a product which requires additional treatment for both use in greenhouses, drink water and food industry;
- In case of physical adsorption large volumes of air are used to desorb the CO₂. A diluted CO₂ is the result, which makes CO₂ production financially unviable.

To validate the statements listed above, several analyses are performed at WWTP Beverwijk and Haarlem-Waarderpolder. WWTP Beverwijk is equipped with a two-step membrane filtration installation, followed by cryogenic separation. At Haarlem-Waarderpolder main stream cryogenic separation takes place. Based on the measurement results, the following can be concluded:

- After membrane filtration the CO₂ stream still contains 20% CH₄: membranes only are thus not capable to achieve full separation in this case;
- Both on Beverwijk as Haarlem-Waarderpolder the fraction of CH₄ in the residual gas varies, between resp. 0% till 1,2% and 0,5% till 2,5%. This seems to indicate significant amounts of methane slips. It is questionable if the sampling is performed properly. The current installations are also not optimized for CO₂ production. Besides that: only 2 samples were analysed. It is expected that relatively simple process technological modification can reduce the methane content in the CO₂ gas. For CHP's similar values are reported;
- Methane slip at both CHP's and biogas upgrading installations is an underestimated aspect. Further research is required in the mechanisms and reduction measures.

FINANCIAL EVALUATION

To gain insight in the financial viability of CO₂ recovery at WWTP's two routes are considered: a WWTP with an existing upgrading installation and one with CHP and without upgrading installation. In the latter case a new installation has to be constructed.

When a biogas upgrading installation is already present, the concept has potential, depending on the technology applied. Pay back terms varies between 1 and 12 years, depending on necessary installation improvements and market prices.

In case a new biogas upgrading unit needs to be constructed, it is financially not attractive to apply the concept. The incomes of green gas and CO₂ are not sufficient to cover the missed revenues of electricity production and installation depreciation.

The expediency of the concept is evaluated in terms of costs per ton of CO₂ emission reduction. When the costs of the CO₂ emission reduction are compared with other measures, the costs for CO₂ recovery are within the range of other measures. This route has thus potential for waterboards for compliance with the climate and MJA-3 agreement.

STOWA IN SHORT

STOWA (Foundation for Applied Water Research) is the knowledge centre of the regional water managers (mostly the Water Boards) in the Netherlands. Its mission is to develop, collect, distribute and implement applied knowledge, which the water managers need in order to adequately carry out the tasks that their work supports. This expertise can cover applied technical, scientific, administrative-legal or social science fields.

STOWA is a highly demand-driven operation. We carefully take stock of the knowledge requirements of the Water Boards and ensure that these are placed with the correct knowledge providers. The initiative for this mainly lies with the users of this knowledge, the water managers, but sometimes also with knowledge institutes and business and industry. This two-way flow of knowledge promotes modernisation and innovation.

Demand-driven operation also means that we are constantly looking for the 'knowledge requirements of tomorrow' – requirements that we dearly want to put on the agenda before they become an issue – in order to ensure that we are optimally prepared for the future.

We ease the burden of the water managers by assuming the tasks of placing the invitation to tender and supervising the joint knowledge projects. STOWA ensures that water managers remain linked to these projects and also retain 'ownership' of them. In this way, we make sure that the correct knowledge requirements are met. The projects are supervised by committees, which also comprise regional water managers. The broad research lines are spread out per field of practice and accounted for by special programme committees. The water managers also have representatives on these committees.

STOWA is not only a link between the users of knowledge and knowledge providers, but also between the regional water managers. The collaboration of the water managers within STOWA ensures they are jointly responsible for the programming, that they set the course, that several Water Boards are involved with one and the same project and that the results quickly benefit all Water Boards.

STOWA's fundamental principles are set out in our mission:

Defining the knowledge needs in the field of water management and developing, collecting, making available, sharing, strengthening and implementing the required knowledge or arranging for this together with regional water managers.

CO₂-WINNING OP RWZI'S

INHOUD

	TEN GELEIDE	
	SAMENVATTING	
	STOWA IN HET KORT	
	SUMMARY	
	STOWA IN SHORT	
1	INTRODUCTIE	1
1.1	Aanleiding	1
1.2	Projectdoelen	2
2	CO₂ MARKTANALYSE	3
2.1	Marktomvang CO ₂ levering in Nederland	3
2.2	CO ₂ Toepassingsgebieden	3
	2.2.1 Glastuinbouw	3
	2.2.2 Levensmiddelenindustrie	5
	2.2.3 Drinkwaterindustrie	6
	2.2.4 Overige eindgebruikers	6
2.3	Porter model marktanalyse	7
	2.3.1 Leveranciers	7
	2.3.2 Afnemers	8
	2.3.3 Substituten	9
	2.3.4 Potentiële toetreders	9
	2.3.5 Concurrentie	10
	2.3.6 Technieken	10
	2.3.7 Politiek en wetgeving	11
	2.3.8 Socio-cultureel	12
	2.3.9 Economie	12

3	TECHNISCHE BESCHOUWING CO₂-WINNING	13
3.1	Ontstaan CO ₂ -winningstechnieken	13
3.2	Mogelijke routes op RWZI's	13
3.3	CO ₂ -winningstechnieken	14
3.3.1	Vergelijkend overzicht biogasopwaardeertechnieken	14
3.4	CO ₂ -winning installaties	16
3.5	Inpassing CO ₂ -winning op RWZI's	16
4	INDICATIEVE CO₂ KWALITEIT	19
4.1	Beschikbare laboratoria voor analyses	19
4.2	Analyse CO ₂ kwaliteit op RWZI's	19
4.3	Interpretatie van de resultaten	20
5	FINANCIËLE EVALUATIE	22
5.1	Uitgangspunten Kosten-baten analyse	22
5.2	Resultaten kosten-baten analyse	23
5.3	Gevoeligheidsanalyse KOSTEN-BATEN	25
5.4	Kosten CO ₂ emissie reductie	25
6	DUURZAAMHEIDSASPECTEN CO₂-WINNING	27
6.1	GER-waarde CO ₂ productie	27
6.2	Doelmatigheid CO ₂ emissiereductie	27
7	CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN	28
7.1	Financiële evaluatie	29
7.2	Marktverkenning	29
7.3	Value proposition	30
7.4	Gaskwaliteit	30
7.5	Aanbevelingen	31
8	LITERATUUR	32
	BIJLAGEN	
1	MODEL VAN PORTER	35
2	LEVERANCIERS VAN CO ₂ EN INSTALLATIES	39
3	KWALITEITSNORMEN CO ₂	41
4	ACHTERGROND INFORMATIE CO ₂ -WINNINGSTECHNIEKEN	45
5	RESULTATEN GASANALYSES	51
6	UITGANGSPUNTEN FINANCIËLE EVALUATIE	53
7	NCW-BEREKENINGEN	55
8	GEVOELIGHEIDSANALYSE FINANCIËLE EVALUATIE	63
9	GER-WAARDE BEREKENING CO ₂ PRODUCTIE	67
10	TOEPASSING OP RWZI BEVERWIJK	71

1

INTRODUCTIE

1.1 AANLEIDING

De waterschappen in Nederland hebben momenteel de beleidsdoelstellingen om enerzijds kosten te besparen en anderzijds hun procesvoering te verduurzamen. Geijkte maatregelen hiervoor zijn het reduceren van energiegebruik en broeikasgasemissies. De waterschappen hebben zich hiertoe geconformeerd aan respectievelijk de Meerjaren afspraken Energie-efficiency (MJA3) en het Klimaatakkoord. Conform het Klimaatakkoord dienen broeikasgasemissies in 2020 in vergelijking tot peiljaar 1990 met 30% te zijn afgenomen. Momenteel zijn er drie strategieën om broeikasgas-emissiereductie te realiseren:

- door energiebesparingsmaatregelen;
- eigen duurzame energieproductie;
- reductie van mogelijke lachgasemissies van rioolwaterzuiveringsinrichtingen (RWZI)¹.

In deze rapportage zijn de mogelijkheden gepresenteerd van een nieuwe emissiereductie strategie, CO₂ winning uit biogas op RWZI. Primair houdt dit in het winnen en leveren van biobased (korte kringloop) CO₂ op de volgende locaties:

- uit het afgas van de opwerking van biogas tot groen gas;
- uit het biogas voorafgaand aan de WKK-installatie;
- uit het afgas van een WKK-installatie.

Voor het terugwinnen van CO₂ uit biogas zijn additionele gasopwaarderingsinstallaties en transport naar een afnemer noodzakelijk. Een mogelijk afnemer kan worden gevonden in bedrijventakken waarbij CO₂ wordt gebruikt, zoals glastuinbouw, drinkwaterbedrijven de voedingsmiddelen- en papierindustrie. Uit een verkennende studie voor RWZI Beverwijk blijkt dat in bepaalde situaties het economisch interessant kan zijn om de CO₂ af te zetten (van Bergeijk, 2011). Deze rapportage beoogt bestaande kennisleemtes van CO₂ winning en levering aan mogelijke afnemers te minimaliseren en tevens de potentie van deze strategie aangaande de MJA3 en Klimaatakkoord te verkennen. Tenslotte sluit winning van CO₂ goed aan bij de Energie- en Grondstoffenfabriek.

¹ Lachgasemissies verschillen aanzienlijk per RWZI en fluctueren in de tijd, het is op dit moment nog onbekend welke maatregelen voor lachgasemissiereductie doelmatig zijn. Daarnaast is uit de klimaatmonitor gebleken dat de emissiereductie niet realistisch is omdat goede data ontbreekt voor de bepaling van de daadwerkelijke emissie van lachgas (ARCADIS, 2012).

1.2 PROJECTDOELEN

De projectdoelen van dit onderzoek zijn:

1. het inzichtelijk maken van de technische aspecten van diverse CO₂ winningstechnieken;
2. inzicht geven in de gaskwaliteit en de eisen van de eindgebruiker;
3. evaluatie van de financiële haalbaarheid van CO₂ winningstechniek door een kosten / baten analyse en doelmatigheidstoets;
4. analyse van de afzetmogelijkheden en wensen/voorwaarden van de betrokken stakeholders met behulp van het Porter-model;
5. inzicht geven in welke RWZI's potentie hebben voor CO₂ winning en levering.

De resultaten van dit onderzoek bieden een kader om te bepalen op welke manier het nuttig en kosteneffectief is om CO₂ te winnen.

2

CO₂ MARKTANALYSE

Dit hoofdstuk beschrijft de marktanalyse voor de levering van biobased CO₂ uit biogas op RWZI's. In dit hoofdstuk is onderscheid gemaakt tussen 'biobased' CO₂ en 'gewone' CO₂. Het verschil is dat biobased CO₂ afkomstig is van een groene bron en dat gewone CO₂ afkomstig is uit een fossiele bron. De marktanalyse geeft inzicht in de verschillende partijen die in de markt acteren en schept een basis voor de leveringseisen en prijs van CO₂.

Het waterschap kan in de markt twee rollen vervullen. Enerzijds kan het de rol van producent én leverancier van CO₂ vervullen. In dat geval is het waterschap de eigenaar van de winningsinstallatie. Anderzijds kan het waterschap het potentieel van CO₂ winning benutten, en de CO₂ winning en/of leverantie uitbesteden aan een externe partij. Voor beide rollen is het van belang om een goed beeld van de kansen en risico's van marktbetreding te kennen.

2.1 MARKTOMVANG CO₂ LEVERING IN NEDERLAND

Het potentiële marktaandeel van de waterschappen is vastgesteld door de marktomvang van CO₂ in Nederland in kaart te brengen. De totale CO₂ emissie uit biogas van RWZI's bedraagt 53 kiloton in 2012. In Nederland zijn een beperkt aantal producenten van CO₂ actief. Vaak zijn de producenten ook de leveranciers en/of distributeurs. Voorbeelden van bedrijven zijn OCAP, dat CO₂ levert aan tuinders via een distributieleidingnet in het Westland, en Linde Gas dat CO₂ produceert uit onder meer kunstmestproductie. De totale industriële CO₂ levering bedroeg 1.239 kiloton in 2012. Het potentiële marktaandeel van waterschappen bedraagt maximaal 4%. Het effect op de CO₂ prijs door toetreding van de waterschappen als leverancier zal daardoor mogelijk beperkt zijn.

2.2 CO₂ TOEPASSINGSGEBIEDEN

CO₂ gas is een product dat in diverse marktgebieden kan worden afgezet. De verschillende eindgebruikers vragen specifieke kwaliteitseisen. In deze paragraaf worden de volgende potentiële eindgebruikers besproken: de glastuinbouwsector, de levensmiddelenindustrie en de drinkwaterindustrie. Tenslotte wordt er aandacht besteed worden aan enkele overige potentiële eindgebruikers.

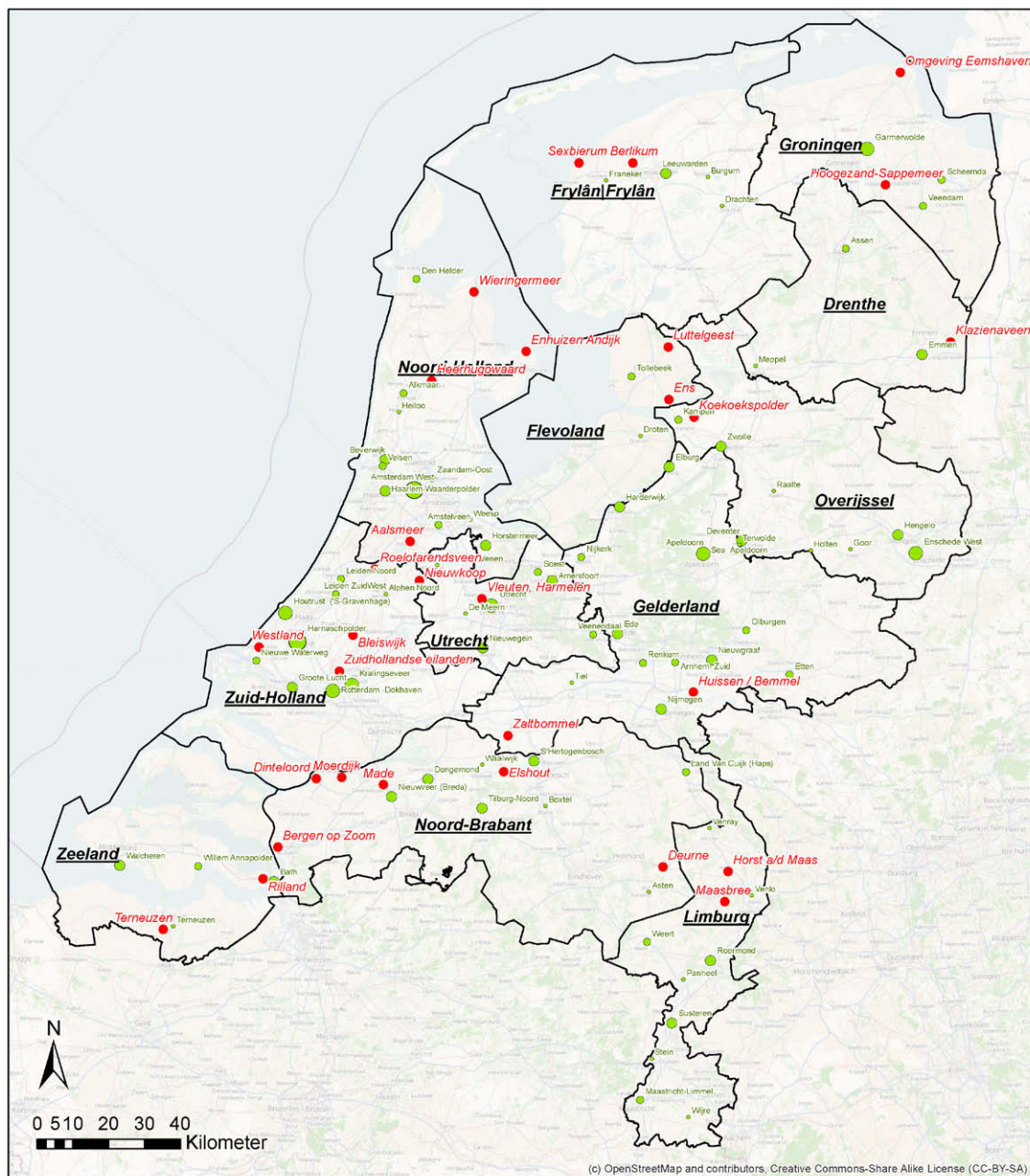
2.2.1 GLASTUINBOUW

Voor de groei van planten is CO₂ een essentiële factor. In de glastuinbouw kan CO₂ als bemesting worden gedoseerd om stagnatie van de groei te voorkomen. CO₂ dosering wordt in het merendeel van de teelt van groenten en sierplanten toegepast. De vereiste hoeveelheid en kwaliteit is afhankelijk van het vegetatie type, groeifase en beschikbaarheid van licht. Tuinders produceren CO₂ met eigen WKK's of nemen het af bij gecertificeerde leveranciers. De Nederlandse vraag naar CO₂ in de glastuinbouw ligt, afhankelijk van de mate van toediening, tussen de 2,6 en 6,3 Mton/jaar (Energymatters, 2013, van Nieuwenhuijzen, 2010).

Waterschappen kunnen met behulp van CO₂-winning uit biogas in een uiterst klein deel van de vraag voorzien. De inkoopprijs van CO₂ in de glastuinbouw bedraagt minimaal circa € 35/ton gasvormig CO₂.

FIGUUR 1

KANSENKAART MET BIOGAS PRODUCERENDE RWZI'S EN GLASTUINBOUWGEBIEDEN



LEGENDA

Biogas producerende RWZI's (2012) (x 1.000 m³)

Klasse

- < 500
- 500 - 1000
- 1000 - 2500
- 2500 - 5000
- 5000 - 10000
- Glastuinbouwgebieden

De kwaliteit van het CO₂ gas is van belang om beschadiging van kasgewassen te voorkomen. In bijlage 3 is een tabel gegeven met verschillende richtlijnen, afkomstig van het Instituut voor Plantkundig Onderzoek (IPO), WUR en OCAP (Esmeijer, 1999). In eerstgenoemde zijn de richtlijnen ten opzichte van de WUR voor NO_x en etheen aangescherpt (Dieleman et al., 2007). Nieuwere inzichten tonen aan dat NO_x en etheen schadelijk zijn voor diverse gewassen in lage concentraties. Het huidige afgas van WKK's bij glastuinbouwers kan aan deze richtlijnen niet meer voldoen. OCAP is een leverancier van CO₂ gas in het Westland, dat het gas distribueert via een leidingnet waarop telers kunnen worden aangesloten.

Met een kansenkaart is de potentie voor afzet van CO₂ in de glastuinbouw door de waterschappen grafisch weergegeven. In de onderstaande figuur zijn met rode punten de groot-schalige glastuinbouwgebieden in Nederland weergegeven. Tevens zijn met groene punten de biogas producerende RWZI's op de kaart geprojecteerd. Hoe groter de punt, des te groter de biogas productie.

In Tabel 1 zijn zeven RWZI's met hoge biogasproductie weergegeven. Op basis van de kansenkaart zijn de dichtstbijzijnde glastuinbouw gebieden opgezocht en opgenomen in de tabel. Om een exact beeld te krijgen van de lokale situatie zal voor elke mogelijke combinatie een quick scan uitgevoerd moeten worden om inzichtelijk te krijgen in de daadwerkelijke mogelijkheden.

TABEL 1 TOP 7 BIOGAS PRODUCERENDE RWZI'S MET NABIJGELEGEN GLASTUINBOUW GEBIEDEN.

Naam RWZI	Waterschap	Biogas productie [*106 Nm ³ /jaar]	Glastuinbouw gebied
Amsterdam West	Waternet	9,9	Aalsmeer
Harnaschpolder	Hoogheemraadschap van Delfland	5,3	Westland
Utrecht	Hoogheemraadschap de Stichtse Rijnlanden	4,6	Vleuten, Harmelen
Rotterdam-Dokhaven	Waterschap Hollandse Delta	4,1	Zuid-Hollandse eilanden
Garmerwolde	Waterschap Noorderzijlvest	3,2	Hoogezand-Sappemeer
Houtrust	Hoogheemraadschap van Delfland	2,8	Westland
Kralingseveer	Hoogheemraadschap van Schieland en Krimpenerwaard	2,7	Zuid-Hollandse eilanden

2.2.2 LEVENSMIDDELENINDUSTRIE

De CO₂ afname door de levensmiddelenindustrie bedraagt circa 10% van de totale marktomvang. CO₂ wordt in de regel vloeibaar afgenomen en de prijs bedraagt circa 80 – 100 € per ton. De levensmiddelenbedrijven nemen het CO₂ af via gasleveranciers (levering per as). De CO₂ vraag van de levensmiddelensector is versnipperd en niet centraal geregistreerd. Per bedrijf bedraagt de vraag echter honderden tonnen CO₂ per jaar. De voornaamste toepassing is als inert gas om versheid van producten te garanderen (verpakt onder beschermde atmosfeer). Daarnaast wordt CO₂ gebruikt voor dosering aan frisdranken.

Voor deze toepassingen gelden verschillende richtlijnen:

- Voor het verpakken van producten onder beschermde omstandigheden gelden food-grade eisen (Janssen et al., 2010).
- De richtlijn International Society of Beverage Technologists (ISBT - bevtech.org) geldt voor de frisdrank/bier/wijn producenten. ISBT certificatie behelst de gehele productieketen, dus niet alleen het eindproduct. Belangrijke eisen aan het eindproduct zijn de producthygiëne, smaak en geur.
- Naast de ISBT richtlijn gelden er ook EU-regels waaraan CO₂ moet voldoen voor gebruik als voedseladditief. Deze richtlijn is minder strikt en uitgebreid gespecificeerd.

2.2.3 DRINKWATERINDUSTRIE

Bij drinkwaterproductie is het doseren van CO₂ één van de mogelijkheden voor pH correctie (na ontharding of voor opharding (door marmerfilter). De noodzaak van ontharding is gerelateerd aan de hardheid van het gewonnen water (zowel grond- als oppervlaktewater). De dosering bedraagt circa 813 mg CO₂/m³ drinkwater. Voor de drinkwaterindustrie is de exacte vraag niet bekend geworden. PWN doseert 1,4 kt per jaar en Waternet zou in de toekomst 0,5kt per jaar kunnen doseren vanwege de overstap van zwavelzuur op CO₂. De prijs van de CO₂ bedraagt circa € 100 per ton.

De kwaliteitseisen van het CO₂ zijn beschreven in NEN936 en weergegeven in Bijlage 3. Momenteel geldt nog de NEN 936-2006, al is er inmiddels een nieuwe concept norm beschikbaar (NEN 936-2013). In laatstgenoemde norm gelden voor diverse parameters minder strikte criteria en zijn minder parameters gegeven. Als de NEN 936-2013 wordt geëffectueerd zal dit gevolgen hebben voor onder meer de kosten van analyse voor kwaliteitsborging. Certificering van CO₂ voor gebruik in de drinkwaterproductie wordt uitgevoerd door KIWA.

2.2.4 OVERIGE EINDGEBRUIKERS

Naast de in de vorige paragrafen beschreven eindgebruikers waarin grote hoeveelheden CO₂ worden verhandeld, zijn er ook enkele niche-markten en markten in opkomst, te weten:

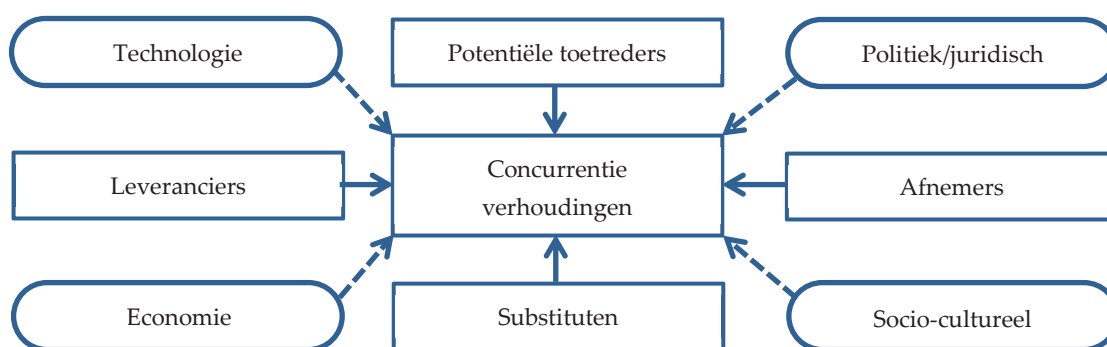
- Koelingsmiddel: CO₂ wordt veelvuldig ingezet in vloeibare en vaste vorm in de voedingsindustrie gedurende transport en opslag van ijs en bevroren voedingsmiddelen. In deze industrie worden ook de ISBT (International Society of Beverage Technologists) normen gehanteerd (van Bergeijk, 2011);
- Oliewinning: injectie van superkritische (>73 atmosfeer en >33°C) CO₂ in oliebronnen reduceert de viscositeit van achterblijvende olie, waardoor die restfractie nog wel terug te winnen is;
- Kledingindustrie: door het verven van kleding ontstaan grote hoeveelheden afvalwater. Door te verven in superkritische CO₂ ontstaan geen grote hoeveelheden afvalwater;
- Inzet als inert gas: CO₂ wordt, vanwege de lage kostprijs, in sommige gevallen ingezet in brandblusapparaten of hydraulische systemen;
- Chemische industrie: CO₂ wordt vaak gebruikt als ingrediënt voor andere chemicaliën als ureum, methanol en carbonaten;
- Papierindustrie: papierfabrieken gebruiken calciumcarbonaat in hun productieproces, waar CO₂ in zit. Het calciumcarbonaat wordt gebruikt als vulstof en voor coating van papier. De gewenste CO₂ kwaliteit is lager in vergelijking tot KIWA of ISBT, echter eisen zijn op dit moment onbekend. De prijs van de CO₂ bedraagt circa € 10/ton. Een voorbeeld van CO₂ levering is dat de rookgas van de slibverbranding van Slibverwerking Noord-Brabant (SNB) wordt afzet bij een toeleverancier van de papierindustrie (Omya). Hier wordt circa 300.000 ton calciumcarbonaat per jaar geproduceerd uit het rookgas.

