CO_2 uit biomassa

Quick scan (update)

Juni 2013

Uitgevoerd door:

In opdracht van:

Sander Peeters

Allan Hart

Stijn Schlatmann

Tel.: 030 – 6911844

Fax.: 030 – 6911765

Projectnummer: 11.490

www.energymatters.nl

Dennis Medema

Jan Smits

Productschap Tuinbouw

Tel.: 079 – 3470416

SAMENVATTING EN CONCLUSIES

Deze Quick scan 'CO_2 uit biomassa' is vanuit het programma Kas als Energiebron opgesteld in opdracht van Productschap Tuinbouw en het Ministerie van EL&I. De Quick scan is opgesteld vanuit het perspectief van de CO_2-behoevende glastuinder. CO_2 winning uit biomassa is voor de glastuinbouw een interessante ontwikkeling. Daarnaast kan de levering van zuivere CO_2 de rentabiliteit verbeteren van een duurzame energie-installatie. Ook kan het aardgasverbruik voor CO_2 productie voor de tuinder teruggedrongen worden. Groene CO_2 wordt op dit moment gewonnen uit groengas productie, uit rookgas van een biogas- of hout-gestookte installatie en bij de productie van bioethanol. Nederland kent veel duurzame energieprojecten, desondanks zijn er slechts drie projecten met groene CO_2 winning in Nederland bekend: VinkSion, Abengoa en EcoFuels. Op dit moment levert Abengoa via OCAP aan de glastuinbouw. Wel worden op dit moment verschillende projecten met groene CO_2 levering aan de glastuinbouw vanuit groengasinstallaties overwogen.

Potentie biomassa/ groene CO_2

In Nederland is potentieel 1,5 Mton/jaar groene CO_2 uit biomassa beschikbaar voor de glastuinbouw. De totale vraag van de glastuinbouw ligt tussen de 2,6 en de 6,3 Mton/jaar. Uitgaande van de beschikbare biomassa kan theoretisch ongeveer 20% van de tuinders worden aangesloten op de CO_2 levering uit een biogasinstallatie en theoretisch nog eens ongeveer 20% van de tuinders op de CO_2 levering van houtkachels.

Kwaliteit groene CO_2

De risicogrenswaarden op kas-niveau zijn in het onderzoek dat Productschap Tuinbouw vanuit het programma Kas als Energiebron heeft laten uitvoeren leidend. De risicogrenswaarden zijn door Wageningen UR vastgesteld en zijn respectievelijk 40 ppb NO_x en 11 ppb C_2H_4 (etheen)[14, 15, 16]. Deze risicogrenswaarden, welke aangehaald worden in het AirQ-onderzoek, gelden voor alle gewassen bij continue blootstelling. Bij discontinue blootstelling liggen de grenswaarden anders [16]. Grenswaarde op bron-niveau, gemeten net achter de WKK, zeggen niets over de CO_2-kwaliteit in de kas die uiteindelijk bepalend is voor het gewas. De CO_2 dosering in de kas is vaak een discontinu proces om het CO_2 niveau in de kas gelijkmatig te houden. Hierin zijn beluchten, luchtbewegingen in de kas en ook buitenluchtconcentraties voor een belangrijk deel bepalend voor de CO_2-kwaliteit in de kas. De risicogrenswaarde op kas-niveau voor H_2S liggen op respectievelijk 180 ppb (acute blootstelling) en 10 ppb (chronische blootstelling). Hoe dan ook, uitgebreide chemische analyse en continue controle van de kwaliteit van de geproduceerde CO_2 uit de bron en de CO_2 op kasniveau dient plaats te vinden om te allen tijde gewasschade te voorkomen.

Technologie groene CO_2-winning

Uit de Quick scan blijkt dat de gaswas-technologie, op basis van een solvent in combinatie met een absorptie- en regeneratietoren, welke gebruikt wordt voor CO_2 winning uit het rookgas van houtstook robuust is. De techniek heeft zich namelijk bewezen bij SunSelect te Canada. De hoeveelheid en kwaliteit groene CO_2 voldoet, gezien dezelfde teeltresultaten bereikt zijn, ten opzichte van de referentiesituatie. Ook CO_2 winning uit groengas, op basis van de combinatie van actief kool, membraan en CO_2 vervloeien, is een robuuste en bewezen techniek. De bij EcoFuels geproduceerde CO_2 voldoet zelfs aan de food grade-norm (99,9% CO_2). Het behalen van de juiste CO_2 kwaliteit uit het rookgas van een biogas-WKK, op basis van een combinatie van reiniging van het biogas middels ijzerchloride, biogasdroger, actief koolfilter en reiniging van het rookgas middels deNO_x en OxyCat, is mogelijk mits een constante kwaliteit van het biogas en rookgas gewaarborgd is. Dit laatste is in de praktijk een uitdaging gebleken.

Afbakening fossiele CO_2- en groene CO_2-concepten en kosten

Omdat het hier gaat om een Quick scan zijn een beperkt aantal CO_2-concepten meegenomen. Uitgegaan is van de volgende fossiele CO_2 concepten:

- CO_2 uit het rookgas van een aardgas-WKK (2 MWe); bij 100% warmtebenutting en 100% warmtevernietiging, inclusief rente en afschrijving voor rookgasreiniging, slechts 50% van de investeringskosten in de rookgasreiniging wordt toegerekend aan CO_2 reiniging voor dosering in de kas, ureum en onderhoud, exclusief investeringskosten WKK;
- Ketelinstallatie (2 MWth); bij 100% warmtebenutting en 100% warmtevernietiging, exclusief investeringskosten ketel;
- OCAP; levering door OCAP, inclusief aansluitkosten voor verschillende afstanden en afname capaciteit;
- Vloeibaar CO_2; levering vloeibaar CO_2, inclusief CO_2-tankhuur en verdamper bij de tuinder.

Uitgegaan is van de volgende groene CO_2 concepten:

- GFT-vergister, 60 kton/jaar GFT en 100 Nm^3 biogas/ton GFT met CO_2 uit de groengas-installatie met 4 en 8 km CO_2 leiding. CO_2 winning vindt plaats op basis van een combinatie van actief kool, membraan en CO_2 vervloeien. 60% van de beschikbare CO_2 wordt rechtstreeks geleverd, dus zonder buffer, de rest wordt gasvormig afgeblazen;
- GFT-vergister, 60 kton/jaar GFT en 100 Nm^3 biogas/ton GFT met CO_2 uit de groengas-installatie met 50 tons CO_2 buffer, CO_2 transport over de weg over 50 en 150 km en CO_2 tankhuur bij de tuinder. CO_2 winning vindt plaats op basis van een combinatie van actief kool, membraan en CO_2 vervloeien. 60% van de beschikbare CO_2 wordt geleverd, de rest wordt afgeblazen;
- Covergister met 2 MWe biogas-WKK met CO_2 uit de rookgasreinigings-installatie, bij 100% warmtebenutting, met 100 meter en 1 km biogasleiding. Biogasreiniging vindt plaats op basis van een combinatie van ijzerchloride, biogasdroger, actief koolfilter en rookgasreiniging op basis van deNO_x en OxyCat, 50% van de beschikbare CO_2 wordt geleverd. Deze techniek is echter nog niet robuust;