2.3 PORTER MODEL MARKTANALYSE

De CO₂ marktanalyse is uitgevoerd middels het vijf krachten model van Porter (1979). Met deze kwalitatieve methode is het marktpotentieel inzichtelijk gemaakt. Het vijfkrachtenmodel is ingevuld op basis van informatie verkregen via interviews met marktpartijen en literatuur.

Michael Porter heeft het vijfkrachtenmodel (competitive-forces model) ontwikkeld. Dit model heeft als doel het winstpotentieel van een markt of bedrijfstak, te bepalen. In elke bedrijfstak wordt, volgens Porter, dit potentieel beïnvloed door vijf factoren die hij 'krachten' noemt. De gezamenlijke kracht van deze vijf krachten bepaalt het uiteindelijke winstpotentieel van de bedrijfstak. De krachten en daarmee de kans op winsten lopen per bedrijfstak sterk uiteen. Het Porter model bestaat uit de volgende vijf krachten, deze zijn in de onderstaande weergegeven.

FIGUUR 2 HET VIJFKRACHTENMODEL VAN PORTER MET DAARIN WEERGEGEVEN DE VIJF KRACHTEN EN VIER ONTWIKKELINGEN



In de onderstaande paragrafen is het vijfkrachtenmodel van Porter uitgewerkt. In Bijlage 1 zijn achtergronden van het model van Porter opgenomen. Het Porter model geeft een indicatie van de 'aantrekkelijkheid' van de introductie van een product door een nieuwe speler in een bestaande markt. Voor een organisatie, zoals bijvoorbeeld het waterschap, is het bepalend welke positie ze in neemt en wat het onderscheidend vermogen is. Bij het invullen van het Porter model is het van belang om vooraf de rol van het waterschap in de waardeketen voorafgaand vast te stellen. Mogelijke rollen van het waterschap zijn:

- Toeleverancier van een grondstof (biogas of rookgas) aan gebruiker of tussenhandel;
- Producent van CO₂ (en CH₄);
- Producent en leverancier/distributeur van CO₂ (en CH₄).

2.3.1 LEVERANCIERS

De huidige CO₂ gasleveranciers zijn onder te verdelen naar gaskwaliteit/eindgebruiker. Achter de vier groepen eindgebruikers staan de namen van een aantal bestaande gasleveranciers.

- Levensmiddelen industrie: Linde gas, Heineken (leverancier voor Pepsi/Vrumona);
- Drinkwater industrie: Linde gas, Messer (Duitsland);
- Glastuinbouw: OCAP/Linde, Yara Sluiskil, RoCa, Ecofuels, Air Liquide, Dintellood;
- Overig: diverse bedrijven.

In Bijlage 2 zijn enkele leveranciers nader toegelicht. Voor de ontwikkelingskracht van de technieken voor CO₂ productie zijn de bovengenoemde gasleveranciers afhankelijk van de bouwers en exploitanten van de gasinstallaties. Daar vinden de ontwikkelingen en technologische vernieuwingen plaats.

Het aanbod in de markt voor gasvormig CO₂ productie (en afzet) in Nederland is sterk locatie gebonden. De transportkosten hebben een negatief effect hebben op de hoogte van de CO₂ prijs. Het heeft dus de voorkeur de vraag en het aanbod geografisch gezien zo dicht mogelijk bij elkaar te laten liggen.

2.3.2 AFNEMERS

De huidige afnemers van CO₂ gas zijn onder te verdelen naar gaskwaliteit. De gaskwaliteit is grofweg in te delen in vier groepen van afnemers. Achter deze drie groepen staan de namen van een aantal afnemers en/of vertegenwoordigers:

- Levensmiddelen industrie: FNL, Thermoking
- Drinkwater industrie: Waternet, PWN, overige drinkwaterbedrijven
- Glastuinbouw: Telers van groenten en sierplanten
- Overig: Papierindustrie

De aansluiting op de vraag van de klant is goed wat kwantiteit betreft, omdat de afnemers allemaal bediend kunnen worden. Voor de glastuinbouw geldt echter wel dat er fluctuaties over het jaar zijn vanwege het groeiseizoen, waarin meer CO₂ wordt afgenomen.

In het totaal gebruikt de glastuinbouw naar schatting tussen de 5.000 en 6.200 kiloton CO₂ per jaar als op elk bedrijf in de winter CO₂ gedoseerd wordt en zomers 50 ppm boven de buitenwaarde aangehouden wordt (Vermeulen and van der Lans, 2010). Als in de zomer slechts de buitenwaarde aangehouden wordt is 2.600 kton CO₂ per jaar nodig voor de hele sector. Wordt echter de trend gemeengoed om 200 - 250 kg CO₂ per ha per te gaan doseren, dan zal het sectorgebruik tot 10.000 kton per jaar gaan stijgen (Vermeulen and van der Lans, 2010).

Binnen de glastuinbouwsector is sprake van een afname van CO₂ productie door de eigen WKK's van de tuinders. De tuinders krijgen namelijk vaker warmte via een andere bron, zoals geothermie of warmteleidingen. Als gevolg van deze vermindering van CO₂ door eigen WKK's, zal de vraag naar CO₂ van een externe leverancier toenemen.

Er is over het algemeen sprake van contracten met een langere looptijd, echter de looptijd en de contractgrootte zijn niet specifiek vrijgegeven door de afnemers.

De onderhandelingskracht mogelijkheden voor de afnemers varieert en is niet altijd inzichtelijk. Een wijziging van leverancier levert namelijk een aantal distributietechnische problemen op. De opslagtank is meestal eigendom van de gasleverancier, zodat de afnemer in meer of mindere mate aan de leverancier vast zit. Hetzelfde geldt indien de afnemer op een CO₂ leidingnet is aangesloten dat door de gasleverancier is bekostigd.

De markt voor afzet van gasvormig CO₂ is in Nederland erg lokaal. De reden hiervan is dat de transportkosten relatief hoog zijn ten opzichte van de CO₂ prijs. De afnemers van gas hebben vrijwel allemaal een normering waaraan het gas moet voldoen. Er wordt dus geen standaard-product afgenomen.

2.3.3 SUBSTITUTEN

De glastuinbouw heeft geen rechtstreeks alternatief (substituut) voor CO₂. Echter door het inblazen van het afgas van een WKK kan ook CO₂ worden gedoseerd in de kassen. Dit gebruik neemt overigens sterk af, omdat de rookgassen ook andere schadelijke gassen (kunnen) bevatten. Bij deze WKK's vormt de emissie van een te hoge concentratie van NO_x een probleem (de Wolff, 2009). Dit biedt kansen voor inzet van CO₂ uit biogas, dat een substituut is van CO₂ uit de WKK's.

In Bijlage 3 zijn de effectgrenswaarden opgenomen die door het Instituut voor Plantkundig Onderzoek (IPO) en het Proefstation voor Bloemisterij en Glasgroente zijn vastgesteld (de Wolff, 2009). Deze effectgrenswaarden zijn een set van concentraties in de kas waarvan is vastgesteld dat die niet tot schade leiden mits niet overschreden. De grenswaarden zijn in 2007 herzien door WUR naar aanleiding van onderzoek.

Naast de juiste kwaliteit van het gas is de vraagpiek van CO₂ in de zomer een specifiek punt voor de kassenteelt. In het groeiseizoen (zomer) is de warmte die afkomstig is van de WKK installatie niet nuttig te gebruiken in de kassen. Uit de Wolff (2009) blijkt echter dat met de komst van concepten waarin de kas slechts half geopend of geheel gesloten is de ventilatiepraktijk in de kassen verandert. Dit maakt dat er minder CO₂ gedoseerd hoeft te worden om toch een verhoogde concentratie te behouden. Deze ontwikkeling brengt met zich mee dat bij toepassing van WKK afgas ook de concentraties van mogelijk schadelijke rookgascomponenten kunnen oplopen in de kas. De nieuwe kasconcepten vragen dus om zuiverder CO₂ in hogere concentraties. Dit kan inhouden dat de rookgassen van de WKK niet langer worden ingezet of dat deze gassen gezuiverd moeten of dat er 'zuiver' CO₂ ingekocht moet worden.

Voor de drinkwatersector geldt dat CO₂ een milieuvriendelijker middel is in de zuiveringsprocessen in vergelijking met zoutzuur. CO₂ wordt hier dus ingezet als substituut. Uit gesprekken met PWN blijkt dat zij jaarlijks 1.360 ton CO₂ in de drinkwater bereiding doseren. Waternet geeft aan dat zij nu nog zoutzuur doseren in hun drinkwaterbereidinginstallaties, maar graag op termijn CO₂ willen gebruiken. Op dit moment wordt op één locatie jaarlijks 50 ton CO₂ gedoseerd in de voorzuivering. In de toekomst kan de vraag van Waternet toenemen tot 500 ton CO₂ per jaar.

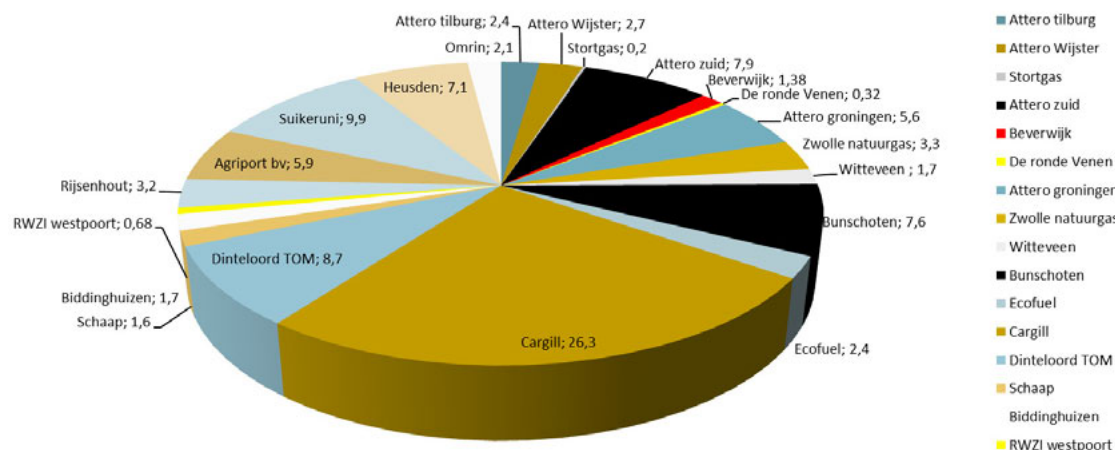
Voor de voedingsmiddelenindustrie geldt dat voor alternatieve gasmengsels voor het verpakken onder beschermde atmosfeer de verschillen erg product specifiek zijn. Hierover bestaat dus geen volledige duidelijkheid. Voor het koelen en vriezen is CO₂ juist een vervanger van het schadelijke ammoniak. CO₂ wordt hier dus ingezet als milieuvriendelijker koelmiddel. Voor koolzuurhoudende dranken is geen vervangend gas te verwachten.

2.3.4 POTENTIËLE TOETREDERS

Het is niet bekend wat de voornaamste mogelijke toetreders zijn, vooralsnog worden energiemaatschappijen en waterschappen als potentiële toetreders beschouwd. Ook zijn er tuinbouwbedrijven die samen initiatieven ontwikkelen om op één locatie CO₂ voor hun gezamenlijke kassen te gaan produceren. De markt is wel lastig omdat nieuwe toetreders afhankelijk zijn van vraag en aanbod, maar ook van de afstand tussen productie en afname. Daarnaast is het om de markt te betreden noodzakelijk om te investeren in een installatie, certificering, opslag en distributie van het gas.

Figuur 3 geeft de potentiële biobased CO₂ bronnen weer, waarbij de potentiële productie 103 kt per jaar bedraagt. Het potentiële marktaandeel van RWZI's in biobased CO₂ bedraagt 34%. Bij de berekening van dit percentage is geen rekening gehouden met mogelijke groei van zowel vraag als aanbod vanuit RWZI's. Door CO₂ als biobased te vermarkten kan de afnemer eventueel een duurzamer imago verkrijgen, bijvoorbeeld de (biologische) glastuinbouw kan hierin geïnteresseerd zijn.

FIGUUR 3 BIOGASOPWEKKINGSINSTALLATIES MET POTENTIËLE (BIOBASED) CO₂ PRODUCTIE IN KT PER JAAR



2.3.5 CONCURRENTIE

Binnen de CO₂ gas markt is weinig concurrentie, door langlopende contracten en dure installaties en randapparatuur. Contracten worden vaak voor meerdere jaren vast gelegd en tenslotte zijn er maar een beperkt aantal leveranciers van CO₂.

De markt is stabiel, het marktvolume zal niet echt hard stijgen. Mogelijk is er wel sprake van stijging als de rookgassen van WKK installaties van glastuinders echt negatief uitpakken. Ook kan er sprake zijn van stijging als waterbedrijven vaker CO₂ zullen inzetten voor pH-correctie.

2.3.6 TECHNIEKEN

De technieken voor winning van CO₂ uit biogas zijn voldoende beschikbaar. Echter niet alle technieken kunnen de in de markt geldende gaskwaliteiten leveren. De mogelijke technieken en de geschiktheid ervan voor CO₂ winning uit biogas worden in hoofdstuk 5 van dit rapport beschreven. Er worden momenteel geen nieuwe technieken verwacht. Wel zullen de bestaande technieken verbeterd en rendabeler worden gemaakt. Hierbij valt te denken aan andere absorptie materialen, efficiëntere membranen, energiezuinige methodes en warmte-terugwinning.

Uit Figuur 8 in Bijlage 2 blijkt dat in Nederland in 2013 14 biogas opwaarderingsinstallaties aanwezig zijn, terwijl er wereldwijd 132 stuks aanwezig zijn. In Nederland zijn biogasopwaarderingsinstallaties aanwezig op de volgende RWZI's:

- Assen: enkelvoudige membraanfiltratie (met recirculatie);
- Mijdrecht: chemische absorptie;
- Amsterdam-West: enkelvoudige membraanfiltratie;
- Beverwijk: 2-staps membraanfiltratie waarbij CO₂ cryogeen verder wordt gezuiverd;
- Haarlem Waarderpolder: enkelvoudige cryogene zuivering;
- Apeldoorn: chemische absorptie.

Het biogas wordt afgenomen en verwerkt door deze bedrijven:

- BioGast (Beverwijk, Mijdrecht, Amsterdam-West);
- GasTreatmentServices (Haarlem Waarderpolder);
- Cirmac (Apeldoorn);
- HoST (Assen).

Afhankelijk van het contract tussen waterschap en exploitant van de opwaardeerinstallatie is de CO₂ eigendom van één van beide partijen.

2.3.7 POLITIEK EN WETGEVING

De productie van groengas uit biogas wordt door de overheid gestimuleerd via subsidies. Echter biogas en al de niet-fossiele brandstoffen vallen buiten de CO₂ emissie handel. Er zijn dus geen emissie rechten te verdienen met behulp van deze methode van CO₂ winning.

Op het gebied van wet- en regelgeving worden positieve veranderingen verwacht. De overheid wil namelijk dat verduurzaming rendabeler wordt. Dit wordt onder meer gedaan met de Green Deal tussen de Unie van Waterschappen, bedrijven en de Rijksoverheid [www.ondernemendgroen.nl]. Dit is geen subsidie, maar een samenwerkingsverband om belemmeringen rond allerlei projecten weg te nemen. Door bestaande belemmeringen blijft een aanzienlijk potentieel van verduurzaming onbenut. De overheid kan met de Green Deals een rol spelen door:

- partijen bij elkaar te brengen;
- kennis te verschaffen;
- belemmerende regelgeving te veranderen.

De Energie- en Grondstoffenfabriek draagt ook bij aan de verduurzaming van projecten zonder dat daarbij een subsidie noodzakelijk is.

In STOWA (2012) zijn de resultaten weergegeven van onderzoek naar de juridische aspecten die spelen bij de valorisatie van afvalwater. Uit dit rapport blijkt dat de energieopwekking voor eigen gebruik niet op staatsrechtelijke problemen stuit, maar dat voor verdergaande initiatieven, zoals de levering van grondstoffen en energie aan derden, het volgens de onderzoekers voor de zekerheid gewenst is het wettelijk kader aan te passen. Bij uitbreiding van de zuiveringstaak met de levering van energie en grondstoffen aan derden, ontstaat volgens de onderzoekers het risico dat het takenpakket van de waterschappen te ver wordt opgerekt om nog te kunnen spreken van een openbaar lichaam dat zich in het bijzonder bezighoudt met de waterstaatkundige verzorging van een bepaald gebied.

Op de vragen uit het bovenstaande rapport heeft de Minister van Infrastructuur en Milieu in een brief aangegeven dat er geen wettelijke belemmeringen bestaan om reststoffen aan private partijen te leveren uit het zuiveringsproces, die voor de private partijen weer een grondstof zijn (Lazeroms, 2013).

Daarnaast stelt de minister de voorwaarde dat bij levering van energie en grondstoffen aan derden, de mededingingsregels dienen te worden nageleefd. In het genoemde STOWA rapport zijn aspecten van mededinging onderzocht en komen de onderzoekers tot de conclusie dat dit geen onoverkomelijke knelpunten hoeft op te leveren. Het is wel van belang dat de waterschappen zich voldoende van deze Europese spelregels bewust zijn. Daarnaast zal bijvoorbeeld de CO₂ die door waterschappen op de markt wordt gebracht tegen kostendekkende

prijzen moeten worden verhandeld, om derhalve geen marktverstorende werking te veroorzaken. Overheden dienen in ieder geval alle integrale kosten van een economische activiteit doorberekenen in de verkoopprijs.

2.3.8 SOCIO-CULTUREEL

Het nuttig inzetten van CO₂ is een punt dat positief bijdraagt aan het groene imago van het waterschap. Uit gesprekken met OCAP blijkt dat biologische tuinders geïnteresseerd zijn in “biobased” CO₂. Door CO₂ levering aan de glastuinbouw wordt bovendien voorkomen dat tuinders in de (warme) zomerperiode hun WKK's aanzetten om CO₂ te produceren voor de gewassen, terwijl de opgewekte warmte uit de WKK niet inzetbaar is.

Het biobased imago van CO₂ wordt door PWN en Waternet positief gewaardeerd (grondstoffen hergebruik). De drinkwater consumenten hebben op dit moment wellicht een andere perceptie. De implementatie van de inzet van CO₂ als substituuut voor zoutzuur vraagt echter de nodige proces technische aanpassingen en kost de nodige tijd. Tevens hecht men waarde aan het sluiten van de waterketen en geeft het invulling aan samenwerking tussen waterschappen en drinkwaterbedrijven.

Voor de specifieke toepassing in de voedingsmiddelen industrie kan de acceptatie ervan lastig worden, omdat de CO₂ afkomstig vanuit de RWZI kan worden betiteld als niet hygiënisch. De inschatting van de huidige CO₂ leveranciers is dat het probleem van acceptatie op lange termijn (10 jaar) niet meer bestaat. De meerwaarde voor biobased CO₂ wordt door de levensmiddelen industrie wel gezien, maar voor hen zal er mogelijk maar een beperkt imago voordeel zitten aan biobased CO₂ vanuit een RWZI.

2.3.9 ECONOMIE

Uit verschillende interviews volgt de verwachting dat de prijs van CO₂ op termijn stabiel blijft met een mogelijke stijging (gecorrigeerd voor inflatie). De vraag naar CO₂ in de glastuinbouw is volgens OCAP echter groter dan het huidige aanbod. Dit blijkt ook uit Smit (2010) waarin gesteld wordt dat de glastuinbouw momenteel tussen de 450 en 500 kiloton per jaar afneemt bij derden (situatie 2008), maar dat door verduurzaming van de glastuinbouw (minder WKK's) er een stijgende vraag te verwachten is tot 1.550 kiloton per jaar in 2020 (Smit, 2010). In Tabel 2 is de vraag en het aanbod van de CO₂ markt indicatief weergegeven.

TABEL 2

INDICATIE VAN DE VRAAG EN HET AANBOD OP DE CO₂ MARKT

Marktsector	Totale aanbod kt/jaar	Totale vraag kt/jaar	Marktwaaarde CO ₂ €per ton
Waterschappen	< 53		n.t.b.
Glastuinbouw		500	65
Drinkwaterindustrie		5 – 20	100
Voedingsmiddelenindustrie		>10.000	80
Biobased CO ₂	103	Nog onbekend	Nog onbekend >65

Op basis van het bovenstaande lijkt de glastuinbouw een grote markt, die ten aanzien van certificering weinig drempels kent.

3

TECHNISCHE BESCHOUWING CO₂-WINNING

In dit hoofdstuk is achtergrondinformatie gegeven over de technologieën die inzetbaar zijn voor CO₂ winning op RWZI's. Allereerst is de herkomst van CO₂ winningstechnieken toegelicht. Daarna komen de verschillende technologische concepten aan bod.

3.1 ONTSTAAN CO₂-WINNINGSTECHNIEKEN

CO₂-winningstechnieken zijn afkomstig uit industrieën waarbij (op grote schaal) fossiele brandstoffen worden gebruikt. Naar aanleiding van de discussie over klimaatverandering, ontstond de behoefte om het netto-emissie overschot te beperken. Om het broeikasgas CO₂ te scheiden van de rest van de afval gasstromen zijn winningstechnieken ontwikkeld. Het CO₂ kan vervolgens worden opgeslagen en/of worden ingezet voor andere doeleinden. Grofweg onderscheidt men drie typen CO₂ scheidingstechnieken in de industrie (voornamelijk energiecentrales en kunstmest/cement industrie):

1. **Na-verbrandingsscheiding:** CO₂ wordt middels absorptie in een amine-oplossing van het resterende afgas gescheiden;
2. **Voor-verbrandingsscheiding:** de brandstof reageert met lucht/zuurstof of stoom tot syngas, bestaande uit koolstof mono-oxide en waterstof. De koolstof mono-oxide reageert met stoom in een katalytische reactor om CO₂ en waterstof te vormen. De CO₂ wordt afgescheiden middels chemische absorptie, terwijl een waterstofrijke brandstof resteert.
3. **Oxy-fuel:** in dit concept wordt zuurstof geïnjecteerd in de verbrandingsmotor, zodat het afgas vrijwel alleen bestaat uit CO₂ en water. Het water kan eenvoudig worden afgevangen door het gas te koelen. Wel is een bron van pure zuurstof noodzakelijk.

3.2 MOGELIJKE ROUTES OP RWZI'S

Het biogas op RWZI's bestaat voornamelijk uit CH₄ (58 - 65%), CO₂ (35 - 40%), waterdamp (±2%), N₂ (0,2%) en H₂S (400 ppm) (STOWA, 2011). In het kader van deze studie zijn biogasanalyse gegevens opgevraagd bij diverse waterschappen. De resultaten zijn weergegeven in Tabel 3.

TABEL 3 BIOGAS KARAKTERISTIEKEN

Component	Eenheid	Veendam	Assen	Scheemda	Amsterdam West	De Groote Lucht	Den Bosch
CH ₄	%	60,4	58,3	61,1	60,4	62	60,8
CO ₂	%	39,4	41,6	38,8	39,4	38	37,9
H ₂ S	%	0,01	0,02	nb	0,02-0,06	0,02	0,015
N ₂	%	0,18	0,14	0,2	nb	nb	nb
Siloxanen	ppm	1,1	0,7	0,2	5,5	nb	0,7

*nb = niet beschikbaar

Zoals blijkt is CO₂ de component dat op methaan na, het meest voorkomt in biogas. Uitgaande van de bovenstaande meetgegevens wordt voor de financiële evaluatie uitgegaan van een verdeling van 61% CH₄ en 38% CO₂.