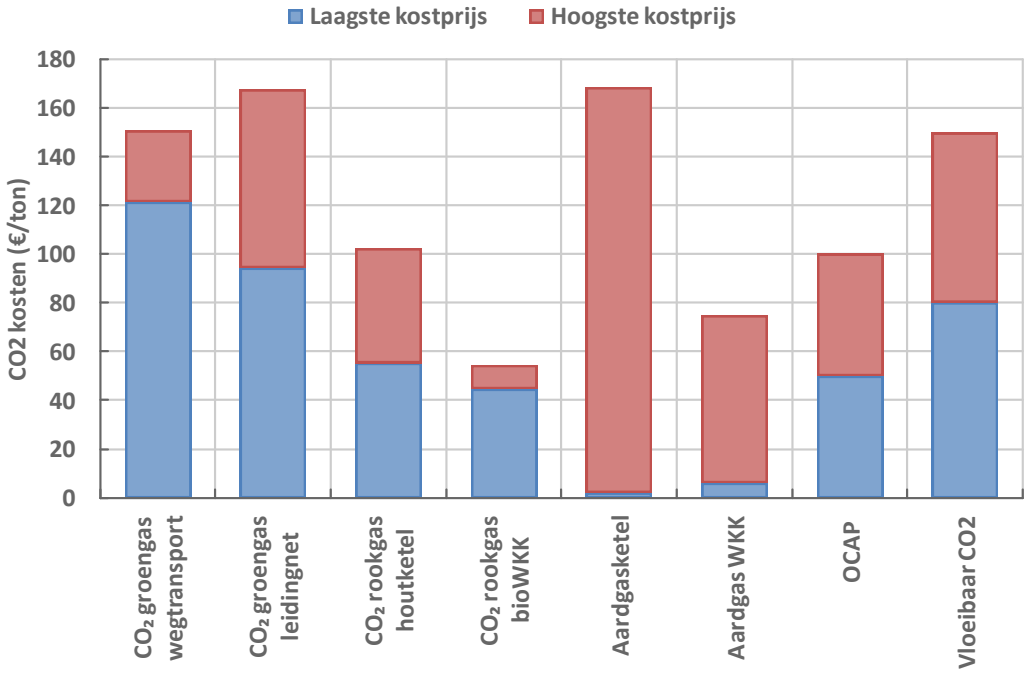
- 500 kWth en 4 MWth houtketel met CO_2 uit rookgasreinigings-installatie, bij 100% warmtebenutting waarvan 30% van de warmte wordt benut voor CO_2 uitdampen, met 100 meter CO_2 leiding. CO_2 winning op basis van een combinatie van gaswas-technologie met stabiele solvent, absorptie- en regeneratietoren, restwarmte recuperatie en CO_2 buffering in 50 tons solvent tank. De 500 kWth houtketel is in figuur A echter achterwegen gelaten daar de CO_2 kosten vanaf 164 €/ton uit de pas lopen.

Verder zijn in Appendix V aanvullende uitgangspunten opgenomen.

Kosten fossiele en groene CO_2

De getoonde CO_2-kosten in figuur A zijn nadrukkelijk een indicatie en gebaseerd op voorgaande afbakening. Een specifieke technische- en economische haalbaarheidsstudie op locatie biedt meer zekerheid. De CO_2-kosten zijn gebaseerd op een optimale integratie van add-on technieken. De CO_2 kosten zijn dan ook niet integraal berekend maar partieel in kosten per kg CO_2. Dat wil zeggen dat alleen de extra kosten in beschouwing zijn genomen die nodig zijn voor de productie en levering van CO_2 voor bemesting. Daarnaast is de kostprijs afhankelijk van de hoeveelheid en kwaliteit van de CO_2 die geproduceerd c.q. geleverd wordt. De verschillende CO_2 concepten leveren verschillende kwaliteiten en hoeveelheden CO_2. Zo levert een ketel per eenheid warmteproductie minder CO_2 (kg/GJ) dan een WKK-installatie. Ten tweede bestaan er in de glastuinbouw grote verschillen in CO_2 behoefte. Ook worden veelal combinaties van verschillende CO_2 bronnen gebruikt. Uiteraard heeft dit invloed op de CO_2-prijs van CO_2-winning en levering. Deze factoren zijn echter niet meegenomen in de berekeningen. De invloed van kosten voor opslag, wegtransport, leiding zijn groot op de totale kosten. In deze Quick scan zijn enkele standaard afstanden meegenomen. De resultaten van de indicatieve kostenberekening zijn weergegeven in de grafiek op de volgende pagina.