Afhankelijk van de installaties die aanwezig zijn op de RWZI, kunnen globaal drie verschillende gasopwerking of CO₂ winningsroutes gebruikt worden:

- **Biogasopwaarding met WKK:** in deze route wordt gebruik gemaakt van de reeds bestaande WKK installatie. Hierbij kan het biogas opgewerkt worden tot aardgaskwaliteit voor de WKK installatie. Voordeel hierbij is dat de WKK installatie (indien deze dit toestaat) tegen een beter rendement kan functioneren omdat een betere kwaliteit gas wordt toegevoerd. Dit voordeel is echter betrekkelijk: de verwachte efficiency verbetering is omstreeks 1% (absoluut) voor elektriciteitsproductie. Injectie van gas met een hoger methaangehalte heeft geen merkbaar effect op de levensduur van de WKK (persoonlijke communicatie met M. Smale, LekHabo). Een ander voordeel is dat de H₂S en siloxaanverwijdering al tijdens het biogasopwaardeerproces heeft plaatsgevonden;
- **Biogasopwaarding zonder WKK:** het geproduceerde biogas wordt gescheiden in een CH₄ rijke en CO₂ rijke fractie. Beide stromen kunnen afzonderlijk worden verkocht. In warmte voor de gisting dient wel op een andere manier te worden voorzien.
- **CO₂-winning uit WKK-afgas:** vaak wordt het CO₂-CH₄ mengsel c.q. biogas geïnjecteerd in een WKK installatie waarmee wordt voorzien in de warmte vraag van de slibgistingsinstallatie en elektriciteitsproductie plaatsvindt. In dat geval zal een gasbehandelingsinstallatie worden geplaatst om het CO₂ te winnen uit het afgas van de WKK. Dit concept is afgeleid uit ervaringen in de glastuinbouw waarbij het afgas uit de WKK (van de tuinder) echter rechtstreeks geïnjecteerd wordt in de kas. Voor zover bekend zijn er geen RWZI's in Nederland die hier gebruik van maken.

Een kanttekening bij deze route is dat de WKK aanzienlijke hoeveelheden lucht aanzuigt voor de verbranding van het biogas en hiermee de CO₂ concentratie in het afgas met een factor 8 verlaagd wordt. Uit metingen op het WKK afgas van RWZI Zaandam blijkt dat de CO₂ concentratie 7,6 – 8,5% bedraagt. Door de lage concentratie aan CO₂ is winning niet meer kosteneffectief op de schaal van een RWZI (Azar et al., 2006). In geval van CO₂ winning uit afgas is de hoeveelheid gewonnen CO₂ 3x zo hoog als wanneer CO₂-winning uit biogasopwaarding wordt toegepast. Het oorspronkelijk aanwezige CO₂ én het CO₂ resterend na CH₄ verbranding wordt immers teruggewonnen.

3.3 CO₂-WINNINGSTECHNIEKEN

Om CO₂ te isoleren van overige gassen zijn verschillende technologieën beschikbaar. De optimale technologie is afhankelijk van lokale omstandigheden. In dit subhoofdstuk zal aandacht worden besteed aan de diverse technologieën, namelijk: cryogene scheiding; membraanfiltratie; organisch-chemische wassers; fysische wassers en temperatuur/drukwisseladsorptie.

In paragraaf 5.3.1 is een vergelijkend overzicht weergegeven, waarin de belangrijkste proces-technologische eigenschappen worden genoemd. In Bijlage 4 zijn de technologieën uitgebreider beschreven.

3.3.1 VERGELIJKEND OVERZICHT BIOGASOPWAARDEERTECHNIEKEN

In Tabel 4 is een overzicht weergegeven van enkele belangrijke parameters per type technologie. De getallen zijn gebaseerd op de Hullu et al. (2008), Niesner et al. (2013), Bauer et al. (2013), Petersson and Wellinger (2009), Energymatters (2013) en IEA (2013). Merk op dat de waarden per referentie significant kunnen verschillen. Dit wordt vooral veroorzaakt omdat

de productiedoelen van de installaties verschillen (aardgasproductie, Liquefied Natural Gas (LNG)-productie, CO₂-productie). De schaalgrootte geeft aan op welke schaal de meeste huidige installaties gebouwd zijn en geeft zodoende een indicatie welke technologie voordeliger is op een grote dan wel kleine schaal. De zuiverheid van het CH₄ geeft het percentage CH₄ aan in het geproduceerde gasmengsel. Het percentage methaanslip geeft aan hoeveel proces methaan weglekt naar de atmosfeer (indien geen voorzorgsmaatregelen genomen zijn). Merk op dat CH₄ een sterker broeikasgas is dan CO₂; 1 kg CH₄ is equivalent aan 21 kg CO₂. De kostprijs geeft een indicatie weer hoeveel het opwaarderen van 1 Nm³ biogas kost. Dit omvat zowel operationele kosten als kosten voor afschrijving van de installatie. Genoemde getallen zijn gemiddelden en afhankelijk van lokale omstandigheden, biogassamenstelling en procesconfiguratie.

TABEL 4 KENTALLEN SCHAALGROOTTE, PRODUCT KWALITEIT EN KOSTPRIJS PER BIOGAS OPWAARDEERTECHNOLOGIE.

	Eenheid	Cryogene scheiding	Membraan- filtratie	Chemische absorptie	Selexol / Rectisol	Water- wassers	Wissel- adsorptie
Schaalgrootte	Mm ³ /y	1 - 5	1 - 2	2 - 5	5 - 20	5 - 20	1-20
Installaties in Europa	# (2013)	1	14	54	12	91	51
Zuiverheid CH ₄	%	91-99	90-99,5	99-99,5	93 - 98	98	98
Zuiverheid CO ₂	%	>99	90	> 95	<10	1-5	90 - 95
Methaanslip	%	0-2	0-20	0-0,1	0-10	0 - 5	0-5
Methaanslip CO ₂ equivalenten	g CO ₂ eq/ m ³ biogas	0-9,5	0 - 95	0-0,5	0 - 47	0 - 23	0 - 23
Kostprijs	€/Nm ³ biogas	0,12	0,04	0,04	0,05	0,05	0,06

Uit de tabel kan het volgende worden geconcludeerd:

- Cryogene scheiding is de meest kostbare technologie en levert een heel goed scheidingsresultaat op (CO₂ zuiverheid is >99%);
- Gaswassers gebaseerd op fysisch adsorptie (waterwassers en Selexol/Rectisol/Genosol) leveren een sterk verdund CO₂ product;
- Behalve in geval van cryogene scheiding zijn extra zuiveringsstappen noodzakelijk om een CO₂ product te verkrijgen dat voldoet aan de ISBT, food-grade of Kiwa-ATA richtlijn (99,9 – 99,98%);
- Afhankelijk van de procesconfiguratie kan CO₂ gewonnen met chemische absorptie worden ingezet in de glastuinbouw. De OCAP richtlijn vereist ± 99% zuiverheid.

De verkoopprijs van groengas bedraagt € 0,34/Nm³ (persoonlijke communicatie B. van Asselt, groengas.nl);

Uitstoot van CH₄ naar de atmosfeer is uiteraard niet de bedoeling van groengas productie. Om dit te voorkomen dienen technieken gecombineerd te worden, is afgasreiniging noodzakelijk of moet het proces anders ingericht worden (bijv. met recirculatie). Het CH₄-gehalte in het restgas van de chemische absorptie-installatie op RWZI Apeldoorn is 0,017% (persoonlijke communicatie C. van Oss – Cirmac). Ook geldt dat in een WKK ongeveer 1% van het biogas niet verbrand wordt, equivalent aan 6 gr CO₂ per m³ biogas (STOWA, 2009).

3.4 CO₂-WINNING INSTALLATIES

Zoals in paragraaf 5.3.1 is gebleken, levert, behalve de cryogene scheidingstechniek, geen installatie een CO₂ product dat voor meer dan 99% zuiver is. Extra technieken zijn noodzakelijk om een hogere zuiverheid te realiseren indien de afnemer dit vraagt. Ervan uitgaande dat H₂S en siloxanen afdoende verwijderd zijn in een actiefkoolfilter, is het vooral CH₄ dat nog verwijderd dient te worden. Omdat het CH₄gehalte te laag is om verbrand te worden, dient het methaan op een andere manier te worden verwijderd. Dit kan op twee manieren plaats vinden:

- Katalytische oxidatie, wat op twee manieren kan worden toegepast:
 - het gas wordt door een kalium permanganaat (eventueel gemengd met kopersulfaat) kolom geleid. Omdat KMnO₄ niet geloosd mag worden op het riool, dient de stof te worden teruggewonnen door indamping. Na ongeveer 8-16 uur gebruik is regeneratie nodig. Dit maakt het echter zeer kostbaar (persoonlijke communicatie J. Spaan, Array CO₂ technologies). KMnO₄ wordt toegepast om zwavelverbindingen te verwijderen uit gasstromen;
 - er wordt gebruik gemaakt van een CODiNOx-systeem. Dit systeem wordt toegepast als rookgasreinigingsstap voor WKK afgas in de glastuinbouw. Zowel NO_x wordt verwijderd (met ureum injectie) als koolwaterstoffen. Voor dit laatste wordt het gas door een ceramische honingraat geleid welke is gecoated met een katalytische oxidator. Ook deze methode is kostbaar: de kosten van de installatie bedragen omstreeks 25% van de kosten van een WKK (persoonlijke communicatie M. Smale, Lek-Habo);
- Cryogene scheiding: door koeling (-24 °C) wordt het CO₂ vloeibaar gemaakt, waardoor het is af te scheiden van de overige stoffen. Deze methode wordt ook op RWZI Beverwijk toegepast: na een dubbeltraps membraan filter wordt de CO₂ stroom cryogeen gezuiverd. Volstroom cryogene scheiding kan goed gecombineerd worden met Liquified BioGas (LBG) productie. Hierbij wordt na afscheiding van de CO₂ het resterende gas verder gekoeld tot -162 °C, waarbij vloeibaar gas ontstaat. Dit wordt toegepast op RWZI Haarlem Waarderpolder.

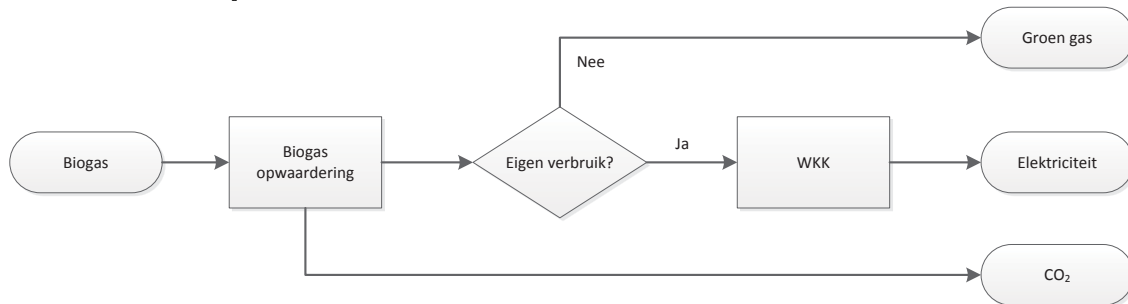
3.5 INPASSING CO₂-WINNING OP RWZI'S

Zoals in paragraaf 5.2 beschreven is, zijn er drie routes mogelijk om CO₂ terug te winnen op RWZI's:

- CO₂ winning uit WKK afgas. Deze route wordt niet economisch rendabel geacht vanwege de kleine schaal en de verdunde CO₂ stroom (12% CO₂);
- CO₂ winning uit biogas voor de WKK: deze route is van toepassing op zuiveringen waarbij al een WKK aanwezig is. Hierbij wordt het biogas eerst gescheiden in een CO₂ en CH₄ rijke stroom. De CH₄ wordt (deels) ingezet in de WKK en eventueel geleverd aan het gasnet. De CO₂ wordt zo nodig verder gezuiverd en afgezet;
- CO₂ winning zonder WKK: deze route is van toepassing op RWZI waar al een biogasopwaardeerinstallatie aanwezig is. Het geproduceerde CO₂ wordt zo nodig verder gezuiverd en afgezet.

Omdat de eerstgenoemde route financieel niet rendabel is, zijn alleen de twee laatstgenoemde routes uitgewerkt. Deze routes komen wat de CO₂ zuiveringsprocessen overeen, alleen het CH₄ wordt op een andere manier gebruikt. Voor het CO₂ productieproces heeft dit dus geen gevolgen, voor de financiële evaluatie wel. In Figuur 4 zijn beide routes grafisch weergegeven.

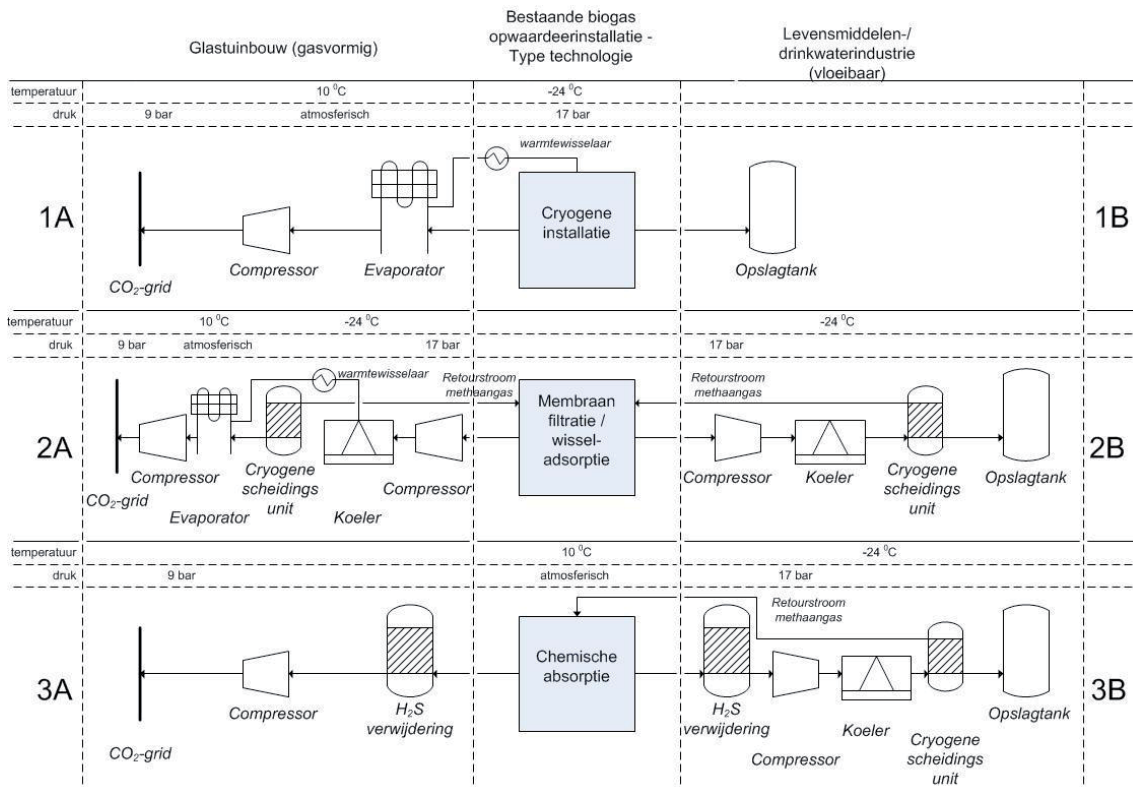
FIGUUR 4

ROUTES CO₂-WINNING OP RWZI'S

Voor de toepassing op RWZI's zijn verschillende technologieën mogelijk. In de PFD (Figuur 5) zijn de processchema's hiervan weergegeven waarbij onderscheid is gemaakt naar het type afzet (injectie in CO₂-grid voor tuinbouw of tank opslag) en de kwaliteit. De volgende uitgangspunten zijn gehanteerd:

- Vanwege de sterke verdunning van lucht met CO₂ zijn waterwassers en Selexol/Rectisol/Genosol wassers buiten beschouwing gelaten;
- Cryogene biogasopwaardering levert direct de vereiste kwaliteit CO₂, zowel voor gebruik in de drinkwater/levensmiddelen industrie als de glastuinbouw;
- Voor membraanfiltratie is een cryogene zuiveringsstap noodzakelijk, zowel voor de glastuinbouw als voor gebruik in drinkwater/levensmiddelen industrie;
- Chemische absorptie levert een CO₂ kwaliteit die wel voldoet aan de OCAP norm; een cryogene zuiveringsstap is noodzakelijk voor toepassing in de drinkwater/levensmiddelen industrie;
- Voor CO₂ opslag in tanks is aangenomen dat dit product dient te voldoen aan de Kiwa-ATA of ISBT norm.

FIGUUR 5

PFD VAN CO₂ PRODUCTIELIJNEN AFHANKELIJK VAN HET TYPE BIOGAS OPWAARDEERTECHNOLOGIE EN MANIER VAN AFZET (GRIDINJECTIE VOOR GLASTUINBOUW OF OPSLAG IN TANK VOOR LEVERING AAN DRINKWATER- OF LEVENSMIDDELEN INDUSTRIE)

Zoals in Figuur 5 te zien is, verschillen de CO₂ zuiveringslijnen danig van elkaar en zijn daarom kort toegelicht.

- 1A: cryogene biogasopwaarding levert een product op dat vrijwel direct kan worden vermarkt. Omdat het product vloeibaar is, dient het eerst te worden verdampt om het injecteerbaar te maken voor het gasgrid. Een compressor zorgt voor injectie;
- 1B: het product van cryogene biogasscheiding is direct vermarktbaar in diverse marktgebieden. Een opslagtank is het enige onderdeel dat nog nodig is om transport per as mogelijk te maken;
- 2A: voor levering aan het grid is een cryogene stap noodzakelijk indien membraan of wisseladsorptie is toegepast als biogasopwaardeertechniek. Voor cryogene scheiding dient het gas gekoeld en onder druk gebracht te worden. Na scheiding is een verdampingsstap noodzakelijk om de CO₂ gasvorming aan te leveren;
- 2B: ook voor tankopslag is een cryogene zuiveringsstap noodzakelijk om de gestelde CO₂ kwaliteitseisen te behalen;
- 3A: chemische absorptie levert wel een CO₂ kwaliteit die voldoet aan de CO₂ kwaliteitseisen van OCAP. Omdat voor chemische absorptie H₂S verwijdering geen voorwaarde is, dient dat nog wel voor het CO₂ gas te worden toegepast;
- 3B: chemische absorptie levert niet een CO₂ product dat voldoet aan de Kiwa-ATA of ISBT norm. Als gevolg is een cryogene zuiveringstap noodzakelijk. Ook is een H₂S filter opgenomen omdat dat niet standaard behoort tot het chemische absorptieproces. Merk op dat het ook mogelijk is H₂S te verwijderen in het verkoelingsproces (Bauer et al., 2013).

4

INDICATIEVE CO₂ KWALITEIT

In dit hoofdstuk zijn de resultaten van CO₂ gasanalyses beschreven. Vooral nog is er weinig bekend over de exacte samenstelling van biogas en afgas dat geproduceerd wordt op RWZI's. Vaak zijn de analyses beperkt tot een klein aantal componenten. Omdat de diverse normen eisen stellen aan veel meer parameters, is een uitgebreide analyse uitgevoerd.

De gasanalyses zijn uitgevoerd om *slechts een indicatie* te krijgen van de kwaliteit die door de diverse installaties geleverd wordt. Bij de interpretatie van de resultaten dient voorzichtigheid in acht te worden genomen, omdat:

- Het monsters betreffen die locatie specifiek zijn;
- Het slechts enkele steekmonsters betreft en de kwaliteit van het gas in de tijd kan verschillen. Fluctuaties in de gaskwaliteit kunnen alsnog resulteren in problemen bij de certificeringsprocedure;
- De twee installaties van monsternamen (RWZI Beverwijk en Haarlem) leveren op moment van monsternamen géén CO₂ maar hebben de potentie voor levering. De leveranciers gaven aan dat ze op dit moment niet geoptimaliseerd zijn voor CO₂ levering;
- De monsternamen punten niet optimaal zijn en monsterconservering en labanalyse erg gevoelig zijn voor verstoringen (< ppm niveau).

4.1 BESCHIKBARE LABORATORIA VOOR ANALYSES

De KIWA-ATA en ISBT normen vereisen bemonstering op veel specifieke parameters. Als gevolg kan slechts een klein aantal gespecialiseerde laboratoria de metingen uitvoeren. Laboratoria die de analyses kunnen uitvoeren zijn onder meer Nedlab Maassluis, Eurofins Barneveld en Pentair Venlo. De prijs voor een analyse varieert van € 800 tot € 2.600 per analyse. Merk op dat de prijs van diverse factoren afhankelijk is:

- Voor de Kiwa-ATA norm dienen enkele componenten op locatie te worden bemonsterd. Dit leidt tot een sterke verhoging van de kosten;
- Indien de nieuwe NEN-norm voor CO₂ geëffectueerd wordt, verdwijnen diverse parameters uit de Kiwa-ATA norm, waardoor analysering voordeliger wordt;

4.2 ANALYSE CO₂ KWALITEIT OP RWZI'S

De verschillende afzetmarkten hebben verschillende kwaliteitseisen; deze zijn beschreven in hoofdstuk 2. Voor CO₂-kwaliteitsanalyses zijn enkele biogasopwaardeerinstallaties in Nederland welke biogas van (onder meer) RWZI's verwerken, geselecteerd. Voor de installatie in Beverwijk zijn zowel monsters genomen direct na de membraanfiltratie als na de cryogene processtap. Hiermee is de werking van de cryogene processtap geanalyseerd. De biogasopwaardeerinstallaties op RWZI Mijdrecht en RWZI Apeldoorn maken gebruik van een chemisch absorptie systeem. Omdat beide installaties niet als doel hebben om zuiver CO₂ te produceren, is voornamelijk er niet voor gekozen om de kwaliteit van het gas van deze locaties te analyseren.

De installaties waar monsters zijn genomen en geanalyseerd zijn weergegeven in Tabel 5.

TABEL 5 BEMONSTERINGSLOCATIES CO₂ ANALYSES

Waterschap - locatie	Capaciteit biogas	Capaciteit CO ₂	Toegepaste CO ₂ -scheidingsprocessen
Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier - Beverwijk	210 Nm ³ /hr	73 Nm ³ /hr	Membraan filtratie gevolgd door cryogene scheiding
Hoogheemraadschap van Rijnland- Haarlem Waarderpolder- gecombineerd met afgas van stortplaats Schoterroog	280 Nm ³ /hr	98 Nm ³ /hr	Cryogene scheiding

In Bijlage 5 zijn de volledige gasanalyse resultaten weergegeven. De voornaamste parameters zijn weergegeven in Tabel 6.

TABEL 6 CO₂ KWALITEITSRESULTATEN EN NORMWAARDEN

Parameter	Eenheid	Beverwijk - na filtratie	Beverwijk - na cryogeen	Haarlem	Kiwa-ATA	ISBT	OCAP
CO ₂	%	77 - 81	98,7 - 99,3	97,5 - 99,5	> 99,98	> 99,9	> 99
N ₂	%	< detectie	< detectie	< detectie	< 0,006	-	-
O ₂	%	< detectie	< detectie	< detectie	< 0,001	< 0,003	-
CH ₄	%	17,7 - 21,7	0 - 1,2	0,5 - 2,5	< 0,001	< 0,003	< 0,1
Etheen	ppm	< 1	< 1	1,09	-	-	< 1
SO ₂	ppm	0,28-0,36	0,49-0,51	0,27-0,97	< 0,5	< 1	-

4.3 INTERPRETATIE VAN DE RESULTATEN

Een aantal indicaties kunnen op basis van deze resultaten worden afgeleid:

- Membraanfiltratie van het biogas alleen lijkt niet voldoende om volledige scheiding van de CH₄ en CO₂ fractie te bewerkstelligen op RWZI Beverwijk;
- CO₂ geproduceerd door de cryogene installaties op zowel Beverwijk als Haarlem Waarderpolder lijken nog teveel methaan te bevatten in vergelijking tot de KIWA en ISBT norm. Ook het SO₂ gehalte is in het geval van Haarlem te hoog.

Op basis van de indicatieve analyseresultaten lijkt het dat cryogene scheiding een product oplevert dat nog niet aan één van de drie normen voldoet. De leveranciers van de installaties geven echter aan dat indien er de juiste bedrijfsvoeringsinstellingen, monsternamenpunten en monsternamemethodiek worden toegepast deze techniek de kwaliteit dient te halen. Redenen voor de afwijkende inzichten zijn:

- De resultaten van slechts twee steekmonsters zijn weergegeven; meer inzicht in de het gedrag van de CO₂ kwaliteit is noodzakelijk voordat bovenstaande conclusie getrokken kan worden;
- Cryogene scheiding is de meest betrouwbare techniek voor het produceren van kwalitatief hoogwaardige CO₂;

- De monsters zijn genomen uit de CO₂-opslagtanks aanwezig op beide RWZI's. Hierin is vloeibare CO₂ aanwezig; het monster is echter genomen van de gasfractie die aanwezig is boven de vloeistofspiegel. De kans op aanwezigheid van vervuilende componenten in het gas is aanzienlijk hoger dan in de vloeistoffase (persoonlijke communicatie H. Vink, Biogast en N. den Heijer, Pentair-Haffmans);
- Wanneer vloeibare CO₂ in de opslag tank druppelt, ontstaat turbulentie waarmee verontreinigingen ingevangen worden. Relatief eenvoudige manieren zijn beschikbaar om dit te voorkomen; bijvoorbeeld een tweede overlooptank waarin geen turbulentie voorkomt en verontreinigingen kunnen ontsnappen (persoonlijke communicatie J. Spaan, Array-CO₂). Met deze eenvoudige aanpassingen is de verwachting dat een betere CO₂ kwaliteit en een geminimaliseerde methaanslip gerealiseerd kan worden. Dit moet in vervolgonderzoek nog bewezen worden;
- De fractie methaanslip lijkt hoog. Dumont et al. (2013) geeft aan dat methaanslip in geval van WKK's varieert van 0,44-2,43% van het methaan aanwezig in het biogas. Voor WKK's gevoed met aardgas is een range van 0,5 – 6% vermeld. Voor een biogasopwaardeerinstallatie wordt alleen 1,5% als indicatie afgegeven. Daarnaast is vermeld dat de fractie methaanslip daalt wanneer de fractie methaan in het biogas toeneemt. Dhr. M. Smale van Lek-Habo geeft aan dat WKK-leveranciers de methaanslipwaarden liever onbesproken laten, al wordt een waarde tussen de 0% en 1% vaak gehanteerd. In Jonker (2010) is aangegeven dat de methaanslip op de toenmalige biogasopwaardeerinstallatie op RWZI Beverwijk (1-traps membraan) 0% bedroeg. Het methaangehalte in het restgas bedroeg omstreeks 20%, dit werd echter geheel verbrand door een nageschakelde fakkelaar. Verder onderzoek is vereist hoe methaanslip van zowel WKK's als biogasopwaardeerinstallaties geminimaliseerd kan worden;
- Dumont et al. (2013) vermeldt dat in Duitsland het wettelijk maximum methaanslip 0,2% van de methaanfractie in het biogas bedraagt wanneer biogasopwaardeering wordt toegepast. Het methaangehalte in biogas bedraagt omstreeks 63%, wat resulteert in een maximale methaanconcentratie van 0,13% in het afgas van de biogasopwaardeerinstallatie. Deze norm geldt vanaf 2012 voor alle biogasopwaardeerinstallaties;
- In een ander onderzoek is in het gas van verdampte CO₂ op de installatie op RWZI Beverwijk een gehalte van 0,13-0,33 ppm vluchtige koolwaterstoffen gemeten (zie bijlage 5, meting 3). De vloeibare CO₂ wordt verdampt om energie terug te winnen. Deze meetwaarde lijkt te bevestigen dat het monster op Beverwijk niet op de juiste locatie is genomen.

5

FINANCIËLE EVALUATIE

De financiële evaluatie geeft inzicht in de haalbaarheid van CO₂-winning op RWZI's. De uitgangspunten voor de analyse zijn weergegeven in paragraaf 5.1. In de daaropvolgende paragraaf zijn de resultaten gepresenteerd. In paragraaf 5.3 is een bespreking van enkele kosten-gevoelige parameters opgenomen. In Bijlage 10 is een discussie opgenomen wat de resultaten betekenen voor RWZI Beverwijk.

5.1 UITGANGSPUNTEN KOSTEN-BATEN ANALYSE

Om inzicht te krijgen in de financiële haalbaarheid van CO₂-winning op RWZI's is een kosten-baten analyse uitgevoerd voor twee schaalgroottes een RWZI met een biogasdebiet van 2 en 5 Mm³ per jaar, en CO₂ productie van 1,1 en 2,8 Kton per jaar. Zowel de afzet via gridinjectie (gasvormig, levering aan glastuinbouw) en tank opslag en vervoer per as (vloeibaar, levering aan drinkwater- of levensmiddelenindustrie) zijn beschouwd. De benodigde zuiveringsprocessen zijn afgeleid uit Figuur 5. Voor alle scenario's is met de netto contante waarde methode (NCW) het rendement en terugverdientijd berekend van de investeringen. De investeringen behelzen alleen de componenten die nodig zijn om CO₂ te produceren en vermarkten. Afhankelijk van de gekozen locatie varieert dit van een opslagtank tot een volledige biogasopwaardeinstallatie.

De kosten-baten analyse is uitgewerkt voor twee varianten:

- **Benutten CO₂ productie van bestaande biogasopwaardeinstallatie:**

Deze route is van toepassing op RWZI's waar reeds een biogasopwaardeinstallatie aanwezig is. Het restproduct CO₂ kan worden afgevangen, gezuiverd en vermarkt worden.

- **Biogasopwaardeinstallatie met gedeeltelijke inzet WKK op groengas:**

Deze route is toepasbaar op de meeste RWZI's waar slib vergist wordt. De warmtevraag van de gisting wordt verzorgd door een WKK, waarbij ook elektriciteit wordt geproduceerd.

- Voordelen van deze route zijn:
- Lichte stijging WKK rendement elektriciteitsproductie als gevolg van injectie betere gas-kwaliteit (1%, in overleg met M. Smale, HABO);
- Er is geen sprake meer van een warmteoverschot op de RWZI;
- De verkoop van CO₂ kan de reductie in elektriciteitsproductie van de WKK compenseren, een deel van het biogas wordt immers niet meer door de WKK verwerkt;
- Naast de productie van elektriciteit kan het waterschap ook groengas leveren, waardoor het affakkelen van biogas kan worden geminimaliseerd. Het waterschap haalt dus het volledige vermogen uit het biogas en reduceert de restemissie van de fakkels.

De gehanteerde kentallen, uitgangspunten en eenheidsprijzen zijn weergegeven in Bijlage 6. De meest belangrijke parameters zijn als volgt:

- Afschrijvingstermijn E/M installaties 15 jaar
- Afschrijvingstermijn leidingwerk 50 jaar
- Rente 2,57 % (actuele stand Waterschapsbank)
- Inflatie 1,5 %
- Realisatie termijn 6 maanden
- Leidinglengte in geval van gridinjectie 2 km
- Prijzen:
 - Elektriciteit 0,10 €/kWh*
 - Groengas verkoop 0,341 €/Nm³
 - CO₂ verkoopprijs glastuinbouw 35 €/ton**
 - CO₂ verkoopprijs levensmiddelen industrie 80 €/ton**
 - CO₂ verkoopprijs drinkwater industrie 100 €/ton**

* Voor de elektriciteitsprijs wordt de inkoopprijs gehanteerd (exclusief vaste kosten).

Dit kan alleen met de aanname dat de RWZI netto geen producent van elektrische energie is.

** De genoemde prijzen zijn exclusief BTW.

5.2 RESULTATEN KOSTEN-BATEN ANALYSE

In onderstaande paragrafen zijn de resultaten van de kosten-baten analyse weergegeven.

ROUTE MET REEDS AANWEZIGE BIOGASOPWAARDEERINSTALLATIE

In deze situatie is een RWZI met een aanwezige biogasopwaardeerinstallatie als uitgangspunt genomen. De kosten voor CO₂-winning betreffen alleen de extra componenten die nodig zijn om het geproduceerde CO₂ te zuiveren en af te zetten. Kosten voor de biogasopwaardeerinstallatie vallen buiten de scope. De resultaten zijn weergegeven in Tabel 7. In bijlage 7 zijn de kosten en inkomsten nader gespecificeerd.

TABEL 7 NETTO CONTANTE WAARDE NCW (*€1000) EN TERUGVERDIENTTIJD TVT (JAREN)

CO ₂ Installatie	RWZI met 2 Mm ³ / per jaar biogas						RWZI met 5 Mm ³ per jaar biogas					
	Glastuinbouw		Levensmiddelen industrie		Drinkwater-industrie		Glastuinbouw		Levensmiddelen-industrie		Drinkwater-industrie	
	NCW	TVT	NCW	TVT	NCW	TVT	NCW	TVT	NCW	TVT	NCW	TVT
Cryogene scheiding	305	4	590	1	205	1	805	3	1780	1	855	1
Membraanfiltratie - wisseladsorptie	-415	-	120	10	320	6	145	12	1940	2	2670	2
Chemische absorptie	315	5	-310	-	-710	-	975	4	800	5	-270	-

De kosten-baten analyse laat zien dat voor verschillende CO₂ installaties het financieel haalbaar is om te leveren aan de glastuinbouw, levensmiddelenindustrie en drinkwaterindustrie. De terugverdiëntijden variëren van één jaar tot oneindig. Hierbij zijn de kwaliteitseisen voor levering een belangrijke randvoorwaarden. Op basis van de indicatieve gas kwaliteitsanalyses lijkt voornamelijk alleen levering aan de glastuinbouw interessant; de verwachting is dat de levensmiddelen- en drinkwaterindustriemarkt benaderd kan worden door enkele procestechnologische optimalisaties van de cryogene scheidingsinstallatie. Afhankelijk van de schaal-

grootte van het de biogasproductie zijn hiervoor de CO₂ installaties financieel haalbaar, membraanfiltratie – wisseladsorptie op de schaal van 2 Mm³ per jaar echter niet.

ROUTE MET NIEUWE BIOGASOPWAARDERINSTALLATIE

In dit scenario is een RWZI met WKK als uitgangspunt genomen. Additioneel zijn een biogasopwaardeerinstallatie en CO₂ zuiveringsinstallatie gebudgetteerd. De kosten van biogasopwaardeerinstallatie, CO₂ zuivering en afzet zijn meegenomen in de analyse. Vergeleken met het referentiescenario (waarin het biogas niet wordt opgewaardeerd, maar verwerkt wordt in een WKK) is er sprake van een investering, een reductie in elektriciteitsproductie (een deel van de methaan wordt afgezet als groengas) en extra inkomsten uit groengas en CO₂ verkoop. In bijlage 7 zijn de kosten en inkomsten nader gespecificeerd.

Disclaimer: de bepaling van de NCW in deze route is complexer dan voorgaande. Als gevolg is het resultaat minder betrouwbaar dan die van de route zonder nieuwe biogasopwaardeerinstallatie.

TABEL 8 NETTO CONTANTE WAARDE NCW (*€1000) EN TERUGVERDIENTTIJD TVT (JAREN)

CO ₂ installatie	RWZI met 2 Mm ³ / per jaar biogas			RWZI met 5 Mm ³ per jaar biogas				
	Glastuinbouw	Levensmiddelen-industrie	Drinkwater-industrie	Glastuinbouw		Levensmiddelen-industrie		Drinkwater-industrie
	NCW	NCW	NCW	NCW	TVT	NCW	TVT	NCW
Cryogene scheiding	-555	-600	-955	215	12	395	9	-530
Wisseladsorptie	-1975	-2000	-2390	-1885	-	-1675	-	-2710
Membraanfiltratie	-1170	-1200	-1585	-805	-	-590	-	-1625
Chemische absorptie	-295	-1100	-1525	-275	-	-920	-	-1995

Zoals blijkt is biogasopwaardeerinstallatie en partiële inzet van de WKK's in de meeste gevallen niet rendabel. Alleen volstroom cryogene opwaardeerinstallatie op grote schaal levert een positieve analyse op voor zowel gridinjectie als verkoop in de levensmiddelen industrie. De negatieve NCW waarde in de overige gevallen heeft de volgende oorzaken:

- De elektriciteitsproductie is vrijwel gehalveerd: dit is een grote inkomstenreductie: 2 en 5 €/ton per jaar voor respectievelijk 2 en 5 Mm³ per jaar;
- De extra verkoop van groengas is net voldoende om de kosten van gemiste elektriciteitsproductie te compenseren;
- De baten van de CO₂ afzet zijn klein te noemen. Door bemonstering en apparatuur voor opslag is de marge gering.

5.3 GEVOELIGHEIDSANALYSE KOSTEN-BATEN

Met een gevoeligheidsanalyse is de invloed van de CO₂ prijs en analysekosten op de netto contante waarde van de in paragraaf 5.2 beschouwd voor alleen het scenario met reeds aanwezig biogasopwaardeerinstallatie (gevoeligheid resultaten Tabel 7)

Op basis van de analyseresultaten kan het volgende worden geconcludeerd (voor de volledige analyse wordt verwezen naar Bijlage 8):

- de netto contante waarde (NCW) is in geval van levering aan het gasnet sterk afhankelijk van de verkoopprijs. Indien maar 50% van de tijd CO₂ kan worden afgenomen (met andere woorden: de inkomsten halveren), is het maar de vraag of gridinjectie een positieve business-case oplevert. Schaalvoordelen spelen bij die prijs geen grote rol meer;
- het verloop van de NCW in geval van prijsvariatie wanneer aan de levensmiddelenindustrie geleverd wordt is veel stabiel. Een hogere verkoopprijs zorgt er niet voor dat de NCW van een bepaald systeem positief dan wel negatief wordt;
- in geval van levering aan het grid en de kosten voor gasanalyse oplopen laat de NCW van de verschillende systemen een lichte daling zien;
- indien drukwisseladsorptie/membraanfiltratie wordt toegepast, de analyse kosten de NCW vrijwel niet beïnvloeden. Een cryogene of chemische absorptie biogasopwaardeerinstallaties kunnen echter significant aan rendement winnen wanneer de kosten voor analysering halveren.

5.4 KOSTEN CO₂ EMISSIE REDUCTIE

Een aspect dat niet is meegenomen in kosten-baten analyse is de waarde van de CO₂ emissie reductie. Een belangrijk doel van CO₂-winning op RWZI's is immers niet om extra inkomsten te genereren, maar een bijdrage te leveren aan de uitvoering van het Klimaatakkoord. Daarom is voor de scenario's uitgerekend hoeveel het kost om een ton CO₂ emissie te vermijden. Hierbij zijn de hoeveelheid afgevangen CO₂ en de energiekosten om het CO₂ te zuiveren berekend. In paragraaf 6.2 is de doelmatigheid van de installaties vergeleken met andere methoden om de CO₂ uitstoot te verminderen. De resultaten zijn weergegeven in respectievelijk Tabel 9 en Tabel 10.

TABEL 9 KOSTEN CO₂ EMISSIE REDUCTIE IN GEVAL VAN CO₂ REINIGING (€/TON CO₂)

CO ₂ Installatie	RWZI met 2 Mm ³ / per jaar biogas			RWZI met 5 Mm ³ per jaar biogas		
	Glastuinbouw	Levensmiddel- enindustrie	Drinkwater- industrie	Glastuinbouw	Levensmiddel- enindustrie	Drinkwater- industrie
Cryogene scheiding	-16*	-31	-11	-17	-38	-18
Membraan-filtratie	21	-6	-17	-3	-40	-56
Wissel-adsorptie	21	-6	-17	-3	-40	-56
Chemische absorptie	-16	16	37	-20	-17	6

* In geval van een negatieve kostenpost is de CO₂-winning technologie winstgevend.

TABEL 10 KOSTEN CO₂ EMISSIE REDUCTIE IN GEVAL VAN BIOGASOPWAARDERING EN CO₂ REINIGING (€/TON CO₂)

CO ₂ Installatie	RWZI met 2 Mm ³ per jaar biogas			RWZI met 5 Mm ³ per jaar biogas		
	Glastuinbouw	Levensmiddelen industrie	Drinkwater industrie	Glastuinbouw	Levensmiddelen industrie	Drinkwater industrie
Cryogene scheiding	28	30	47	-4	-8	11
Membraan-filtratie	91	92	111	35	31	51
Wissel-adsorptie	86	87	104	33	29	48
Chemische absorptie	14	51	71	5	17	37

Uit de tabellen blijkt dat de kosten per vermeden ton CO₂ sterk variëren per installatie en afzetmarkt. Winning van CO₂ met een bestaande biogasopwaardeerinstallatie tegen winst of lage kosten lijkt een goede strategie om bij te dragen aan de Klimaatakkoord doelstellingen. In geval van een nieuw te bouwen installatie zijn er meer kosten aan verbonden: € 5 tot € 111 per ton vermeden CO₂-uitstoot.

6

DUURZAAMHEIDSASPECTEN CO₂-WINNING

Een van de doelstellingen in het Klimaatakkoord is een broeikasgas-emmissiereductie te realiseren van 30% ten opzichte van 1990. Om te beoordelen in hoeverre CO₂-winning op RWZI's een rol hierin kan spelen zijn twee evaluatiemethoden toegepast:

- De GER-waarde van CO₂ levering;
- De potentiële bijdrage van CO₂-winning op RWZI's aan het Klimaatakkoord.

In dit hoofdstuk zijn de resultaten van beide methoden weergegeven.

6.1 GER-WAARDE CO₂ PRODUCTIE

Middels een quickscan is de Gross Energy Requirement-waarden (GER) van CO₂-winning uit biogas bepaald. De methodiek (beschreven in Bijlage 9) geeft de mogelijkheid om de benodigde energie voor CO₂-winning op RWZI's te vergelijken standaard CO₂ productiemethode. Indien de methode op RWZI's een lagere energieverbruik kent, mag het concept als ketenmaatregel (KE) in het kader van de MJA-3 doelstellingen worden beschouwd.

Tabel 10 geeft de GER-waarden voor levering aan een bepaalde sector in MJ per geproduceerde kilogram vloeibaar CO₂ gegeven. Hieruit blijkt dat voor alle sectoren de GER-waarden voor CO₂-winning op RWZI's significant lager zijn dan de standaard CO₂-productiemethode. Dit komt door het beperkte bewerkingsproces dat nodig is op RWZI Beverwijk. In tegenstelling tot het standaard productieproces, is op de RWZI alleen extra elektriciteit benodigd om CO₂ te winnen uit het biogas. De GER-waarde bepaling is door CE-Delft gevalideerd, de resultaten daarvan zijn opgenomen in Bijlage 9. CO₂-winning op RWZI's kan dus als ketenmaatregel binnen MJA 3 worden beschouwd. Biobased CO₂ uit RWZI's kent naast het korte-kringloop argument ook een lager energieverbruik in vergelijking tot standaard CO₂ productiemethodes.

TABEL 11

RESULTATEN GER WAARDE BEREKENING

CO ₂ levering	Productvorm	GER-waarde [MJ/kg vloeibaar CO ₂]
Kengetal standaard CO ₂ -productiemethode	-	10,9
RWZI Beverwijk aan glastuinbouw	Vloeibaar	2,1
RWZI Beverwijk aan drinkwatersector	Vloeibaar	2,2
RWZI Beverwijk aan koel- en vrieshuizen	Vloeibaar	2,1
RWZI Beverwijk aan voedingsmiddelenindustrie	Vloeibaar	2,1
RWZI Beverwijk aan gasleveranciers	Vloeibaar	2,3

6.2 DOELMATIGHEID CO₂ EMISSIEREDUCTIE

In het Klimaatakkoord wordt een reductie in broeikasgas uitstoot vermeld van 30% in de periode 1990 – 2020. De totale reductie komt overeen met 200 kiloton CO₂ equivalenten. Uitgangspunt vormt hierbij de berekening van broeikasgassen door het bureau emissieregistratie (676 kiloton CO₂ in 1990). Daarnaast is 'kort-cyclisch CO₂' niet in de berekeningen meegenomen (waaronder productie biogas). Jaarlijks wordt er omstreeks 52 kiloton CO₂ geproduceerd in gistinginstallaties. Indien al het CO₂ uit biogas zou worden teruggewonnen, heeft het de potentie om circa 22% van de Klimaatakkoord-doelstelling te vervullen. Een bijkomend voordeel is dat het methaanlek dat normaal gesproken in WKK's plaats zou vinden, in een opwaardeerinstallatie verder verlaagd kan worden. Op deze manier kan er nog omstreeks 7 kton CO_{2-eq}/jaar extra emissiereductie gerealiseerd worden. Bij deze berekening is de methaanslip in WKK's 1% verondersteld (STOWA, 2009) en voor CO₂-winningsinstallaties 0,1%. De potentie van CO₂-winning bedraagt dan 25% van de broeikasgas emissiereductie doelstelling.

In de maatregelenlijst zuiveringsbeheer voor MJA3 van AgentschapNL staan maatregelen om de MJA3 doelen te verwezenlijken. De maatregelen zijn onderverdeeld in procesefficiency, duurzame energie en ketenefficiency. In deze lijst staan per maatregel een inschatting van de noodzakelijke investeringen en een range van de te behalen energiebesparingen. Op basis van deze lijst is een berekening uitgevoerd om een beeld te krijgen bij de kosten per vermeden ton CO₂ emissie. Het doel van deze exercitie is om de doelmatigheid van CO₂-winning op RWZI's te vergelijken met MJA3 maatregelen. In de onderstaande tabel is een aantal voorbeelden van maatregelen opgenomen. In de laatste kolom zijn de berekende kosten per vermeden ton CO₂ weergegeven.

Afhankelijk van de MJA 3 maatregel variëren de kosten tussen -€ 16 (opbrengst) en € 1.850 per ton vermeden CO₂ emissie. De kosten voor CO₂-winning (zie Tabel 9 en 10) variëren tussen -€ 56 (opbrengst) en € 111 per ton. CO₂-winning op RWZI's kan dus doelmatiger zijn dan MJA3 maatregelen om Klimaatakkoord doelstellingen te realiseren.

TABEL 12 EMISSIEREDUCTIE MJA3 MAATREGELEN, MET BEREKENDE KOSTEN PER VERMEDEN TON CO₂ EMISSIE

Maatregel	Kosten
	[€/ton vermeden CO ₂ uitstoot]
Concept CO ₂ -terugwinning	-56 tot 111
Installatie van moderne hoog rendement in plaats van conventionele puntbeluchting	-16
Door het installeren van een extra meter kan zuurstofinbreng nauwkeuriger worden geregeld op werkelijke zuurstofbehoefte van de RWZI	-7
Inzet van een WKK met hoog rendement generator	51
Bellenbeluchting installeren in plaats van oppervlaktebeluchting.	147
Plaat- of bellenbeluchting met lage luchtbelasting installeren in plaats van schotel- of buisbeluchting	443
Regelmatige voeding van de gisting zorgt voor gelijkmatige biogasproductie. Gasmotoren draaien constanter en de kans op affakkelen biogaspieken is kleiner.	1.850

7

CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

In deze rapportage is de technische en financiële haalbaarheid van CO₂-winning op RWZI's beschouwd. Technische lijkt CO₂-winning haalbaar, echter is het de vraag aan welke kwaliteitsnormen het uiteindelijk kan voldoen. CO₂ levering uit bestaande biogasopwaarderingsinstallaties is afhankelijk van het type technologie haalbaar en kent een terugverdientijd tussen de 1 en 12 jaar.

De doelmatigheid van CO₂-winning op RWZI's is vergeleken met standaard CO₂ productiemethoden en MJA3 maatregelen. Biobased CO₂ uit RWZI's kent naast het korte-kringloop argument ook een lager energieverbruik in vergelijking tot standaard CO₂ productiemethodes. Deze methode kan een significante bijdrage, maximaal 25%, leveren aan de broeikasgas-emissiereductie doelstelling in het Klimaatakkoord. Daarnaast kan het als keten-maatregel in het kader van de MJA-3 afspraken worden beschouwd: voor CO₂ productie uit biogas is ongeveer 80% minder energie vereist dan de standaard CO₂ productiemethode.

7.1 FINANCIËLE EVALUATIE

De financiële haalbaarheid van CO₂-winning op RWZI's is een kosten- baten analyse uitgevoerd voor twee schaalgroottes: een RWZI met een biogasdebiet van 2 en 5 Mm³ per jaar; equivalent aan een CO₂ productie van 1,1 en 2,8 Kton per jaar. De kosten en baten voor CO₂-winning variëren afhankelijk van de lokale situatie. CO₂-winning uit RWZI's is financieel kansrijk indien een biogasopwaardeerinstallatie al aanwezig is. In geval van een grootschalige biogasproductie (5 Mm³ per jaar) kan de combinatie van CO₂ en groengas afzet financiële voordelen bieden boven de inzet van een WKK. De terugverdientijden variëren van 1 tot 12 jaar afhankelijk van de marktpartij waaraan geleverd kan worden. Deze financiële beoordeling is uitgevoerd met het huidige prijspeil. Indien de marktaandeel van CO₂ in de toekomst stijgt. Leidt dit tot ander financiële inzichten. Ook is gebleken dat de kosten per ton vermeden CO₂ uitstoot in dezelfde range liggen als energiebesparende MJA3 maatregelen. Afhankelijk van de lokale situatie is CO₂-winning op RWZI's een kansrijk concept om de Klimaatakkoord/MJA3 doelstellingen te verwezenlijken.

7.2 MARKTVERKENNING

Aan de hand van het vijfkrachtenmodel van Porter is de markt voor CO₂ uit RWZI's in kaart gebracht. Hieruit blijkt het volgende:

- Glastuinbouw kent een toenemende vraag naar kwalitatief hoogwaardig CO₂ gas;
- Het waterschap, de tuinders en de drinkwatersector vinden het biobased kenmerk van CO₂ positief, terwijl de levensmiddelenindustrie sceptisch is vanuit hygiënisch oogpunt;
- De prijs van CO₂ varieert per sector en bedraagt tussen de 35 tot 100 euro per ton. Een RWZI van 2 Mm³ aan biogas per jaar kan ongeveer 1,1 kton per jaar leveren. Dit komt overeen met de vraag van circa 10 ha glastuinbouw. Indien al het CO₂ op RWZI's wordt teruggevoerd kan in circa 2% van de CO₂ vraag van de glastuinbouwsector worden voorzien.

7.3 VALUE PROPOSITION

Value proposition is een omschrijving waarom een klant gebruik zou moeten maken van een specifiek product of een specifieke dienst. Deze omschrijving dient een potentiële klant te overtuigen waarom dit specifieke product of deze specifieke dienst meerwaarde biedt ten opzichte van andere vergelijkbare producten of diensten.