Uitgaande van de beschreven concepten liggen de kosten voor CO_2 uit het rookgas van een 4 MWth tussen de 55 en 102 €/ton. Daarmee kan CO_2 uit het rookgas van een grote houtketel een interessant alternatief zijn voor vloeibare CO_2-inkoop en OCAP-CO_2. De CO_2-kosten voor CO_2 uit groengas op basis van een GFT-vergister met 4 en 8 km CO_2 leiding of transport over de weg concurreren slechts deels met vloeibare CO_2. Van een biogas-WKK op basis van een drijfmestvergister met 100 m en 1 km CO_2 leiding liggen de minimale groene CO_2-kosten het laagst met 45 €/ton. Echter bij het uitblijven van verbeterde, lees robuuste reinigingstechnieken, blijft deze techniek van CO_2 winning risicovol.



Figuur A – Indicatie van laagste- en hoogste kosten van groene CO_2 ten opzichte van verschillende CO_2 referentiekosten. Bandbreedte:

1. *CO_2 groengas wegtransport; 50 en 150 km;*
2. *CO_2 groengas leidingnet; 4 en 8 km;*
3. *CO_2 rookgas houtketel; 4 MWth, 100% warmtebenutting/ warmtevernietiging;*
4. *CO_2 rookgas biogas-WKK; 0,1 en 1 km;*
5. *CO_2 uit rookgas aardgasketel; 100% warmtebenutting/ warmtevernietiging;*
6. *CO_2 uit rookgas aardgas-WKK; 100% warmtebenutting/ warmtevernietiging;*
7. *CO_2 van OCAP; gemiddelde minimale en maximale afstand aansluitleiding en capaciteit;*
8. *CO_2 vloeibaar; gemiddelde minimale en maximale leveringsafstand en capaciteit.*

Inpassing en logistiek

De warmtebehoefte van het gewas loopt niet gelijktijdig met de CO_2-behoefte. Voor een verbeterd rendement is warmte en/of CO_2 buffering wenselijk maar kostbaar. Wanneer de CO_2 bij groengas-installaties in vloeibare vorm vrijkomt, volstaat een kleinere leidingdiameter dan voor gasvormig CO_2 en is daarmee in potentie goedkoper maar door de huidige wet- en regelgeving lastig te realiseren. Ook zijn er binnen de glastuinbouw nog geen voorbeelden van een dergelijk project. Bij gasvormig CO_2 is de reikwijdte van een leiding qua kosten beperkt tot 6 à 7 km. Daarboven is CO_2 levering via de weg met een afstand van 50 km en 150 km tussen de transporteur en groengas-installatie voordeliger maar zijn de kosten dusdanig hoog dat de CO_2-prijs van een WKK of gasketel zonder warmte benuttig in veel gevallen voordeliger is.

Zie Tabel A op de volgende pagina voor een vergelijking van CO_2 transport per leiding vs. wegtransport.

Vergelijking	Eénheid	Optie 1	Optie 2	Optie 3
CO_2 fase	-	CO_2 gasvorming	CO_2 gasvorming	CO_2 vloeibaar
Transport	-	4 km leiding	8 km leiding	100 km transport
Levering CO_2 (60% CO2 nuttig gebruikt)	ton/jaar	2121	2121	2018
Opmerking	-	*60% nuttig gebruikt*		
Extra investering totaal				
groter gebouw voor koeler	€			€ 25.000
installatie, koeler en 50 m3 buffer	€	€ 110.000	€ 110.000	€ 220.000
vloer, fundatie	€	€ 15.000	€ 15.000	€ 50.000
afsluitprovisie financiering	€	*inbegrepen in rentevoet*		€ 1.446
engineering begeleiding bouw	€			€ 25.000
extra leges	€	1%	1%	€ 2.000
SUBTOTAAL	€	**€ 126.250**	**€ 126.250**	**€ 323.446**
Kapitaalkosten extra investering				
Afschrijfperiode	jaar	10	10	10
rente	%/jaar	7%	7%	6,5%
SUBTOTAAL	€/jaar	€ 17.975	€ 17.975	€ 42.857
Extra overhead kosten				
gebruik terrein	m2	200	200	
kosten terrein (huur)	€/m2.jaar	10	10	
kosten terrein (huur)	€/jaar	€ 2.000	€ 2.000	
verzekering	%	2%	2%	
verzekering	€/jaar	€ 2.525	€ 2.525	€ 6.469
SUBTOTAAL	€/jaar	€ 4.525	€ 4.525	€ 8.469
Extra onderhoudskosten	%/jaar	4%	4%	2%
totaal	€/jaar	€ 5.050	€ 5.050	€ 6.469
Extra elektriciteitskosten				
extra elektriciteitskosten	MWh/jaar	238	238	360
prijs elektriciteit (all in)	€/MWh	€ 100	€ 100	€ 75
SUBTOTAAL	€/jaar	€ 23.750	€ 23.750	€ 27.000
Extra arbeidskosten				
Extra arbeid	fte/jaar	0,1	0,1	0,25
prijs arbeid	€/fte	€ 50.000	€ 50.000	€ 50.000
totaal	€/jaar	€ 5.000	€ 5.000	€ 12.500
Kwalikteitscontrole/ metingen				
Per vracht				€ 350
SUBTOTAAL	€/jaar	€ 5.000	€ 5.000	€ 35.315
Transport per leiding				
afstand	km	4	8	
investering	€	€ 1.092.000	€ 2.184.000	
kapitaalkosten	€/jaar	€ 155.476	€ 310.952	
Transport per weg				
afstand	km			<150
Kosten	€/jaar			€ 65.571
	€/jaar	€ 216.776	€ 372.253	€ 198.181
Totaal extra kosten	€/ton	**€ 102**	**€ 176**	**€ 98**

Tabel A – vergelijking leiding- vs. wegtransport van CO_2; bij wegtransport is de tankhuur bij de tuinder (20 €/ton CO_2 extra) in deze tabel niet meegenomen. Bij leidingtransport is géén 50 m^3 buffer meegenomen.

Stimuleringsmaatregelen

CO_2-winning en levering wordt gestimuleerd met de EIA 2013 regeling. De regeling geeft een effectieve korting op de investeringskosten van 11%. Voor het berekenen van de CO_2-prijzen is EIA meegenomen.

Vervolgstappen

CO_2 uit groengas; op basis van robuustheid en CO_2-kwaliteit is dit een bewezen techniek. I.r.t. de leidinglengte lopen de CO_2 kosten echter snel op. Afstanden tot 4 km kunnen echter zeker interessant zijn om te worden onderworpen aan een specifieke technische en economische haalbaarheidsstudie. Een geografische inventarisatie van operationele en voorziene groengas-projecten gelegen in de nabijheid van CO_2-behoevend glastuinbouwgebied kan daarbij helpen. Hiervoor kan de 'Kansenkaart' van Stichting Groen Gas Nederland en de referenties van leveranciers van groengas-installaties gebruikt worden.

CO_2 uit rookgas biogas-WKK; CO_2 uit het rookgas van een biogas-WKK is economisch gezien interessant. Echter bij het uitblijven van verbeterde, lees robuuste reinigingstechnieken, blijft deze techniek van CO_2 winning risicovol. Om vooruitgang te boeken kan met een geïnteresseerde tuinder en/of eigenaar van een biogas-WKK en leverancier van rookgasreinigings-technieken en CO_2-kwaliteitsmetingen onderzoeken of het organiseren van een Pilot alsnog zinvol is.