De *value proposition* van biobased CO₂ uit RWZI's berust op de volgende aspecten:

- CO₂ teruggewonnen op RWZI's komt uit biogas in plaats van fossiele brandstoffen en is daarom "biobased";
- In vergelijking tot standaard CO₂ productiemethodes vergt de winning uit biogas circa 80% minder energie;
- CO₂ uit RWZI's wordt regionaal geproduceerd waardoor transportafstanden eventueel beperkt blijven;
- De leveringszekerheid is hoog door aanbod van biogas gedurende het hele jaar;
- De distributeurs en de afnemers van het gas hebben aan de waterschappen een betrouwbare contractpartner.

7.4 GASKWALITEIT

Op twee RWZI's zijn CO₂ gasanalyses uitgevoerd om *slechts een indicatie* te krijgen van de kwaliteit die door de diverse installaties geleverd wordt. Met de interpretatie van de resultaten dient voorzichtigheid in acht te worden genomen, omdat:

- Het monsters betreffen die locatie specifiek zijn;
- De monsternamen conservatie complex is en verstoring opleverde.
- Het slechts enkele steekmonsters betreft welke mogelijk niet op de juiste plaats genomen zijn en de kwaliteit van het gas kan in de tijd fluctueren. De monsternamen locatie niet optimaal is voor de juiste kwaliteit.
- Beide installaties leveren op moment van monsternamen géén CO₂ maar hebben de potentie voor levering. De leveranciers gaven aan dat ze op dit moment niet geoptimaliseerd zijn voor CO₂ levering;
- De monsternamen en labanalyse erg gevoelig zijn voor verstoringen (< ppm niveau).

Uit het onderzoek is gebleken dat voorheen weinig bekend was over de exacte samenstelling van het biogas en afgas dat geproduceerd wordt op RWZI's. Ten aanzien van de analyses kan het volgende gesteld worden:

- Cryogene zuivering is noodzakelijk om een redelijk puur CO₂ product te produceren;
- Met deze techniek is levering aan de glastuinbouw eventueel mogelijk; andere industrieën stellen vaak hogere eisen waaraan het CO₂ product (nog) niet voldoet;
- Fluctuaties in de biogaskwaliteit en/of installatie bedrijfsvoering instellingen kunnen, ook in geval van een cryogene installatie, erin resulteren dat het gas tijdelijk niet voldoet aan de kwaliteitsnorm.

7.5 AANBEVELINGEN

Uit de resultaten van het project blijkt dat CO₂-winning op RWZI's voor bepaalde schaalgroottes interessant lijkt. Echter verschillende aspecten van CO₂-winning op RWZI's zijn nog onduidelijk. Aanbevolen wordt hiernaar verder onderzoek uit te voeren, het gaat dan om:

- De kosten-baten van CO₂-winning is op hoofdlijnen inzichtelijk gemaakt. Enkele aannames vereisen verdere validatie, bijvoorbeeld de leveringszekerheid vanuit de producent van CO₂, afnameverplichtingen voor de klant, precieze prijsafspraken etc.
- Veranderingen in de kwaliteit van het CO₂ product: tijdens dit project bleek dat de kwaliteit van de CO₂ varieerde; waarbij het wisselend wel en niet in aanmerking kwam voor gebruik in de glastuinbouw. Continue metingen aan geoptimaliseerde installaties voor CO₂ levering is wenselijk om meer inzicht te krijgen in de CO₂ kwaliteit en de mogelijke oorzaken van de fluctuaties. Met een demonstratieproject kunnen de technische en financiële onzekerheden worden gevalideerd;
- Uit de CO₂-analyses bleek dat methaanslib een significante impact kan hebben op de CO₂-footprint van de installatie. Aanbevolen wordt hier meer onderzoek naar uit te voeren. Daarnaast vereist ook de methaanslib bij WKK's meer aandacht. Uitgebreidere analyses van het afgas zijn hiervoor noodzakelijk;
- CO₂ winning op RWZI's is een onderdeel van de Grondstoffenfabriek en de Energiefabriek (CO₂-footprint). Aanbevolen wordt het concept daar onder de aandacht te brengen.

8

LITERATUUR

AGENTSCHAPNL 2001. Meerjaren afspraak energie efficiency 2001 - 2020.

ARCADIS 2012. Klimaatmonitor 2012 - Monitoring klimaatakkoord Rijk - Waterschappen 2010 - 2020. Den-Haag: Unie van Waterschappen.

AZAR, C., LINDGREN, K., LARSON, E. & MÖLLERSTEN, K. 2006. Carbon capture and storage from fossil fuels and biomass—Costs and potential role in stabilizing the atmosphere. *Climatic Change*, 74, 47-79.

BAUER, F., HULTEBERG, C., PERSSON, T. & TAMM, D. 2013. Biogas upgrading—Review of commercial technologies. *Swedish Gas Technology Centre*.

DE HULLU, J., MAASSEN, J. I. W., VAN MEEL, P. A., SHAZAD, S. & VAESSEN, J. M. P. 2008. Comparing different biogas upgrading techniques. Eindhoven: Eindhoven University of Technology & Dirkse Milieutechniek.

DE MOEL, P. J., VERBERK, J. Q. J. C. & VAN DIJK, J. C. 2005. Drinkwater - principes en praktijk. Delft: SDU uitgevers.

DE WOLFF, J. J. 2009. Inventarisatie beschikbaarheid en kwaliteit CO₂ stromen voor de glastuinbouw. Arnhem: KEMA Nederland.

DIELEMAN, A., ZWINKELS, J., DE GELDER, A., KUIPER, I., DE ZWART, F., VAN DIJK, C. & DUECK, T. 2007. *CO₂ bij paprika: meerwaarde en beperkingen*, Wageningen, Wageningen UR, Glastuinbouw.

DUMONT, M., LUNING, L., YILDIZ, I. & KOOP, K. 2013. Methane emissions in biogas production. In: WELLINGER, A., PATRICK MURPHY, J. & BAXTER, D. (eds.) *The Biogas Handbook: Science, Production and Applications*. Cambridge - United Kingdom: Woodhead Publishing - IEA Bioenergy.

EBNER, A. D. & RITTER, J. A. 2009. State-of-the-art adsorption and membrane separation processes for carbon dioxide production from carbon dioxide emitting industries. *Separation Science and Technology*, 44, 1273-1421.

ENERGYMATTERS 2013. CO₂ uit biomassa, quickscan update. Productschap-Tuinbouw.

ESMEIJER, M. 1999. *CO₂ in de glastuinbouw*, Aalsmeer/Naaldwijk, Proefstation voor Bloemisterij en Glasgroente.

IEA. 2013. *List of plants with biogas upgrading facility* [Online]. Petten: International Energy Agency. Available: <http://www.iea-biogas.net/plant-list.html> [Accessed 28-11-2013 2013].

ISBT 2006. Fountain carbon dioxide quality guideline. International Society of Beverage Technologists.

JANSSEN, M., VERBRUGGEN, V., HEGARET, C., KHEYRROOZ, S., SWINKELS, M. & TRAMPÉ, J. 2010. Liquefaction of carbon dioxide from biogas upgrading. Eindhoven: Eindhoven University of Technology.

- JONKER, M. 2010. Monitoring groen gas opwerkingsinstallatie BioGast Beverwijk. Haarlem: BioGast - Sustainable Energy.
- LAZEROMS, R. J. J. 2013. *RE: Legitimiteit duurzame activiteiten waterschappen - brief d.d. 8-5-2013*.
- LOGICHEMPROCESS. 2008. *CO₂ specification food grade CO₂* [Online]. Aureus, Randfontein, Zuid-Afrika: Logichem Process Engineering. Available: <http://www.logichemprocess.com/wp-content/uploads/co2foodgradespecs.pdf> [Accessed 22-11-2013 2013].
- NEN 2006. Nederlandse norm NEN-EN 936 -Chemicaliën voor de behandeling van water bestemd voor menselijke consumptie - Kooldioxide. Delft: Nederlands Normalisatie Instituut.
- NEN 2013. ONTWERP - Nederlandse norm NEN-EN 936 -Chemicaliën voor de behandeling van water bestemd voor menselijke consumptie - Kooldioxide. Delft: Nederlands Normalisatie Instituut.
- NIESNER, J., JECHA, D. & STEHLÍK, P. 2013. Biogas Upgrading Technologies: State of Art Review in European Region. *Chemical Engineering Transactions*, 35, 517-522.
- OCAP 2013. Specificatio OCAP CO₂. In: LIMBEEK, J. (ed.). Schiedam.
- PETERSSON, A. & WELLINGER, A. 2009. Biogas upgrading technologies-developments and innovations. *IEA Bioenergy*, 12-15.
- PORTER, M. E. 1979. How Competitive Forces Shape Strategy. New York, USA: Harvard Business Review.
- SMIT, P. X. 2010. CO₂-voorziening glastuinbouw 2008-2010: vooruitblik bij toepassing 20% duurzame energie. Wageningen: Landbouw Economisch Instituut.
- STOWA 2009. Optimalisatie WKK en biogasbenutting. Amersfoort Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer.
- STOWA 2011. Handboek slibgisting. Amersfoort: STOWA.
- STOWA 2012. Innovatie en duurzaamheid - valorisatie van afvalwater. Amersfoort: STOWA.
- UNIE-VAN-WATERSCHAPPEN 2005. Klimaat akkoord waterschappen.
- VAN BERGEIJK, L. P. 2011. CO₂ uit slibgas RWZI HHNK in Beverwijk. Haarlem: BioGast Sustainable Energy.
- VAN NIEUWENHUIJZEN, A. F. 2010. *Biogasinventarisatie rwzi's verdieping en analyses*, Deventer, Witteveen+Bos - Senter Novem.
- VERMEULEN, P. C. M. & VAN DER LANS, C. J. M. 2010. CO₂ dosering in de biologische glastuinbouw - onderzoek naar alternatieve bronnen en toepassingen in de gangbare tuinbouw. Wageningen: Stichting Dienst Landbouwkundig onderzoek - WUR.

BIJLAGE 1

MODEL VAN PORTER

Het model van Porter bevat de volgende krachten:

- 1 de macht van leveranciers;
- 2 de macht van afnemers;
- 3 de mate waarin substituten en complementaire goederen verkrijgbaar zijn;
- 4 de dreiging van nieuwe toetreders tot de markt;
- 5 de interne concurrentie (rivaliteit) van spelers op de markt.

Daarnaast spelen de volgende omgevingsfactoren een rol:

- 1 Technologie;
- 2 Politiek/juridisch;
- 3 Socio-cultureel;
- 4 Economie.

LEVERANCIERS

Om de grootte van de macht van de leveranciers inzichtelijk te maken, worden de volgende vragen beantwoord:

- Welke leveranciers zijn er?
- Wat is de ontwikkelingskracht van de leveranciers?
- Is er een sterke concentratie van één of enkele leveranciers?
- Is het een standaard product voor de koper?
- In hoeverre kan men om leveranciers heen?

AFNEMERS

Om de grootte van de macht van de afnemers te bepalen, dienen de volgende vragen beantwoord te worden:

- Welke afnemers zijn er?
- Is er aansluiting met de vraag van de klant?
- Wat is de onderhandelingskracht van de afnemers?
- Is er sprake van sterke klantenconcentratie?
- Wordt er een standaardproduct afgenomen?

SUBSTITUTEN

Om de dreiging en de effecten van substituten te bepalen, dienen de volgende vragen beantwoord te worden:

- Zijn er producten of technologieën die als vervanging kunnen dienen?
- Wat zijn de dreigingen van vervangende producten of diensten?
- Maakt een nieuwe technologie de oude overbodig?

POTENTIËLE TOETREDERS

Om de dreiging van potentiële toetreders te bepalen, dienen de volgende vragen beantwoord te worden:

- Wie zijn potentiële toetreders?
- Hoe eenvoudig is het om tot de markt toe te treden?
- Is er sprake van dreiging van nieuwe toetreders?
- Zou een bedrijf dat toetreedt een sterke positie kunnen verwerven?

CONCURRENTIE

Om de concurrentie verhoudingen te bepalen, dienen de volgende vragen beantwoord te worden:

- Is er sprake van groei of inkrimping van de markt in zijn geheel of bepaalde segmenten?
- Sterke groei of juist forse inkrimping aantal aanbieders?
- Is de positie van bepaalde aanbieders sterker of zwakker geworden?
- Is toetreding tot de markt eenvoudiger of moeilijker geworden?

TECHNIEKEN

Om de omgevingsfactor techniek te bepalen, dienen de volgende vragen beantwoord te worden:

- Is er voldoende technologie beschikbaar?
- Welke technologieën zijn er?
- Wordt een snelle doorbraak nieuwe technologie verwacht?
- Wordt de technologie laagdrempelig bereikbaar?

POLITIEK EN WETGEVING

Om de omgevingsfactor politiek en wetgeving te bepalen, dienen de volgende vragen beantwoord te worden:

- Staat de politiek en de wetgeving achter hergebruik van CO₂?
- Zijn er wijzigingen te verwachten op het gebied van wetgeving?
- Zijn er veranderingen te verwachten in de rol van de overheid?

SOCIO-CULTUREEL

Om de omgevingsfactor socio-cultureel te bepalen, dienen de volgende vragen beantwoord te worden:

- Hoe zal het product en inzet daarvan worden ervaren door de omgeving?
- In hoeverre verandert het wereldbeeld door de toepassing van dit product?

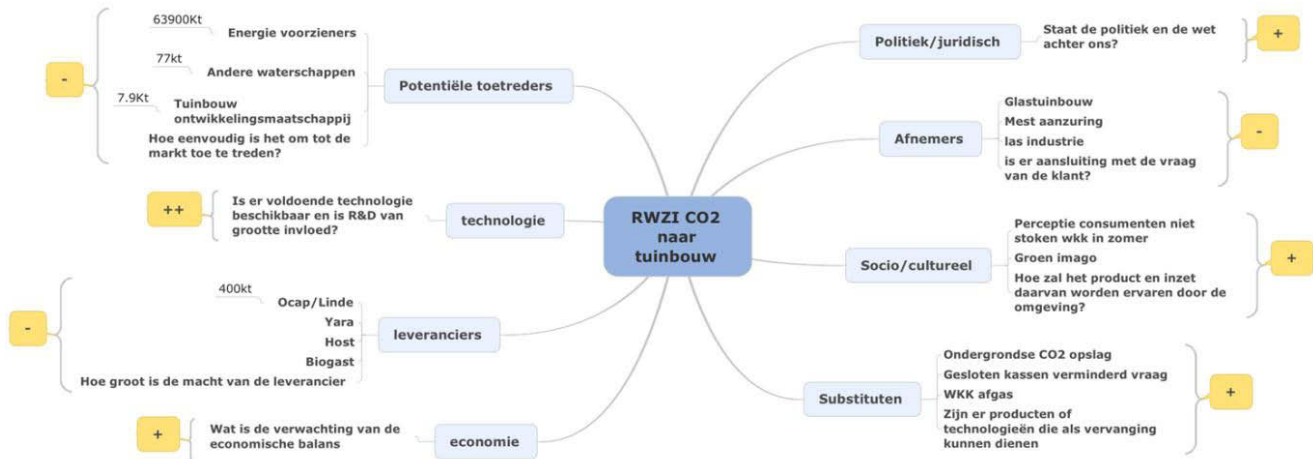
ECONOMIE

Om de omgevingsfactor economie te bepalen, dienen de volgende vragen beantwoord te worden:

- Wat is de verwachting van de economische balans?
- Is er sprake van snel stijgende loon- of rente kosten?
- Is er sprake van een forse toename of afname van de inflatie?
- Is er een forse groei of juist afname van het besteedbaar inkomen?
- Is er een forse groei of juist een afname van investeringen?

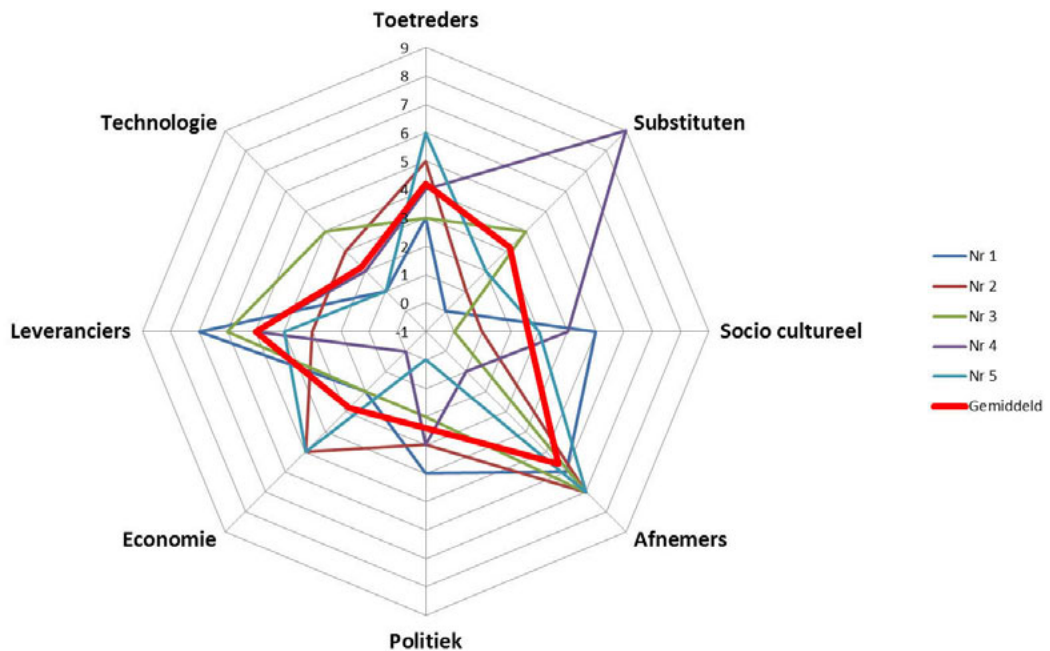
In Figuur 6 is de mindmap voor CO₂ levering aan de tuinbouw weergegeven. Deze mindmap is ingevuld aan de hand van de hiervoor beschreven marktverkenning. De plussen geven aan dat er sprake is van een gunstige uitkomst, terwijl de minnen aangeven dat er sprake is van een negatieve uitkomst.

FIGUUR 6 MINDMAP VOOR CO₂ LEVERING AAN DE TUINBOUW



In het project is middels een multi criteria analyse de perceptie getoetst van de leden van de begeleidingscommissie ten aanzien van de verschillende krachten in het Porter model. Op die manier is kwantitatief in beeld gebracht wat de grootte van de krachten zijn. In Figuur 7 de uitkomst in een radargrafiek weergegeven.

FIGUUR 7 UITKOMSTEN EN SPREIDING KRACHTEN PORTER MODEL



BIJLAGE 2

LEVERANCIERS VAN CO₂ EN INSTALLATIES

OCAP

OCAP staat voor 'Organic Carbondioxide for Assimilation of Plants' en is opgericht in 2003 in samenwerking met VolkerWessels en Linde Gas. Inmiddels levert OCAP ruim 400 kiloton CO₂ per jaar (website OCAP, 2014) aan zo'n 580 glastuinbouwbedrijven (circa 500 direct en circa 80 via Eneco). CO₂ komt vrij bij de productie van waterstof door de raffinaderij van Shell in Botlek. Deze CO₂ wordt vervolgens via een bestaande pijpleiding getransporteerd naar de glastuinbouwgebieden in het Westland, de B-driehoek, Delfgauw en Wilgenlei. De druk in de pijpleiding zelf wordt als buffer-"volume" ingezet om de variatie in CO₂ behoefte op te vangen. In augustus 2010 werd bekend dat OCAP een extra CO₂-bron heeft gevonden in de vorm van Bio-ethanolfabrikant Abengoa. Hierdoor konden vanaf medio 2011 ook tuinders in de Zuid-plaspolder gebruik maken van OCAP-CO₂ (www.ocap.nl).

ROCA3

Op de grens van Rotterdam en Capelle aan den IJssel staat de warmtekrachtcentrale RoCa3. Een deel van de rookgassen van deze centrale wordt verrijkt met CO₂. Nadat de verrijkte rookgassen op druk zijn gebracht door een compressor, wordt het rookgas via een pijpleiding naar een glastuinbouwgebied ten noorden van Rotterdam getransporteerd. Op deze manier wordt de CO₂-emissie van RoCa verminderd met 130.000 ton per jaar.

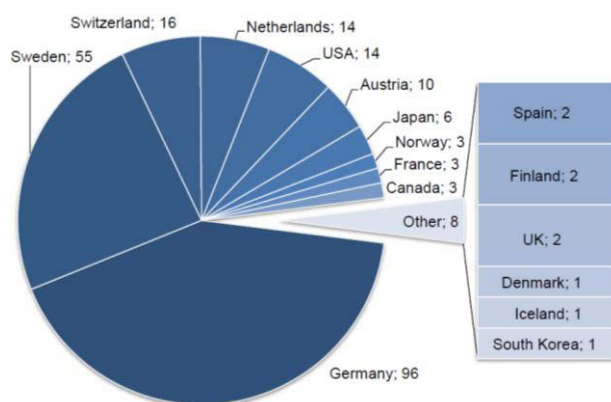
YARA SLUISKIL

De komende jaren wordt bij Terneuzen een glastuinbouwgebied ontwikkeld van 250 hectare. Hier gaat WarmCO₂ B.V., een samenwerkingsverband van Yara Sluiskil, Zeeland Seeports en Visser Smit Hanab, CO₂ en warmte leveren aan de glastuinbouw. Yara Sluiskil, een kunstmestfabrikant, gaat de CO₂ aan de glastuinbouw leveren. Om de leveringszekerheid te verhogen, bouwt Yara twee gashouders van 900 ton CO₂ elk.

WERELDWIJDE BIOGAS OPWERKINGSINSTALLATIES

Figuur 8 geeft weer waar en hoeveel biogas opwaardeer installaties er in 2013 verspreid over de wereld aanwezig zijn. Hierbij is duidelijk te zien dat de techniek in een aantal landen al ingeburgerd is, terwijl het in andere landen nog voet aan de grond moet krijgen.

FIGUUR 8 OVERZICHT VAN AANTAL BIOGAS OPWERKINGSINSTALLATIES IN DE WERELD (BAUER ET AL., 2013)



BIJLAGE 3

KWALITEITSNORMEN CO₂

Deze bijlage bevat tabellen met kwaliteitsparameters voor de levensmiddelenindustrie, drinkwaterbereiding en glastuinbouw.

TABEL 13 KWALITEITSPARAMETERS VOOR CO₂ IN DE LEVENSMIDDELENINDUSTRIE

Parameter	ISBT	Food grade	EU – E290	Eenheid
CO ₂	≥ 99,9	≥ 99,9	≥ 99	% v/v
Benzeen	≤ 0,02	Zie aromatische KWS	-	ppm v/v
Acetaldehyde	≤ 0,2	≤ 0,2	-	ppm v/v
Methanol	≤ 10	-	-	ppm v/v
CO	≤ 10	≤ 10	≤ 10	ppm v/v
H ₂ O	≤ 20	≤ 20	-	ppm v/v
NH ₃	≤ 2,5	≤ 2,5	-	ppm v/v
NO _x	≤ 2,5 elk	≤ 2,5 elk	-	ppm v/v
N ₂	-	Niets	-	ppm v/v
O ₂ + Ar	-	≤ 30	-	ppm v/v
O ₂	≤ 30	< 5	-	ppm v/v
PH ₃	≤ 0,3	-	-	ppm v/v
Vinyl chloride	-	Niets	-	ppm v/v
totaal S	≤ 0,1	≤ 0,1	-	ppm v/v
COS	-	≤ 0,1	-	ppm v/v
Vluchtige thioen, sulfiden en disulfiden	-	Niets	-	ppm v/v
SO ₂	≤ 1,0	≤ 1,0	-	ppm v/v
H ₂ S	-	≤ 0,1	-	ppm v/v
totaal CH (als CH ₄)	≤ 50	≤ 50	-	ppm v/v
totaal CH zonder CH ₄	≤ 20	≤ 20	-	ppm v/v
niet vluchtig residu	≤ 10	≤ 10	-	ppm w/w
niet vluchtige organische componenten (olie en vet)	≤ 5	≤ 5	≤ 5	ppm w/w
Ethyleen glycol	-	Niets	-	ppm v/v
Ethyleen oxide	-	Niets	-	ppm v/v
Aromatische koolwaterstoffen	≤ 0,02	≤ 0,02	-	ppm v/v
Onverzadigde koolwaterstoffen	-	Niets	-	ppm v/v
Acetaldehyde	≤ 0,2	≤ 0,2	-	ppm v/v
Ethanol	-	Niets	-	ppm v/v
Fenol	-	Niets	-	ppm v/v
Zuurgraad	-	Negatief (methyl-oranje test)	Negatief (methyl-oranje test)	-
Reducerende stoffen, fosfine en waterstofsulfide	-		Negatief (zilver nitraat test)	-
Geur	acceptabel voor klant	acceptabel voor klant	-	
Geur in vaste vorm	-	geurloos	-	
Smaak	acceptabel voor klant	acceptabel voor klant	-	
Troebelheid in water	Geen kleur of vertroebeling	Geen kleur of vertroebeling	-	

* Een [-] betekent dat er geen eis is gesteld aan de parameter

Voor KIWA certificering dienen de volgende gegevens inzichtelijk worden:

- Eindproduct moet voldoen aan de gestelde kwaliteitseisen: NEN 936 CO₂ kwaliteit;
- De kwaliteit moet constant (goed) zijn;
- Kwaliteitsborging: door interne kwaliteitsborgingsprocedure (IKB);
- Meetapparatuur moet periodiek gekalibreerd worden;
- Inline proces controle;
- Controle procedure eindproduct;
- Wijze van opslag van het CO₂;
- Klachten procedure;
- Proces flow diagram.