CO_2 uit rookgas houtstook; CO_2 winning uit het rookgas van een grote (>4 MWth) houtketel is op basis van robuustheid, kosten en CO_2-kwaliteit een interessant alternatief voor vloeibare CO_2-inkoop en in sommige gevallen zelfs voor OCAP-CO_2. Op dit moment hebben slechts twee tuinders met grote houtketel een CO_2-behoefte. Het opschalen van de bestaande CO_2 win Pilot vergt een niet wenselijke hoge investering in een extra warmtebron. I.s.m. leveranciers van gaswas-technologie kan alsnog onderzocht worden hoe groot de onrendabele top is voor het opschalen van de huidige CO_2-win-Pilot tot een volwaardig CO_2-win-systeem. Op basis hiervan kan bekeken worden of een extra subsidie het realiseren van een volwaardige CO_2-win-installatie voor deze tuinder alsnog interessant maakt. Bij het andere houtstook initiatief, bestaande uit twee partner-tuinders met CO_2-behoefte, is bij de investering in de houtketel geen rekening gehouden met het terugwinnen van CO_2 uit het rookgas. Wel kan te zijner tijd met een leverancier van een gaswas-technologie onderzocht worden of een extra investering voldoende rendabel is ten opzichte van de inkoop van vloeibare CO_2 of een ander CO_2-bron.

CO_2 uit fossiel; Naast CO_2 uit biomassa blijft ook CO_2 uit fossiel interessant. Te denken valt aan de CO_2 die vrijkomt bij elektriciteitscentrales en petrochemische industrie. Met vergelijkbare CO_2 win-technologie kan ook deze CO_2 gewonnen worden voor de tuinbouw. Een geografische inventarisatie van fossiele CO_2-bronnen in de nabijheid van CO_2-behoevend glastuinbouwgebied en een haalbaarheidsstudie kunnen dan de vervolgstappen zijn.

© Energy Matters, 2012. Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd of voor publiekelijk gebruik worden aangewend zonder schriftelijke toestemming vooraf van Energy Matters. Hoewel er uiterste zorgvuldigheid is betracht ten aanzien van de vermelde gegevens, kan Energy Matters geen aansprakelijkheid aanvaarden voor eventuele onjuistheden.

INHOUDSOPGAVE

Samenvatting en conclusies 2

1. Inleiding 1

2. Beschikbare biomassa en CO_2 bronnen 2

2.1. CO_2 Perspectief 3

2.2. Andere CO_2-bronnen 3

3. CO_2 kwaliteit 4

3.1. Analyse CO_2 kwaliteit 4

3.2. Gewasschade en garanties 5

3.3. Grenswaarde groengasproductie 6

4. Techniek en projecten 7

4.1. CO_2 uit het rookgas van een houtketel 9

4.2. CO_2 uit groengas productie 11

4.3. CO_2 uit het rookgas van een biogas-WKK 12

4.4. CO_2 uit ethanolproductie 13

5. Kosten 14

5.1. Referentiekosten CO_2 bemesting 14

5.2. Draaiuren CO_2 levering 15

5.3. Groene CO_2 kosten 15

6. Inpassing en logistiek 19

6.1. Buffer 19

6.2. Buffer nabij groengasinstallatie 20

6.3. Buffer centraal in tuinbouwgebied 20

6.4. Geen buffer, levering in basisbehoefte CO_2 21

6.5. Leidingberekeningen. 21

6.6. Transportkosten CO_2 22

6.7. CO_2-kwaliteitscontrole 23

7. Stimuleringsmaatregelen 24

7.1. EIA 24

7.2. SDE 2011-2012-2013 24

Referenties 26

Appendix I. Lijst van leveranciers 3

Appendix II. Groengas projecten 4

Appendix III. Food grade en ISBT-CO_2 5

Appendix IV. Checklist CO_2-dosering 7

Appendix V. Kosten groene en fossiele CO_2 13

1. INLEIDING

Voor de glastuinbouw is CO_2 een essentiële voedingsstof. Op dit moment is CO_2 inkoop of CO_2 uit rookgas van een aardgasgestookte ketel en WKK gangbaar. Daarnaast wordt op termijn CO_2-winning uit biomassa als interessante optie gezien. Zeker ook met het oog op een verwacht tekort aan CO_2 bij andere duurzame energietechnieken zoals geothermie of zonnewarmte. Daarnaast kan CO_2 uit alternatieve bronnen mogelijk een deel van zomerstook, in perioden van CO2-behoefte en zonder warmtevraag, voorkomen.

Zo kan 'groene CO_2' gewonnen worden uit het rookgas van houtstook, uit een biogasgestookte ketel of WKK of bij de opwerking van biogas naar groengas. Daarnaast is er de mogelijkheid om CO_2 te winnen uit compostering, echter deze techniek staat nog in de kinderschoenen en wordt daarom niet meegenomen. Naast de prijs en/of kosten is de zuiverheid van CO_2 en de logistieke inpasbaarheid van belang. Welke optie ook gekozen wordt, gewasschade dient te allen tijde worden voorkomen.

De Nederlandse glastuinbouw kent op dit moment maar één Pilot waarbij CO_2 gewonnen wordt uit het rookgas van een houtketel. Deze Pilot is inmiddels wegens te lage productie niet meer operationeel. Wel zijn er meerdere leveranciers die aangeven een systeem voor succesvol CO_2-winning te kunnen leveren en op enkele plaatsen in het buitenland vindt dit plaats. Dit geldt voor zowel CO_2-winning bij houtstook, CO_2-winning bij biogas-WKK als CO_2-winning uit de productie van groengas (uit biogas).

CO_2 winning uit biomassa heeft potentie, er komt meer CO_2 vrij dan bij aardgasstook, maar komt tot op heden in Nederland moeizaam van de grond. Naast de zuiverheid van de CO_2 speelt uiteraard de benodigde schaalgrootte i.r.t. de prijs en de technische en logistieke inpasbaarheid een rol.

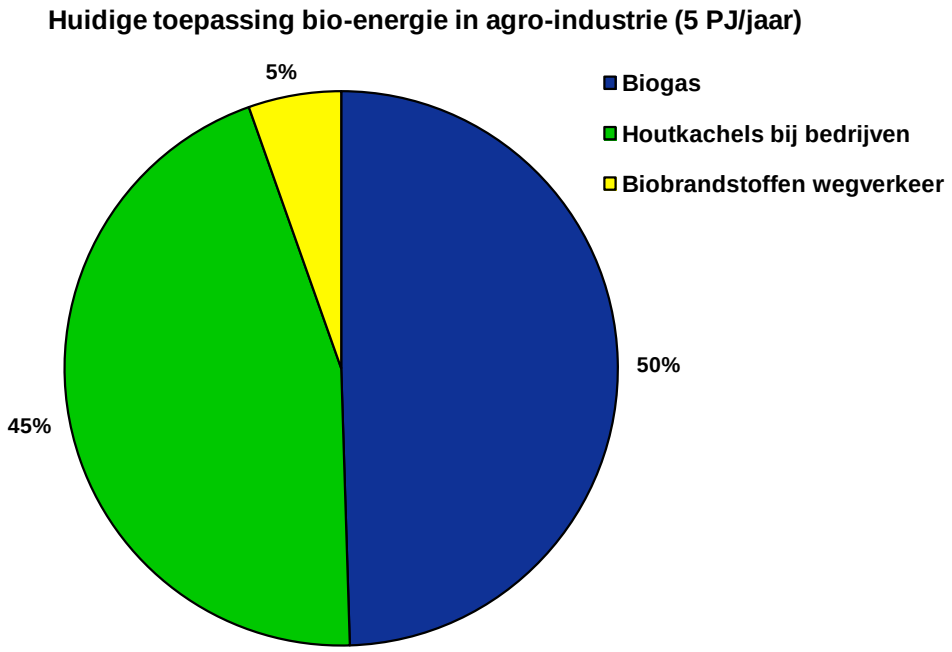
Doel van dit rapport is meer inzicht geven in de potentiële groene CO_2 bronnen en de technische en logistieke inpasbaarheid evenals de financiële rentabiliteit. Beschouwd worden verschillende CO_2 win-technieken in combinatie met houtketels, WKK's op biogas en groengas productie.