TABEL 14 CO₂ KWALITEITSCRITERIA VOLGENS NEN 936 – KIWA-ATA

		2013	Eenheid
CO ₂ zuiverheid	≥ 99,98	≥ 99,9	%
CO	≤ 5	≤ 10	mg/L
H ₂ O	≤ 10	≤ 50	mg/L
Zuurgraad	Pass test	-	
Totaal zwavel (als S)	≤ 0,1	≤ 0,1	mg/L
H ₂ S	≤ 0,05	≤ 0,1	mg/L
COS	≤ 0,05	≤ 0,1	mg/L
SO ₂	≤ 0,5	≤ 1,0	mg/L
NO _x	≤ 1,0	≤ 2,5	mg/L
NO	≤ 0,5	≤ 2,5	mg/L
NH ₃	≤ 1,0	≤ 2,5	mg/L
Totaal vluchtige koolwaterstoffen (als methaan equivalenten)	≤ 10	≤ 50	mg/L
Total CH (als CH ₄) zonder CH ₄	-	≤ 20	mg/l
Benzeen	≤ 0,01	≤ 0,02	mg/L
Som van BTEX	≤ 0,02	-	mg/L
Acetaldehyde	≤ 0,2	≤ 0,2	mg/L
Methanol	≤ 10	≤ 10	mg/L
Ethanol	≤ 10	-	mg/L
Stikstof	≤ 60	-	mg/L
Zuurstof	≤ 10	≤ 30	mg/L
Waterstof	≤ 10	-	mg/L
Olie	≤ 1	-	mg/kg
Niet vluchtige residuen	≤ 10	≤ 10	mg/kg
Smaak en geur water	Geen	Geen	
Onverzadigde C2-C5 koolwaterstoffen	≤ 5	-	mg/L
Niet vluchtige organische componenten (olie en vetten)	-	≤ 5	mg/l
Vluchtige oxygenated componenten	≤ 1,0	-	mg/L
Microbiologische activiteit	Negatieve activiteit	-	

TABEL 15 CO₂ KWALITEITSCRITERIA VOLGENS OCAP RICHTLIJN EN ESMEIJER/DIELEMAN

Component	Eenheid	OCAP richtlijn	IPO 1999 en Dieleman 2007 richtlijn*
CO ₂	%	± 99	-
CO	ppm	750	-
H ₂ O	ppm	40	-
NO	ppm	2,5	-
NO ₂	ppm	2,5	-
NO _x	ppm	-	0,016-0,040
Totaal koolwaterstoffen (inc methanol)	ppm	1200	-
Totaal aromatische koolwaterstoffen	ppm	0,1	-
Etheen	ppm	1	0,005-0,011
Ethanol	ppm	1	-
Acetaldehyde & ethylacetate (samen)	ppm	0,2	-
H ₂ S	ppm	5	-
Carbonyl sulfide	ppm	0,1	-
Dimethyl sulfide	ppm	1,1	-
HCN	ppm	20	-
Zwavel dioxide	ppm	-	0,015-0,070
Ammoniak	ppm	-	0,197-3,300
Ozon	ppm	-	0,028-0,1

* Marge geeft waarde voor streefgemiddelde en maximale tijdelijke overschrijding.

TABEL 16 EFFECTGRENSWAARDEN VOOR CONCENTRATIES IN DE GLASTUINBOUW (DE WOLFF, 2009)

Component	Acuut [ppb]	Chronisch [ppb]	Opmerking
Ozon (O ₃)	100	28	IPO en PBG, 1999
Etheen (C ₂ H ₄)	50	8	IPO en PBG, 1999
Etheen (C ₂ H ₄)	11	5	Herzien door WUR, 2007
Stikstofmonoxide (NO)	1000	250	IPO en PBG, 1999
Stikstofdioxide (NO ₂)	600	132	IPO en PBG, 1999
Stikstofoxide (NO _x)	40	16	Herzien door WUR, 2007
Zwavel dioxide (SO ₂)	70	15	IPO en PBG, 1999
Ammoniak (NH ₃)	3300	197	IPO en PBG, 1999

BIJLAGE 4

ACHTERGROND INFORMATIE CO₂-WINNINGSTECHNIEKEN

CRYOGENE SCHEIDING

Cryogene scheidingstechnieken maken gebruik van lage temperaturen om er voor te zorgen dat het CO₂ condenseert. Dit gebeurt bij een temperatuur van -57 °C. Doordat de condensatietemperatuur van CH₄ veel lager ligt, bij een temperatuur van -164/-160 °C, is het mogelijk vloeibaar CO₂ te destilleren. Dit proces is aantrekkelijk indien de concentratie CO₂ meer dan 90% bedraagt is in het ingaande gasmengsel (Ebner and Ritter, 2009). In Tabel 17 zijn de belangrijkste voor- en nadelen van deze technologie beschreven; Figuur 9 bevat een proces-schema. Het ruwe biogas wordt eerst ontdaan van waterdamp in een condenseerkolom. In een actiefekoolfilter worden siloxanen en H₂S verwijderd. H₂S verwijdering is noodzakelijk omdat het condensatiepunt vrijwel gelijk is aan dat van CO₂ (-60 en -78 °C resp.). Voor het koelen van het gas wordt vaak een combinatie van warmtewisselaars, compressoren en expansie installaties gebruikt (Bauer et al., 2013).

Deze technologie wordt op RWZI Beverwijk toegepast voor CO₂ zuivering. Op RWZI Haarlem Waarderpolder wordt dit voor een deel van de biogasstroom gebruikt.

TABEL 17

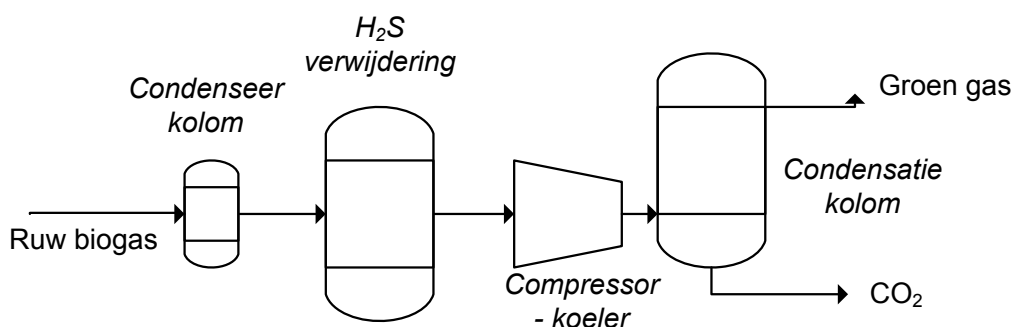
VOOR EN NADELEN CRYOGENE SCHEIDING

Voordelen	Nadelen
Zeer hoge CH ₄ en CO ₂ zuiverheid realiseerbaar (>99%)	Complex proces met hoge investerings en operationele kosten (€ 0,40/m ³ CH ₄ , € 0,80/m ³ CO ₂)*
Mogelijkheid tot productie van LNG	Risico op vaste CO ₂ vorming op warmtewisselaars
Geen chemicaliën noodzakelijk	Temperatuur van -78 °C en hoge druk vereisen aanzienlijke veiligheidsprocedures

*Een aanzienlijke kostenreductie kan worden gerealiseerd als dit proces voorafgegaan wordt door een ander scheidingsproces waar een lagere kwaliteit wordt behaald.

FIGUUR 9

PROCESSHEMA CRYOGENE SCHEIDING



In Bijlage 10 is de situatie voor de installatie in Beverwijk nader beschreven.

MEMBRAANFILTRATIE

Gas scheidingsmembranen werken op het principe van selectieve permeatie door het membraan. De permeatie snelheid van elk gas is afhankelijk van de diffusie snelheid van het gas en de oplosbaarheid van het gas in het membraan materiaal. Gassen met hogere oplosbaarheid of kleinere moleculaire grootte penetreren het membraan zeer snel. Grotere moleculaire, minder oplosbare, gassen penetreren het membraan langzamer. De drijvende kracht voor de gas scheiding is de partiële druk gradiënt: het verschil in partiële gasdruk aan beide kanten van het membraan. Hoe groter dit verschil, des te groter de hoeveelheid gas welke door het membraan dringt. Bij de scheiding van bijvoorbeeld koolstofdioxide en methaan kan koolstof dioxide goed door het membraan dringen terwijl methaan wordt tegengehouden. In biogas opwaardeerinstallaties worden partiële gasdrukken tot circa 25 bar toegepast.

In Tabel 18 zijn de belangrijkste voor- en nadelen weer gegeven. In Figuur 10 is een proces-schema weergegeven. Na condensatie van water en H₂S verwijdering in een actiefekoolfilter, wordt het gasmengsel op een druk van 6-20 bar gebracht in een compressor. Om het verschil in partiële gasdruk te maximaliseren, wordt aan de permeaatzijde van het membraan vaak een vacuüm gecreëerd.

Op RWZI Beverwijk wordt een twee traps membraanfiltratie installatie gebruikt om het biogas te scheiden in een CO₂ rijke en CH₄ rijke fractie. Op RWZI Assen en RWZI Amsterdam-West wordt een enkelvoudige membraanfiltratie installatie toegepast voor biogasopwaarding.

TABEL 18

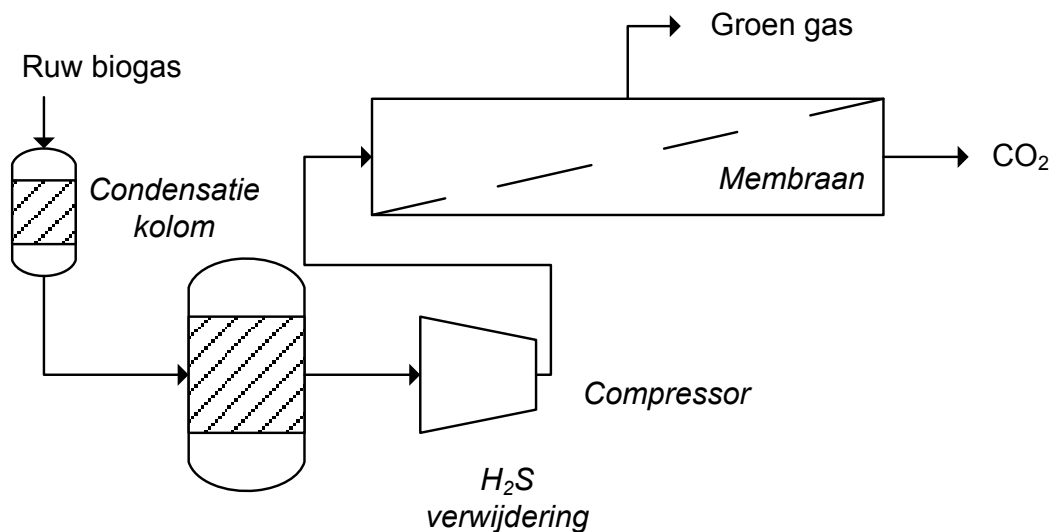
VOOR EN NADELEN MEMBRAANFILTRATIE

Voordelen	Nadelen
Scheiding vindt plaats in 1 drukvat wat procesbeheersing vereenvoudigt	Hoge zuiverheid lastig te realiseren
Investeringskosten zijn hoog, operationele kosten zijn laag (€ 0,12/m ³)	Levensduur membranen vereisen vervanging na 12 – 15 jaar*
Compact systeem in vergelijking met absorptie/adsorptieprocessen	Meerstapsproces noodzakelijk om hoge CH ₄ opbrengst te bereiken. Één membraan stap laat nog teveel CH ₄ door.

* gebaseerd op persoonlijke communicatie met dhr. J. Spaan, CO₂ array technologies. Bauer et al. (2013) vermeldt 8-10 jaar als levensduur voor membranen.

FIGUUR 10

PROCESSHEMA MEMBRAANFILTRATIE



CHEMISCHE ABSORPTIE

In een reactor waarin chemische CO₂ absorptie plaatsvindt worden alkylaminen gebruikt om het CO₂ af te vangen en vrij te stellen. Een installatie bestaat uit twee reactoren waarbij er één wordt gebruikt voor de gas absorptie en de andere voor desorptie. De twee reactoren worden bedreven op verschillende temperaturen waarbij warmte via een warmte wisselaar kan worden hergebruikt. De reactoren zijn vaak gevuld met een poreus materiaal zodat er optimaal reactieoppervlak tussen gas en vloeistof fase ontstaat.

Procesbeschrijving

Het gas wordt eerst ontdaan van waterdamp; H₂S verwijdering is niet noodzakelijk. Het gas wordt van onderen door een reactor geleid die van boven wordt gevoed met amine houdend water. Door reactie van CO₂ met het amine worden deze uit de gasfase gehaald. De reacties zijn afhankelijk van de aanwezigheid van de reactanten. Om de reactie naar de waterfase te stimuleren wordt de amine concentratie enkele malen hoger gehouden dan de CO₂ concentratie. De binding van het CO₂ is een exotherm proces. Hierbij is de temperatuur onder in de reactor rondt de 45-65 °C (invoer 20-40 °C). Het gebonden CO₂ wordt in een reactor verwarmd (90-150°C) waarbij het CO₂ gescheiden wordt van de amine. In een condenseer kolom wordt het CO₂ en H₂S mengsel gekoeld; het condensaat wordt teruggevoerd naar het scheidingsproces. In Tabel 19 zijn de belangrijkste voor- en nadelen van deze technologie beschreven; Figuur 11 bevat een processchema.

Op RWZI Apeldoorn en Mijdrecht bevindt zich een installatie die gebruik maakt van een chemisch absorptie systeem, low pressure CO₂ absorption (LPCOOAB) genoemd.

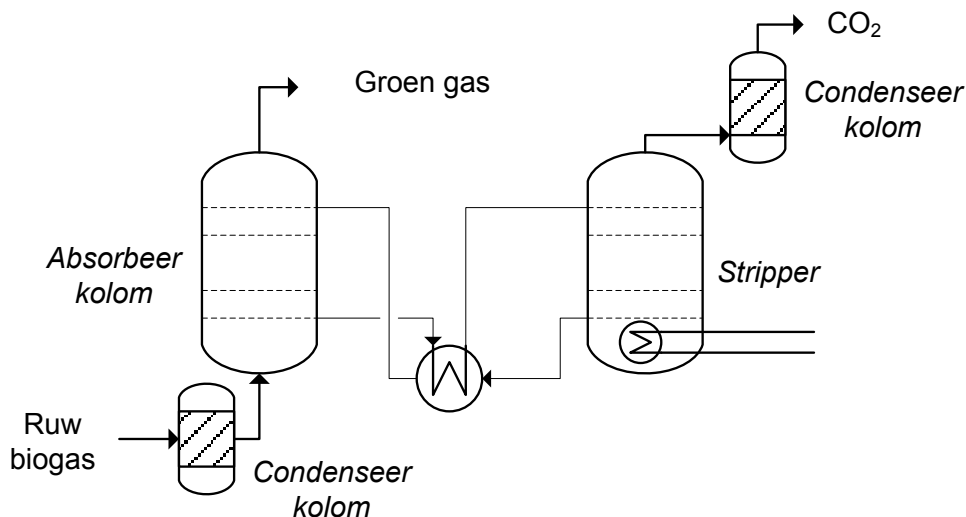
TABEL 19

VOOR- EN NADELEN CHEMISCHE ABSORPTIE

Voordelen	Nadelen
Op grote schaal economisch voordelig	Katalysator moet vervangen worden (0,03 gr/Nm ³ biogas)
Investerings en operationele kosten zijn laag (€ 0,17/Nm ³ CH ₄)	Oplosmiddel vormt gezondheidsrisico en vergt uitgebreide veiligheidsprocedure
Veel praktijk kennis beschikbaar (> 50 installaties in Europa)	

FIGUUR 11

PROCESSHEMA CHEMISCHE ABSORPTIE



FYSISCH WASSERS

Fysische wassers kunnen worden onderscheiden in water wassers en het Selexol/Rectisol/Genosol proces.

WATERWASSERS

In waterwassers wordt gebruik gemaakt van het principe dat de oplosbaarheid van CO₂ in water ongeveer 26 keer groter is dan die van CH₄ in water. In een tegengestelde stroom lost CO₂ op, waarbij een CH₄ rijke gasstroom resteert. Middels regeneratie kan het CO₂ weer worden teruggewonnen. In Tabel 20 zijn de belangrijkste voor- en nadelen van deze technologie beschreven; Figuur 12 bevat een processchema.

Na condens afvoer wordt het gas onder hoge druk (6-12 bar) in de absorbeer kolom geleid, waar het CO₂ oplost in het water. In de flash kolom wordt de druk deels teruggebracht (4 bar) waarbij het vrijkomende gas wordt teruggeleid naar de absorbeer kolom. Ondanks dat dit het verlies aan CH₄ beperkt, gaat desalniettemin 1-5% CH₄ verloren. In de desorptie kolom wordt lucht toegevoegd om het water te beluchten en de CO₂ uit oplossing te halen. Voor effectieve CO₂ verwijdering is omstreeks 10 maal zoveel lucht nodig om de waterstroom te ontdoen van CO₂ (de Moel et al., 2005). Als gevolg is de CO₂ zeer sterk verdund na desorptie: slechts 2,6% van de lucht bestaat uit CO₂.

Deze technologie wordt niet toegepast op RWZI's in Nederland.

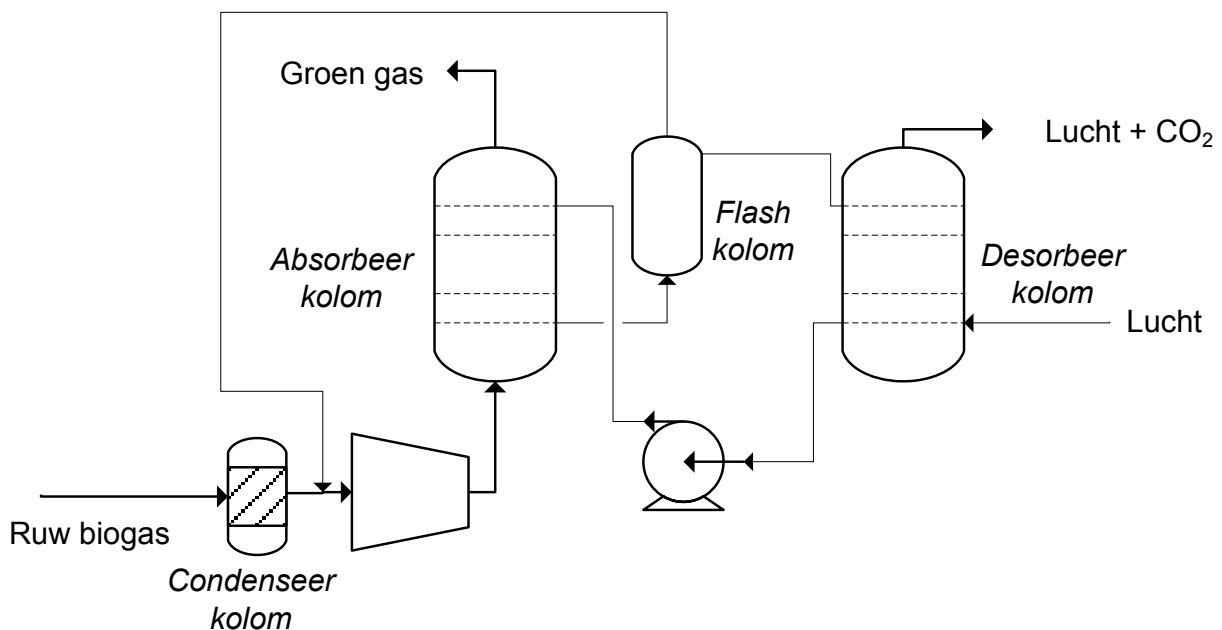
TABEL 20

VOOR- EN NADELEN WATERWASSERS

Voordelen	Nadelen
Geen gebruik van chemicaliën	CO ₂ -winning niet rendabel door verdunning van CO ₂ gas in desorptie kolom.
Investerings en operationele kosten zijn laag (€ 0,13/m ³ CH ₄)	1-5% van CH ₄ gaat mee in de CO ₂ stroom

FIGUUR 12

PROCESSHEMA WATERWASSER



SELEXOL/RECTISOL/GENOSOL PROCES

In een gas wasser bevindt zich dimethyl ether/polyethyleen glycol (Selexol/Genosol proces) of methanol (Rectisol proces). In tegenstelling tot organisch/chemische oplosmiddelen vinden er geen chemische reacties plaats waarbij de CO₂ gebonden wordt. Het procesprincipe vertoont verder wel veel overeenkomsten: CO₂ lost op bij een hoge druk of lage temperatuur (7-8 bar/40 °C, ook afhankelijk van het oplosmiddel), waarna in een afzonderlijke tank de druk verlaagd wordt en/of de temperatuur verhoogd (atmosferisch, 120 °C) wordt. Hierbij wordt het CO₂ afgegeven, waarna het oplosmiddel weer teruggevoerd kan worden.

In Figuur 13 is een processchema weergegeven, Tabel 21 bevat de voor- en nadelen van de technologie.

Deze technologie wordt niet toegepast op RWZI's in Nederland.

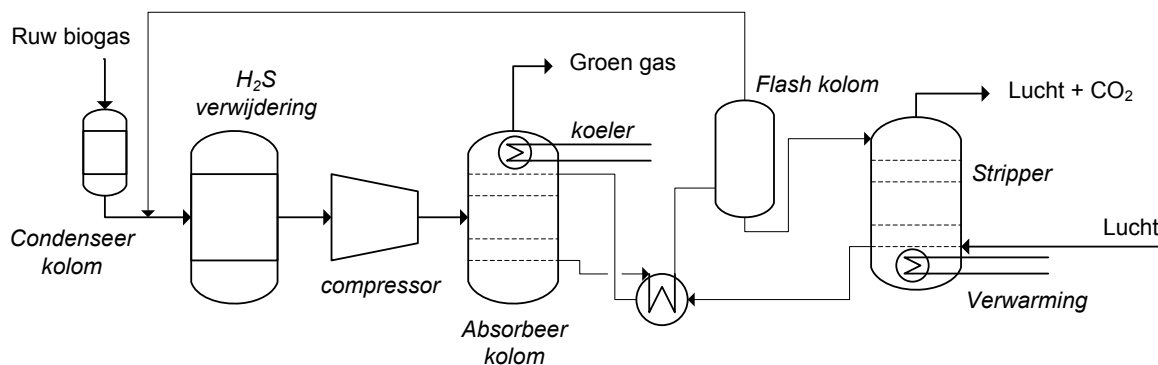
TABEL 21

VOOR EN NADELEN SELEXOL/RECTISOL EN GENOSOL PROCES

Voordelen	Nadelen
Op grote schaal (>10 Mm ³ /y) rendabel	5-10% van methaan verdwijnt met CO ₂ stroom
	Maximaal te realiseren CH ₄ zuiverheid is 98%
	CO ₂ sterk verdund met lucht
	Weinig praktijkervaring (12 installaties in europa)

FIGUUR 13

PROCESSHEMA SELEXOL/RECTISOL/GENOSOL PROCES



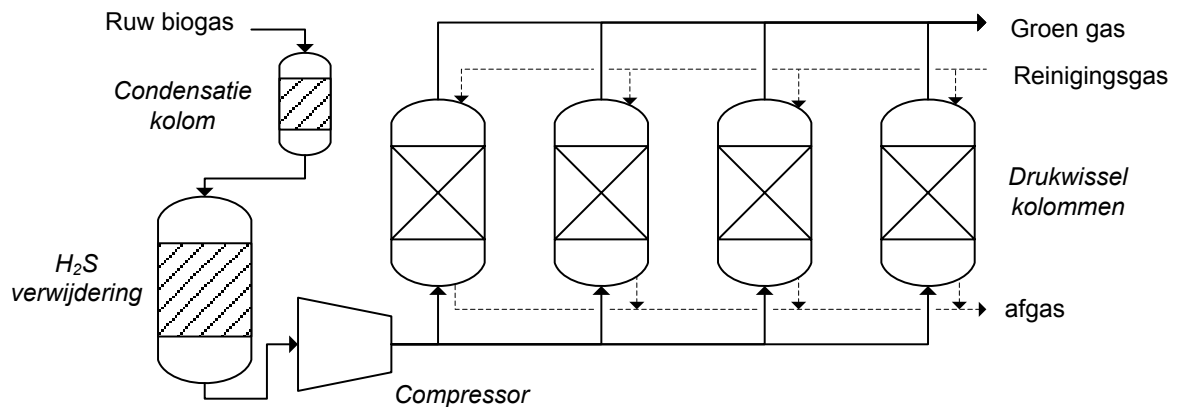
DRUKWISSELADSORPTIE – TEMPERATUUR WISSELADSORPTIE

TECHNISCHE BESCHRIJVING

Drukwisseladsorptie of temperatuurwisseladsorptie is een techniek waarbij over het algemeen vier reactoren parallel aan elkaar staan geschakeld. In de bedrijfsvoering wordt dan één reactor gebruikt terwijl de overige in staat van reiniging zijn. De reactoren zijn gevuld met een vast drager materiaal wat onder hoge druk of lage temperatuur stoffen adsorbeert en bij lage druk of hoge temperatuur deze stoffen weer los laat. Dit zijn vaak koolstof moleculaire zeven of zeolieten. Een schematische representatie van een drukwisseladsorptie installatie is weergegeven in Figuur 14.

FIGUUR 14

PROCESSCHEMA DRUKWISSEL ADORPTIE



PROCESBESCHRIJVING

Een drukwisseladsorptie kolom cyclus kent vier fasen:

- **Drukverhoging/temperatuur verlaging:** de cyclus start met het op druk brengen (7-8 bar) of temperatuur (<90 °C) verlagen van de reactie kolom;
- **Voeden:** hier begint reiniging van het methaan en adsorbeert het CO₂.
- **Afblazen / temperatuurverhoging:** na een bepaalde bedrijfsperiode is het adsorptie materiaal verzadigd en wordt de kolom afgesloten waarna de druk wordt verlaagd (atmosferisch) of de temperatuur verhoogd (110 – 280 °C). Hierdoor treedt desorptie op en komt het geadsorbeerde gas weer los van het bindingsmateriaal;
- **Reinigen:** de kolom kan dan gespoeld worden met schoon gas. Hiermee is de cyclus afgesloten en kan weer begonnen worden met de eerste fase.

Doordat dit een droge techniek is komen er minder operationele problemen voor, echter er is een relatief hoge methaan slip die op meerdere manieren kan worden opgevangen. Het is mogelijk het afgas in te zetten voor coverbranding of het om te zetten met behulp van een katalysator. In Tabel 22 zijn de belangrijkste voor- en nadelen van drukwisseladsorptie beschreven.

TABEL 22

VOOR- EN NADELEN DRUKWISSELADSORPTIE

Voordelen	Nadelen
Ook op kleine schaal kosteneffectief	Procesbeheersing blijkt lastig te zijn; verslechtering van zuiverheid gassen treedt in loop van de tijd op
Veel referentie installaties (>50 in Europa)	Vervanging van vulmateriaal noodzakelijk
	2-8% van CH ₄ gaat mee in de CO ₂ stroom

BIJLAGEN 5

RESULTATEN GASANALYSES

In deze bijlage zijn de resultaten van de gasanalyses weergegeven. Ook zijn de norm waarden van de ISBT, Kiwa-ATA en OCAP richtlijn weergegeven. Indien 'ntb' is weergegeven, is maximum detectielimiet overschreden.

Op zowel Beverwijk als Haarlem zijn in het kader van dit onderzoek 2 analyses uitgevoerd met minstens 20 dagen tussen beide monsternames. Op RWZI Beverwijk is in 2013 voor een ander project CO₂ afgas geanalyseerd op een beperkt aantal parameters; dit is ook weergegeven in de tabel (serie 3).

Parameter								
Monster	1	2	1	2	3	1	2	
CO ₂ zuiverheid	%	77	81	99,4	98,7	99,6	97,5	> 99,9
CH ₄	%	21,8	17,6	<0,1	1,2	0,4	2,5	< 30
Stikstof	ppm	< 60	< 60	< 60	< 60	< 60	< 60	-
Zuurstof	ppm	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 30
CO	ppm	<1	< 9	<1	<9	<1	<9	< 10
H ₂ O	ppm	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	< 20
Totaal zwavel	ppm	0,306	<2,212	0,512	<1,83	0,969	<1,525	<0,1
H ₂ S	ppm	<1	-	<1	-	<0,1	-	< 0,05
COS	ppm	0,03	-	<0,02	-	<0,02	-	< 0,05
SO ₂	ppm	0,275	0,356	0,512	0,485-	0,969	0,272	< 0,5
Dimethyl sulfide	ppm	<0,02	-	<0,02	-	<0,02	-	-
NO ₂	ppm	<0,1	<0,5	<0,1	<0,5	<0,1	<0,5	< 2,5
NO	ppm	<0,1	<0,5	<0,1	< 0,5	<0,1	<0,5	< 2,5
NH ₃	ppm	2,1	0,16	2,11	0,14	1,278	0,34	< 2,5
Totaal vluchtige koolwaterstoffen	ppm	Ntb*	17,600	1,018	1,200	8,860	2,500	< 50
Totaal CH (als CH ₄) zonder CH ₄	ppm	Ntb*	-	-	-	4860	-	< 20
Benzeen	ppm	<0,01	-	<0,01	-	<0,001	-	< 0,01
Som van BTEX	ppm	0,009	-	0,008	-	<0,001	-	< 0,02
Acetaldehyde	ppm	0,007	0,0038	0,010	0,0035	0,02	0,02	< 0,2
Acetaldehyde en ethylacetate (samen)	ppm	<0,01	-	<0,01	-	0,025	-	-
Etheen	ppm	<1	-	<1	-	1,09	-	< 1
Methanol	ppm	<0,001	< 0,6	<0,001	< 0,6	<0,01	< 0,6	< 10
Ethanol	ppm	0,0156	-	0,0156	-	0,026	-	< 10
Waterstof	ppm	<100	-	<300	-	<100	-	< 10
Niet vluchtige residuen	mg/m ³	0,67	< 2	1,29	< 2	6	-	< 10

BIJLAGE 6

UITGANGSPUNTEN FINANCIËLE EVALUATIE

In deze bijlage zijn de uitgangspunten/aannamen van de financiële evaluatie weergegeven.
De getallen zijn gebaseerd op STOWA (2009), tenzij anders aangegeven.

▪ Biogassamenstelling			
– CH ₄ gehalte	61	%	(inventarisatie par. 5.2)
– CO ₂ gehalte	38	%	
▪ Biogas naar WKK na opwaarderen	50	%	(benodigd voor warmtevraag)
▪ Rendement WKK			
– Met biogasopwaardering			(zie par. 5.2)
• Elektrisch	36–38	%	(2 Mm ³ /yr – 5 Mm ³ /yr)
• Thermisch	50	%	
– Zonder biogasopwaardering			
• Elektrisch	35–37	%	(2 Mm ³ /yr – 5 Mm ³ /yr)
• Thermisch	50	%	
▪ Rendement energierterugwinning igv. cryogene scheiding en verdamping	78	%	(pers. comm. J. Spaan, Array-CO ₂)
▪ Verlies CO ₂ i.g.v. PSA/membraanfiltratie	8	%	(idem)
▪ Verlies CO ₂ i.g.v. chemische absorptie	5	%	(Niesner et al., 2013)
▪ Verlies CO ₂ i.g.v. cryogene scheiding	10	%	(idem)
▪ Afschrijvingstermijn E/M installaties	15	jaar	
▪ Afschrijvingstermijn leidingwerk	50	jaar	
▪ Rente	2,57	%	(actuele stand Waterschapsbank)
▪ Inflatie	1,5	%	
▪ Netto investeringskorting			
EnergieInvesteringsAftrek (EIA)	10,4	%	(AgentschapNL brochure)
▪ Bouwtijd installaties	6	maanden	
▪ Leidinglengte i.g.v. gridinjectie	2	km	
▪ Prijzen:			
– Elektriciteit	0,10	€/kWh*	
– Groengas verkoop	0,341	€/Nm ³	
– Analyse kosten ISBT	1000	€/jaar	(zie par. 6.1)
– Analysekosten Kiwa-ATA	2600	€/jaar	(idem)
– Analysekosten gridinjectie	800	€/jaar	
– Huur CO ₂ opslagtank	1000	€/maand	(pers. comm Paul Duynstee PWN)
– Huur telemetrie opslagtank	100	€/maand	(idem)
– CO ₂ verkoopprijs glastuinbouw	35	€/ton	(pers. comm. J. Limbeek, OCAP)
– CO ₂ verkoopprijs levensm. industrie	80	€/ton	
– CO ₂ verkoopprijs drinkw. industrie	100	€/ton	(pers. comm. I. Worm, PWN)
– CO ₂ leiding 2 Mm ³ /yr	60	€/m	
– CO ₂ leiding 5 Mm ³ /yr	80	€/m	

* Voor de elektriciteitsprijs wordt de inkoopprijs gehanteerd (excl. vaste kosten).

Dit kan alleen met de aanname dat de RWZI netto geen producent van elektrische energie is.

KOSTEN INSTALLATIE ONDERDELEN

TABEL 23

KOSTEN INSTALLATIE ONDERDELEN (€*1000), ZONDER BTW

Procesonderdeel	2 Mm ³ /y	5 Mm ³ /y	Operationele kosten (% van investering/y)	afschrijftermijn
Compressor gasvormig CO ₂ *	76	220	8	20
Evaporator**	200	295	13	15
Cryogene scheiding deelstroom**	315	470	13	15
Cryogene scheiding volstroom**	500	740	11	15
Actievekoolfilter***	75	120	15	15

* Deze waarden zijn bepaald in overleg met dhr. B. J. van Assema, ARCADIS Nederland BV.

** Deze waarden zijn bepaald in overleg met dhr. J. Spaan, CO₂ array technologies, Nieuwerkerk a/d IJssel.

*** Gebaseerd op STOWA (2009).

De kosten voor biogasopwaardeerinstallaties zijn gebaseerd op een prijsindicatie afgegeven door dhr. R. Hageman, HADETEC, Nijkerk.

BIJLAGE 7

NCW-BEREKENINGEN

In deze bijlage zijn de berekeningen van de netto-contante-waarde weergegeven. Per jaar zijn de kosten en inkomsten gespecificeerd, afhankelijk van het de afzetmarkt.

ROUTE MET BESTAANDE BIOGASOPWAARDEERINSTALLATIE: CRYOGENE SCHEIDING – 2 M M³/Y

jaar	Glastuinbouw		Drinkwaterindustrie		Levensmiddelenindustrie	
	Uitgaven	Inkomsten	Uitgaven	Inkomsten	Uitgaven	Inkomsten
0	-120098	19211	-8963	54888	-8963	43911
1	-8018	38422	-97846	109777	-45878	87821
2	-8138	38998	-99314	111423	-46566	89139
3	-8260	39583	-100803	113095	-47265	90476
4	-8384	40177	-102315	114791	-47974	91833
5	-8510	40779	-103850	116513	-48693	93210
6	-8638	41391	-105408	118260	-49424	94608
7	-8767	42012	-106989	120034	-50165	96028
8	-8899	42642	-108594	121835	-50917	97468
9	-9032	43282	-110223	123662	-51681	98930
10	-9168	43931	-111876	125517	-52456	100414
11	-9305	44590	-113554	127400	-53243	101920
12	-9445	45259	-115258	129311	-54042	103449
13	-9586	45938	-116986	131251	-54853	105001
14	-9730	46627	-118741	133220	-55675	106576
15	-9876	47326	-120522	135218	-56510	108174

ROUTE MET BESTAANDE BIOGASOPWAARDEERINSTALLATIE: CRYOGENE SCHEIDING – 5 M M³/Y

jaar	Glastuinbouw		Drinkwaterindustrie		Levensmiddelenindustrie	
	Uitgaven	Inkomsten	Uitgaven	Inkomsten	Uitgaven	Inkomsten
0	-259016	48027	-13444	137221	-13444	109777
1	-19970	96054	-219240	274441	-92568	219553
2	-20269	97495	-222529	278558	-93957	222846
3	-20574	98958	-225867	282736	-95366	226189
4	-20882	100442	-229255	286977	-96796	229582
5	-21195	101949	-232693	291282	-98248	233026
6	-21513	103478	-236184	295651	-99722	236521
7	-21836	105030	-239727	300086	-101218	240069
8	-22164	106606	-243322	304587	-102736	243670
9	-22496	108205	-246972	309156	-104277	247325
10	-22833	109828	-250677	313793	-105841	251035
11	-23176	111475	-254437	318500	-107429	254800
12	-23524	113147	-258254	323278	-109040	258622
13	-23876	114844	-262127	328127	-110676	262502
14	-24235	116567	-266059	333049	-112336	266439

15	-24598	118316	-270050	338045	-114021	270436
ROUTE MET BESTAANDE BIOGASOPWAARDEERINSTALLATIE: MEMBRAANFILTRATIE/DRUKWISSELADSORPTIE – 2 M M ³ /Y						
jaar	Glastuinbouw		Drinkwaterindustrie		Levensmiddelenindustrie	
	Uitgaven	Inkomsten	Uitgaven	Inkomsten	Uitgaven	Inkomsten
0	-402416	19644	-282319	56125	-282319	44900
1	-42559	39288	-71355	112251	-63235	89800
2	-43198	39877	-72425	113934	-64183	91147
3	-43846	40475	-73511	115643	-65146	92515
4	-44504	41082	-74614	117378	-66123	93902
5	-45171	41699	-75733	119139	-67115	95311
6	-45849	42324	-76869	120926	-68122	96741
7	-46536	42959	-78022	122740	-69143	98192
8	-47234	43603	-79192	124581	-70180	99665
9	-47943	44257	-80380	126449	-71233	101160
10	-48662	44921	-81586	128346	-72302	102677
11	-49392	45595	-82810	130271	-73386	104217
12	-50133	46279	-84052	132225	-74487	105780
13	-50885	46973	-85313	134209	-75604	107367
14	-51648	47678	-86592	136222	-76738	108978
15	-52423	48393	-87891	138265	-77889	110612

ROUTE MET BESTAANDE BIOGASOPWAARDEERINSTALLATIE: MEMBRAANFILTRATIE/DRUKWISSELADSORPTIE – 5 M M³/Y

jaar	Glastuinbouw		Drinkwaterindustrie		Levensmiddelenindustrie	
	Uitgaven	Inkomsten	Uitgaven	Inkomsten	Uitgaven	Inkomsten
0	-680254	53380	-421238	152514	-421238	122012
1	-49587	106760	-83839	305029	-75719	244023
2	-50331	108361	-85097	309604	-76855	247683
3	-51086	109987	-86373	314248	-78008	251399
4	-51853	111637	-87669	318962	-79178	255170
5	-52630	113311	-88984	323746	-80365	258997
6	-53420	115011	-90318	328603	-81571	262882
7	-54221	116736	-91673	333532	-82794	266825
8	-55034	118487	-93048	338535	-84036	270828
9	-55860	120264	-94444	343613	-85297	274890
10	-56698	122068	-95861	348767	-86576	279014
11	-57548	123899	-97299	353998	-87875	283199
12	-58411	125758	-98758	359308	-89193	287447
13	-59288	127644	-100239	364698	-90531	291758
14	-60177	129559	-101743	370168	-91889	296135
15	-61080	131502	-103269	375721	-93267	300577

ROUTE MET BESTAANDE BIOGASOPWAARDEERINSTALLATIE: CHEMISCHE ABSORPTIE – 2 M M³/Y

jaar	Glastuinbouw		Drinkwaterindustrie		Levensmiddelenindustrie	
	Uitgaven	Inkomsten	Uitgaven	Inkomsten	Uitgaven	Inkomsten
0	-188752	22117	-350973	56716	-350973	45373
1	-8118	44235	-145247	113432	-91655	90745
2	-8240	44898	-147425	115133	-93029	92106
3	-8363	45572	-149637	116860	-94425	93488
4	-8489	46255	-151881	118613	-95841	94890
5	-8616	46949	-154159	120392	-97279	96314
6	-8745	47653	-156472	122198	-98738	97758
7	-8876	48368	-158819	124031	-100219	99225
8	-9010	49094	-161201	125891	-101722	100713
9	-9145	49830	-163619	127780	-103248	102224
10	-9282	50578	-166073	129697	-104797	103757
11	-9421	51336	-168564	131642	-106369	105314
12	-9562	52106	-171093	133617	-107964	106893
13	-9706	52888	-173659	135621	-109584	108497
14	-9851	53681	-176264	137655	-111228	110124
15	-9999	54487	-178908	139720	-112896	111776

ROUTE MET BESTAANDE BIOGASOPWAARDEERINSTALLATIE: CHEMISCHE ABSORPTIE – 5 M M³/Y

jaar	Glastuinbouw		Drinkwaterindustrie		Levensmiddelenindustrie	
	Uitgaven	Inkomsten	Uitgaven	Inkomsten	Uitgaven	Inkomsten
0	-366948	58204	-529170	157544	-529170	126035
1	-20319	116407	-308154	315088	-161994	252070
2	-20624	118154	-312776	319814	-164424	255851
3	-20934	119926	-317468	324611	-166890	259689
4	-21248	121725	-322230	329481	-169394	263584
5	-21566	123551	-327063	334423	-171935	267538
6	-21890	125404	-331969	339439	-174514	271551
7	-22218	127285	-336949	344531	-177131	275625
8	-22551	129194	-342003	349699	-179788	279759
9	-22890	131132	-347133	354944	-182485	283955
10	-23233	133099	-352340	360268	-185222	288215
11	-23581	135096	-357625	365672	-188001	292538
12	-23935	137122	-362990	371157	-190821	296926
13	-24294	139179	-368435	376725	-193683	301380
14	-24659	141267	-373961	382376	-196588	305900
15	-25028	143386	-379570	388111	-199537	310489

ROUTE MET NIEUWE BIOGASOPWAARDEERINSTALLATIE: CRYOGENE SCHEIDING – 2 M M³/Y

jaar	Glastuinbouw		Drinkwaterindustrie		Levensmiddelenindustrie	
	Uitgaven	Inkomsten	Uitgaven	Inkomsten	Uitgaven	Inkomsten
0	-566519	27986	-446421	53174	-446421	43294
1	-58291	55973	-149276	106347	-102180	86588
2	-59165	56812	-151516	107943	-103713	87886
3	-60053	57664	-153788	109562	-105269	89205
4	-60954	58529	-156095	111205	-106848	90543
5	-61868	59407	-158436	112873	-108451	91901
6	-62796	60298	-160813	114566	-110077	93279
7	-63738	61203	-163225	116285	-111728	94679
8	-64694	62121	-165674	118029	-113404	96099
9	-65664	63053	-168159	119799	-115105	97540
10	-66649	63999	-170681	121596	-116832	99003
11	-67649	64959	-173241	123420	-118584	100488
12	-68664	65933	-175840	125272	-120363	101996
13	-69694	66922	-178478	127151	-122169	103526
14	-70739	67926	-181155	129058	-124001	105079
15	-71800	68945	-183872	130994	-125861	106655

ROUTE MET NIEUWE BIOGASOPWAARDEERINSTALLATIE: CRYOGENE SCHEIDING – 5 M M³/Y

jaar	Glastuinbouw		Drinkwaterindustrie		Levensmiddelenindustrie	
	Uitgaven	Inkomsten	Uitgaven	Inkomsten	Uitgaven	Inkomsten
0	-925094	74769	-666078	146656	-666078	119212
1	-70848	149537	-295141	293312	-168469	238424
2	-71910	151780	-299568	297712	-170996	242001
3	-72989	154057	-304062	302178	-173561	245631
4	-74084	156368	-308623	306711	-176165	249315
5	-75195	158713	-313252	311311	-178807	253055
6	-76323	161094	-317951	315981	-181489	256851
7	-77468	163510	-322720	320721	-184211	260703
8	-78630	165963	-327561	325531	-186975	264614
9	-79809	168452	-332474	330414	-189779	268583
10	-81007	170979	-337461	335371	-192626	272612
11	-82222	173544	-342523	340401	-195515	276701
12	-83455	176147	-347661	345507	-198448	280852
13	-84707	178789	-352876	350690	-201425	285064
14	-85977	181471	-358169	355950	-204446	289340
15	-87267	184193	-363542	361289	-207513	293680

ROUTE MET NIEUWE BIOGASOPWAARDEERINSTALLATIE: MEMBRAANFILTRATIE – 2 M M³/Y

jaar	Glastuinbouw		Drinkwaterindustrie		Levensmiddelenindustrie	
	Uitgaven	Inkomsten	Uitgaven	Inkomsten	Uitgaven	Inkomsten
0	-895354	29913	-775256	58679	-775256	47698
1	-84357	59827	-184197	117359	-132229	95397
2	-85622	60724	-186960	119119	-134213	96828
3	-86907	61635	-189764	120906	-136226	98280
4	-88210	62559	-192611	122720	-138269	99754
5	-89533	63498	-195500	124560	-140343	101251
6	-90876	64450	-198433	126429	-142448	102769
7	-92240	65417	-201409	128325	-144585	104311
8	-93623	66398	-204430	130250	-146754	105876
9	-95027	67394	-207497	132204	-148955	107464
10	-96453	68405	-210609	134187	-151189	109076
11	-97900	69431	-213768	136200	-153457	110712
12	-99368	70473	-216975	138243	-155759	112373
13	-100859	71530	-220229	140316	-158096	114058
14	-102372	72603	-223533	142421	-160467	115769
15	-103907	73692	-226886	144557	-162874	117506

ROUTE MET NIEUWE BIOGASOPWAARDEERINSTALLATIE: MEMBRAANFILTRATIE – 5 M M³/Y

jaar	Glastuinbouw		Drinkwaterindustrie		Levensmiddelenindustrie	
	Uitgaven	Inkomsten	Uitgaven	Inkomsten	Uitgaven	Inkomsten
0	-1486879	80121	-1227863	161950	-1227863	131447
1	-117552	160243	-368201	323900	-226913	262894
2	-119315	162646	-373724	328759	-230317	266838
3	-121105	165086	-379330	333690	-233772	270840
4	-122921	167562	-385020	338695	-237278	274903
5	-124765	170076	-390796	343776	-240838	279026
6	-126637	172627	-396657	348932	-244450	283212
7	-128536	175216	-402607	354166	-248117	287460
8	-130464	177845	-408646	359479	-251839	291772
9	-132421	180512	-414776	364871	-255616	296148
10	-134408	183220	-420998	370344	-259451	300591
11	-136424	185968	-427313	375899	-263342	305099
12	-138470	188758	-433722	381538	-267292	309676
13	-140547	191589	-440228	387261	-271302	314321
14	-142655	194463	-446832	393070	-275371	319036
15	-144795	197380	-453534	398966	-279502	323821

ROUTE MET NIEUWE BIOGASOPWAARDEERINSTALLATIE: DRUKWISSELADSORPTIE – 2 M M³/Y

jaar	Glastuinbouw		Drinkwaterindustrie		Levensmiddelenindustrie	
	Uitgaven	Inkomsten	Uitgaven	Inkomsten	Uitgaven	Inkomsten
0	-1074604	29913	-954506	58679	-954506	47698
1	-131834	59827	-231674	117359	-179706	95397
2	-133811	60724	-235149	119119	-182401	96828
3	-135818	61635	-238676	120906	-185137	98280
4	-137855	62559	-242256	122720	-187914	99754
5	-139923	63498	-245890	124560	-190733	101251
6	-142022	64450	-249578	126429	-193594	102769
7	-144152	65417	-253322	128325	-196498	104311
8	-146315	66398	-257122	130250	-199446	105876
9	-148510	67394	-260979	132204	-202437	107464
10	-150737	68405	-264893	134187	-205474	109076
11	-152998	69431	-268867	136200	-208556	110712
12	-155293	70473	-272900	138243	-211684	112373
13	-157623	71530	-276993	140316	-214859	114058
14	-159987	72603	-281148	142421	-218082	115769
15	-162387	73692	-285365	144557	-221354	117506

ROUTE MET NIEUWE BIOGASOPWAARDEERINSTALLATIE: DRUKWISSELADSORPTIE – 5 M M³/Y

jaar	Glastuinbouw		Drinkwaterindustrie		Levensmiddelenindustrie	
	Uitgaven	Inkomsten	Uitgaven	Inkomsten	Uitgaven	Inkomsten
0	-1979816	80121	-1720800	161950	-1720800	131447
1	-162912	160243	-413562	323900	-272274	262894
2	-165356	162646	-419765	328759	-276358	266838
3	-167836	165086	-426062	333690	-280503	270840
4	-170354	167562	-432453	338695	-284711	274903
5	-172909	170076	-438939	343776	-288981	279026
6	-175503	172627	-445523	348932	-293316	283212
7	-178135	175216	-452206	354166	-297716	287460
8	-180807	177845	-458989	359479	-302182	291772
9	-183519	180512	-465874	364871	-306714	296148
10	-186272	183220	-472862	370344	-311315	300591
11	-189066	185968	-479955	375899	-315985	305099
12	-191902	188758	-487155	381538	-320725	309676
13	-194781	191589	-494462	387261	-325535	314321
14	-197702	194463	-501879	393070	-330418	319036
15	-200668	197380	-509407	398966	-335375	323821

ROUTE MET NIEUWE BIOGASOPWAARDEERINSTALLATIE: CHEMISCHE ABSORPTIE – 2 M M³/Y

jaar	Glastuinbouw		Drinkwaterindustrie		Levensmiddelenindustrie	
	Uitgaven	Inkomsten	Uitgaven	Inkomsten	Uitgaven	Inkomsten
0	-702660	33978	-864881	63641	-864881	51668
1	-41145	67956	-183512	127282	-126672	103335
2	-41762	68975	-186265	129191	-128572	104885
3	-42389	70010	-189059	131129	-130501	106458
4	-43025	71060	-191895	133096	-132458	108055
5	-43670	72126	-194773	135092	-134445	109676
6	-44325	73208	-197695	137119	-136462	111321
7	-44990	74306	-200660	139175	-138509	112991
8	-45665	75421	-203670	141263	-140586	114686
9	-46350	76552	-206725	143382	-142695	116406
10	-47045	77700	-209826	145533	-144835	118152
11	-47751	78866	-212973	147716	-147008	119925
12	-48467	80049	-216168	149932	-149213	121724
13	-49194	81249	-219410	152180	-151451	123549
14	-49932	82468	-222701	154463	-153723	125403
15	-50681	83705	-226042	156780	-156029	127284

ROUTE MET NIEUWE BIOGASOPWAARDEERINSTALLATIE: CHEMISCHE ABSORPTIE – 5 M M³/Y

jaar	Glastuinbouw		Drinkwaterindustrie		Levensmiddelenindustrie	
	Uitgaven	Inkomsten	Uitgaven	Inkomsten	Uitgaven	Inkomsten
0	-1468954	84945	-1631175	166979	-1631175	135471
1	-88832	169890	-376667	333959	-230507	270941
2	-90164	172438	-382316	338968	-233964	275006
3	-91517	175025	-388051	344053	-237474	279131
4	-92890	177650	-393872	349214	-241036	283318
5	-94283	180315	-399780	354452	-244651	287567
6	-95697	183020	-405777	359769	-248321	291881
7	-97133	185765	-411863	365165	-252046	296259
8	-98590	188552	-418041	370643	-255826	300703
9	-100068	191380	-424312	376202	-259664	305214
10	-101569	194251	-430677	381845	-263559	309792
11	-103093	197164	-437137	387573	-267512	314439
12	-104639	200122	-443694	393387	-271525	319155
13	-106209	203124	-450349	399287	-275598	323942
14	-107802	206171	-457105	405277	-279732	328802
15	-109419	209263	-463961	411356	-283928	333734

BIJLAGE 8

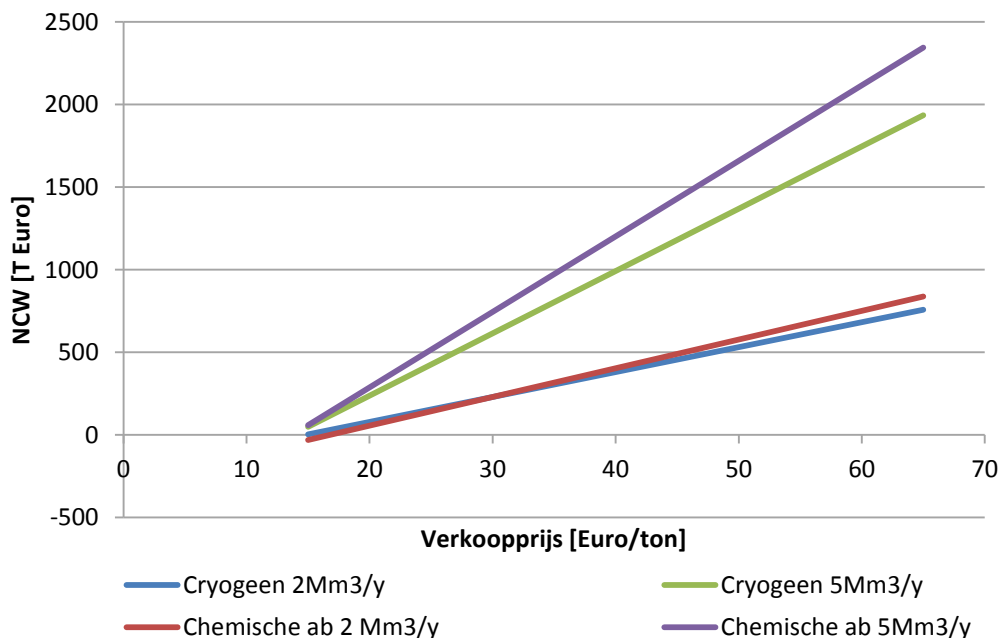
GEVOELIGHEIDSANALYSE FINANCIËLE EVALUATIE

In deze bijlage zijn de resultaten van de gevoeligheidsanalyse van de financiële evaluatie weergegeven.

CO₂ VERKOOPPRIJS

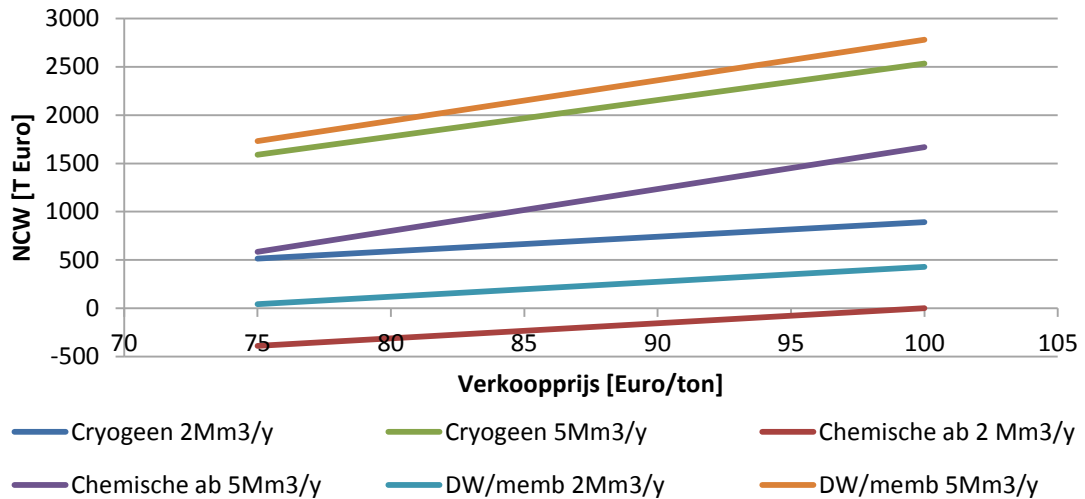
In Figuur 15 is het verloop van de netto contante waarde (NCW) weergegeven bij een oplopende CO₂ verkoopprijs in geval van gridinjectie. In paragraaf 5.1 is € 35/ton gehanteerd. De NCW is weergegeven voor beide gasdebieten en voor zowel een cryogene als chemische absorptie biogasopwaardeerinstallatie. Duidelijk blijkt dat vanaf een verkoopprijs van € 15/ton een kleinschalige installatie met cryogene technologie of chemische absorptie een positieve NCW laat zien. De NCW van de installaties blijkt sterk afhankelijk te zijn van de CO₂ verkoopprijs. Indien maar 50% van de tijd CO₂ kan worden afgenomen (met andere woorden: de inkomsten halveren), is het maar de vraag of gridinjectie een positieve business-case oplevert. Schaalvoordelen spelen bij die prijs geen grote rol meer.

FIGUUR 15 VERLOOP NCW MET STIJGENDE VERKOOPPRIJS CO₂ VOOR 2 GASDEBIETEN BIJ CHEMISCHE ABSORPTIE EN CRYOGENE ZUIVERING



In Figuur 16 is het verloop van de NCW gegeven voor een oplopende prijs indien geleverd wordt aan de levensmiddelenindustrie. De referentieprijs is € 80/ton. De NCW laat een minder sterke afhankelijkheid van de verkoopprijs zien dan dat voor grid injectie het geval is. Een hogere verkoopprijs zorgt er niet voor dat de NCW van een bepaald systeem positief dan wel negatief wordt.

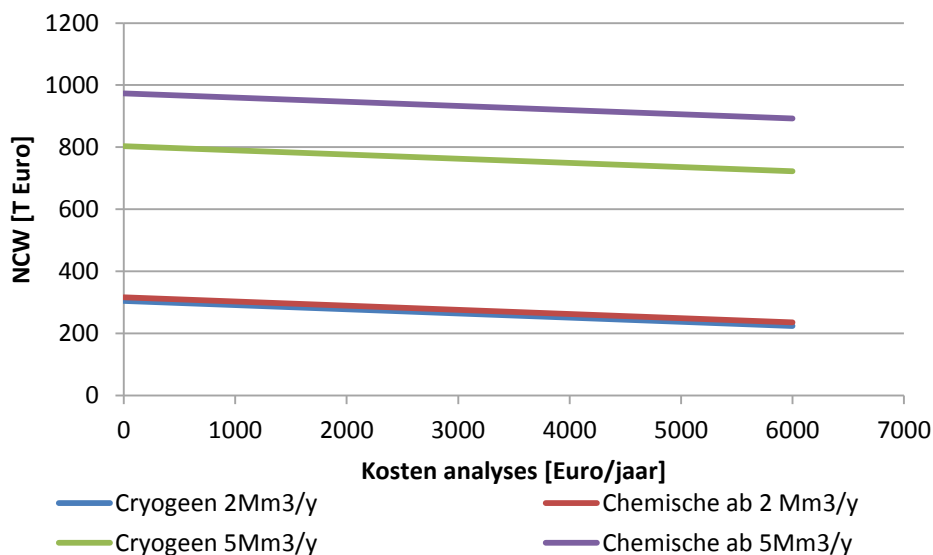
FIGUUR 16 NCW VERLOOP BIJ OPLOPENDE VERKOOPPRIJS AAN LEVENSMIDDELENINDUSTRIE



KOSTEN ANALYSES

Het is erg lastig een kostenpost te kwantificeren voor kwaliteitscontrole van het CO₂ gas indien het aan het grid geleverd werd. Een waarde van €1000/jr is aangenomen.

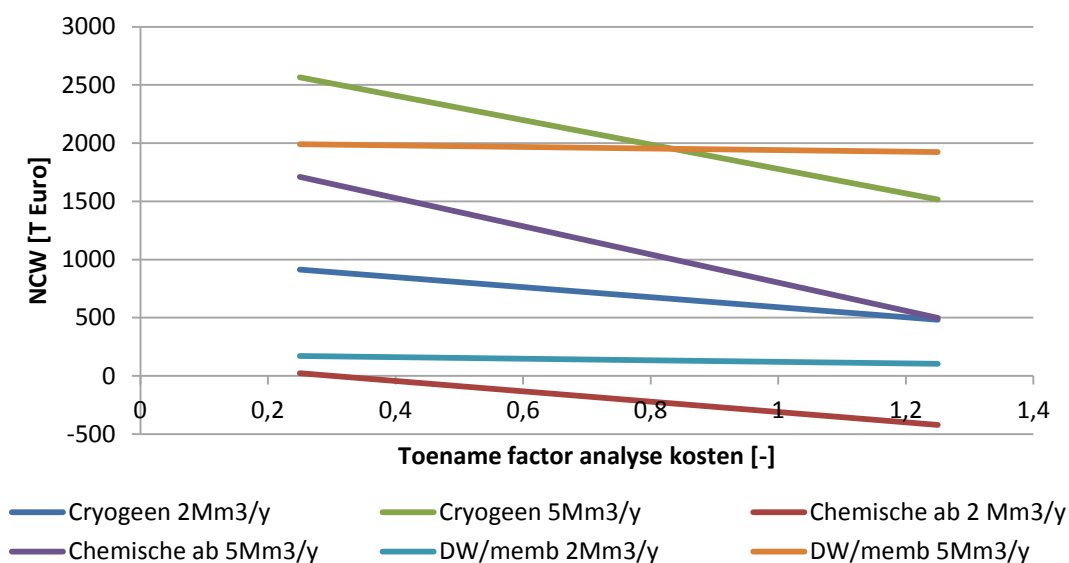
In Figuur 17 is het verloop van de NCW getoond voor de cryogene en chemische absorptie systemen waarbij het gas geïnjecteerd wordt in het grid. Ter referentie: in geval van levering aan de levensmiddelenindustrie bedragen de kosten voor analyses € 30.000/y – € 74.000/y. Omdat voor de glastuinbouw echter minder strikte normen gelden, zijn bedragen van deze hoogte niet relevant geacht. De NCW van de verschillende systemen laten een lichte daling zien als gevolg van de kosten van analyses. Merk op dat de business-case van gridinjectie erg afhankelijk is van de verkoopprijs (Figuur 15). Hoge kosten voor analysering van het gas kan resulteren in negatieve resultaten.

FIGUUR 17 NCW VOOR SYSTEMEN MET GRIDINJECTIE MET VARIËRENDE KOSTEN VOOR DE CO₂ KWALITEITSMETINGEN

De kosten voor gasanalyses zijn hoog te noemen voor levering aan de drinkwater en levensmiddelen industrie (zie paragraaf 6.1). Het is aannemelijk dat na verloop van tijd blijkt dat bepaalde componenten structureel niet in het CO₂ gas aanwezig zijn. Als gevolg zullen deze componenten niet of minder frequent gemeten worden. Mogelijk is het ook niet noodzakelijk om elke volle tank te analyseren. Er zijn dus mogelijkheden om het bemonsteringsprogramma te verkleinen en/of minder vaak uit te voeren. Dit heeft significante gevolgen voor de kosten van het programma.

In Figuur 18 is het verloop van de NCW weergegeven indien geleverd wordt aan de levensmiddelenindustrie met variërende kosten (0,25-1,25 maal de referentie waarde). Duidelijk blijkt dat indien drukwisseladsorptie/membraanfiltratie wordt toegepast, de analyse kosten de NCW vrijwel niet beïnvloeden. Een cryogene of chemische absorptie biogasopwaardeerinstallaties kunnen echter significant aan rendement winnen wanneer de kosten voor analysering halveren.

FIGUUR 18 NCW VERLOOP BIJ VARIËRENDE KOSTEN VOOR ANALYSES IN GEVAL VAN LEVERING AAN DE LEVENSMIDDELENINDUSTRIE



BIJLAGE 9

GER-WAARDE BEREKENING CO₂ PRODUCTIE

Op basis van de verstrekte gegevens over de RWZI van Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier te Beverwijk en informatie over het proces om uit biogas CO₂ te produceren is een quickscan/berekening om de GER-waarden (Gross Energy Requirement) te van de productie van CO₂ uit biogas te bepalen. Doel hiervan is om een uitspraak te kunnen doen over de efficiëntie van de productiemethode die in Beverwijk gehanteerd wordt. De volgende productieprocessen zijn meegenomen in de berekening:

- Gangbare CO₂-productie door middel van wassen CO₂ uit afgassen van productieproces ammoniak met 15-20% monoethanolamine (chemische absorptie), gevolgd door zuivering en liquefactie.
- Productie van CO₂ uit RWZI-biogas door middel van membraantechnologie (methode Beverwijk).

Een derde productiemethode (CO₂-productie door middel van winning CO₂ uit verbrandingsgassen WKK installatie gevoed door RWZI-biogas) is in de vergelijking niet meegenomen vanwege het gebrek aan bruikbare gegevens.

In de onderstaande tabel zijn de doorgerekende scenario's weergegeven.

TABEL 24

SCENARIO'S CO₂ PRODUCTIE

Scenario	Sector	Productvorm	Transportafstand enkele reis [km]
1a	Glastuinbouw	Gasvormig	7
1b	Glastuinbouw	Vloeibaar	7
2	Drinkwatersector	Vloeibaar	25
3	Koel- en vrieshuizen	Vloeibaar	0
4	Voedingsmiddelenindustrie	Vloeibaar	7
5	Gassenleveranciers	Vloeibaar	50

UITGANGSPUNTEN EN BEPERKINGEN KENTALEN GANGBARE CO₂-PRODUCTIE

Als kental voor de GER-waarde van CO₂ is gebruik gemaakt van de gegevens van de dataset EcoInvent V2.0 uit het LCA-programma SimaPro. Gekozen product is 'carbon dioxide liquid, at plant/RER'. Van deze kentallen wordt ook gebruik gemaakt in het STOWA rapport 'GER-waarden en milieu-impactscores productie van hulpstoffen in de waterketen'. In de systeem-beschrijving van EcoInvent is zowel het productieproces als de gehanteerde uitgangspunten hierbij beschreven.

- De productspecificaties komen overeen met de beoogde specificaties in Beverwijk; het product is geschikt voor gebruik als beschermend middel voor voedselindustrie, ter bevordering van plantengroei (kassen) en als koelmiddel.
- Er wordt uitgegaan van CO₂ in vloeibare vorm. Voor CO₂-productie in gasvorm zijn geen kentallen beschikbaar. Dit betekent dat het scenario met levering aan de glastuinbouw onder gasvormige condities niet vergeleken kan worden.
- Productieproces: er wordt uitgegaan van het wassen van CO₂ dat als reststof overblijft na ammoniakproductie. Hierbij wordt gebruik gemaakt van een oplossing van 15-20% monoethanolamine. Dit is een relatief ouderwets proces om CO₂ te produceren, tegenwoordig wordt ook vaak gebruik gemaakt van processen met behulp van natriumcarbonaat (soda), kaliumcarbonaat of alkanolamine. Hierover ontbreken echter gegevens in de LCA database.
- De productie van ammoniak wordt niet meegenomen in de berekening
- Transport. Er is gebruik gemaakt van kleine transportafstanden, aangenomen wordt dat de CO₂-productie en liquefactie zich dicht bij elkaar bevinden, dit is vergelijkbaar met de situatie in Beverwijk.
- De gegevens zijn samengesteld uit verschillende onderdelen, onder andere infrastructuur. Omdat deze gegevens voor de situatie in Beverwijk niet beschikbaar zijn, is dit onderdeel handmatig uit de SimaPro berekening verwijderd ten behoeve van de vergelijkbaarheid van de twee situaties.

UITGANGSPUNTEN EN BEPERKINGEN KENTALLEN CO₂-PRODUCTIE UIT RWZI-BIOGAS

Voor de CO₂ productie van biogas op Beverwijk worden de volgende uitgangspunten gehanteerd:

- Bij de berekening wordt uitgegaan van CO₂-productie door middel van membraantechnologie, zoals beschreven in van Bergeijk (2011).
- Het systeem wordt begrensd door de scheiding van biogas en CO₂ door middel van membraantechnologie. GER-waarden voor de productie van biogas/groengas en rioolwaterzuivering worden niet gealloceerd aan de productie van CO₂.
- Bij de membraantechnologie worden geen additionele chemicaliën of andere hulpstoffen gebruikt voor de CO₂-productie.
- Het scenario 1a met gasvormige levering aan de glastuinbouw is niet berekend in verband met het ontbreken van standaard kentallen voor gasvormige CO₂. Alleen vloeibare CO₂-productie is meegenomen.
- Er zijn geen wezenlijke fysieke verschillen in de verschillende leveranciers, anders dan certificaten/kwaliteitseisen van afnemers. Het verschil in GER-waarde tussen de scenario's wordt voornamelijk bepaald door de transportafstanden.
- Transportafstanden: Er is uitgegaan van de transportafstanden naar mogelijke afnemers zoals beschreven in het rapport van BioGast. Uitgegaan is van heen- en terugreis (leeg-vol). Hierbij is een aanname gemaakt voor de afstand op basis van de reistijd ten behoeve van de berekening van tonkilometers. Afstanden (enkele reis) bedragen respectievelijk 7, 25, 0, 7 kilometer voor scenario 1a tot en met 4. Voor scenario 5 is een schatting gemaakt van 50 kilometer.
- Transportmiddel: Er wordt gebruik gemaakt van gemiddeld zwaar vrachtvervoer op basis EcoInvent 'Transport, lorry 16-32t, EURO3-5/tkm/RER' met een GER-waarde van 2,87 MJ/tonkm.

- Er is geen informatie over infrastructuur beschikbaar, deze is niet opgenomen in de berekening.
- Elektriciteitsverbruik wordt berekend door middel van de Nederlandse elektriciteitsmix (EcoInvent: Electricity, low voltage, production NL, at grid/NL) met een GER-waarde van 11,9 MJ/KWh (cijfer 2011). Ondanks dat Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier gebruik maakt van eigen opgewekte elektriciteit door middel van restwarmte geldt dit niet als hernieuwbare energie omdat uitgegaan kan worden dat de extra benodigde energie (die niet meer aan het net wordt geleverd) wordt vervangen door de NL-mix elektriciteit.

RESULTATEN EN INTERPRETATIE

In onderstaande tabel zijn de GER-waarden voor de situatie in Beverwijk en de kentallen voor de productie van CO₂ weergegeven in MJ per geproduceerde kilo vloeibaar CO₂.

TABEL 25

RESULTATEN GER WAARDE BEREKENING ARCADIS

CO ₂ -productie	GER-waarde (MJ/kg vloeibaar CO ₂)
Kental CO ₂ -productie standaardmethode	10,9
Kental CO ₂ -productie standaardmethode, aangepast (exclusief infrastructuur)	10,0
Scenario 1a (gasvormig)	N.v.t.
Scenario 1b (vloeibaar)	1,63
Scenario 2	1,72
Scenario 3	1,60
Scenario 4	1,63
Scenario 5	1,85

Te zien is dat voor alle scenario's in Beverwijk (1b t/m 5) de GER-waarden voor de productie van vloeibaar CO₂ significant lager zijn dan voor de standaard kentallen voor CO₂-productie. Dit is grotendeels te danken aan het beperkte bewerkingsproces dat in Beverwijk toegepast moet worden. In tegenstelling tot het productieproces met behulp van monoethanolamine is in Beverwijk alleen extra elektriciteit benodigd om de CO₂ te winnen, omdat CO₂ onderdeel van het biogas is. Er hoeven geen chemicaliën, water of hitte ingezet te worden om chemische reacties te veroorzaken, die bij de methode met monoethanolamine een groot deel van de GER-waarde bepalen.

REVIEW DOOR CE DELFT

CE Delft heeft een review uitgevoerd van op de berekeningen (quick scan) van de GER-waarden uitgevoerd door ARCADIS. Hierbij heeft CE Delft specifiek aandacht besteedt aan de gehanteerde achtergrondgegevens en (de totstandkoming van) de resultaten. Op basis van de review van gegevens en reconstructie van de opgeleverde GER-waarden wordt het volgende geconcludeerd:

- 1 Uit de reconstructie van de GER-waardenberekeningen blijkt dat de energie benodigd voor extra koeling mist in de GER-waarden voor vloeibaar CO₂ geproduceerd bij HHNK. De gerapporteerde GER-waarden zijn zodoende te laag en dienen te worden aangepast met energie voor koeling inbegrepen.
- 2 De berekening van energie benodigd voor transport lijkt niet helemaal te kloppen. Althans, met de methode die CE Delft zou hanteren wordt een iets lager resultaat verkregen. Er kan echter niet worden nagegaan hoe de GER-waarde voor transport precies is berekend door ARCADIS.
- 3 GER-waarden van grondstoffen/materialen/producten worden doorgaans weergegeven van 'cradle-to-gate', dus tot en met productiefase. De GER-waarde van transport naar de afnemer staat ons inziens los van de GER-waarde van productie van grondstof en we zouden voorstellen dat deze los van de GER-waarde van productie wordt gepresenteerd.
- 4 De berekening van CO₂-productie volgens de standaardmethode is in orde. Als kanttekening plaatsen we dat de GER-waardenberekening zonder infrastructuur uitgevoerd kan worden met de optie 'exclude infrastructure processes' aangevinkt. Dit levert echter een verschil van 1% op, dus is niet noodzakelijk.
- 5 Op basis van de memo van ARCADIS alleen is het niet mogelijk om te achterhalen hoe de GER-waarden tot stand zijn gekomen. Berekeningen worden niet weergegeven en ook worden niet alle achtergronddata, aannames en uitgangspunten die aan de berekeningen ten grondslag liggen weergegeven. Op basis van beide rapporten is het ten dele gelukt om de aanpak en GER-waarden van ARCADIS te verklaren.

BIJLAGE 10

TOEPASSING OP RWZI BEVERWIJK

Op RWZI Beverwijk wordt al geruime tijd al het biogas opgewerkt naar aardgaskwaliteit. Er is een slibdrooginstallatie aanwezig, waarbij afvalwarmte vanuit deze installatie wordt ingezet om onder meer de gisting op temperatuur te houden. Hierdoor is het inzetten van biogas voor verwarming niet meer nodig en kan het worden verrijkt om ingezet te worden in het aardgasnet.

Het aangevoerde Biogas wordt door een actievekoolfilter geleid om het te ontdoen van vervuilingen zoals H₂S en siloxanen. Hierna wordt het gecomprimeerd tot 8 bar en door een dubbel membraan gevoerd. Hierbij wordt er 2 keer ~99% van het methaan gescheiden van het koolstofdioxide, de 2^{de} stap is dus nodig om tot een hoog methaan gehalte te komen. De andere hoofd component; het koolstofdioxide; wordt afgescheiden deze stroom bevat nog ongeveer 10% methaan. Om deze restfractie te verwijderen wordt het CO₂ onder druk (25 bar) afgekoeld tot -25°C waardoor het CO₂ vervloeit maar het methaan gasvormig blijft.

De situatie op Beverwijk is dus te beschrijven als een scenario zonder WKK maar met cryogene scheiding. Dit scenario is die met de hoogst positieve netto contante waarde. Afzet naar de glastuinbouw is financieel aantrekkelijk, de drinkwatermarkt of levensmiddelen industrie bieden nog grotere financiële voordelen. Het is echter de vraag of op lange termijn voldaan kan worden aan de kwaliteitseisen van deze industrieën. Deze resultaten zijn in redelijke overeenstemming met de resultaten van van Bergeijk (2011).