2. BESCHIKBARE BIOMASSA EN CO_2 BRONNEN

Het rapport van de Wageningen Universiteit en Researchcentrum (WUR) [1] beschrijft de beschikbare biomassa in de gehele agro-industrie. De energie-inhoud van de beschikbare biomassa uit de totale agro-industrie is 54 PJ/jaar. Hiervan is 15 PJ/jaar direct beschikbaar voor energietoepassingen. Om de energiehoeveelheid meer tastbaar te maken; 54 PJ/jaar komt overeen met bijna 2% van het totale energieverbruik in Nederland. Het primair energiegebruik van de glastuinbouw in 2010 was 144,5 PJ, goed voor 5% van het totale Nederlandse energieverbruik.

Van de beschikbare biomassa kan een deel worden omgezet in biobrandstof, elektriciteit of warmte. Bij het omzetten van de biomassa naar een meer hoogwaardige vloeibare of gasvormige biobrandstof komt CO_2 vrij maar ook bij de verbranding ervan.

Op dit moment wordt 5 PJ/jaar van de vrijkomende biomassa uit de agro-industrie met name benut voor warmte en biogas productie (zie figuur 1). Het biogas wordt momenteel gebruikt voor elektriciteit- en warmteproductie met een biogas-WKK en voor groengas-productie.



Figuur 1 – Huidige toepassing bio-energie vanuit de agro-industrie

De 5 PJ biomassa zou in theorie ongeveer 1,5 Mton CO_2 kunnen leveren. Dit komt overeen met respectievelijk 100-200 biogasinstallaties en circa 60 grote of 300 kleine houtketel-installaties.

2.1. CO_2 Perspectief

De CO_2 van de beschikbare biomassa uit de agro-industrie, waaronder glastuinbouw, is gelijk aan 1% van de totale CO_2 uitstoot in Nederland. Een deel van de CO_2 wordt opgenomen door de gewassen. Groene CO_2 die uit biomassa gewonnen wordt voor gewasbemesting is weliswaar kortcyclisch CO_2 maar geeft net als CO_2 uit fossiele brandstoffen (langcyclisch) een netto CO_2 emissie. In beide situaties krijgt het CO_2 als meststof een 'tweede leven'. De vervanging van een fossiele energiebron door een duurzame energiebron geeft wel een reductie van primaire energie en dus CO_2 reductie.

CO_2 dosering is afhankelijk van verschillende factoren waaronder de teelt en teeltstrategie. Zo ligt de gemiddelde plantopname tussen de 50 en 70 kg CO2 hectare per uur. CO_2 dosering ligt hier boven. Zo doseren tuinders in het OCAP gebied tussen de 200-250 kg CO_2 per hectare per uur. In andere gebieden wordt 100 kg CO_2 per hectare per uur gedoseerd.

De totale vraag van de glastuinbouw ligt tussen de 2,6 en de 6,3 Mton/jaar [3]. Uitgaande van de beschikbare biomassa kan theoretisch ongeveer 20% van de tuinders worden aangesloten op de CO_2 levering uit een biogasinstallatie. En theoretisch nog eens ongeveer 20% van de tuinders op de CO_2 levering van houtkachels.

2.2. Andere CO_2-bronnen

Naast de CO_2 potentie van de biomassa in de Agro-industrie vertegenwoordigt zuiveringsslib van rioolwaterzuiveringsinstallaties (RWZI's) een CO_2 potentie. Volgens Nieuwenhuijzen [9] wordt bij 86 rioolwaterzuiveringsinstallaties (RWZI's) met slibvergister ruim 95 mln. Nm^3 /jaar aan biogas geproduceerd, goed voor 75 kton CO_2 equivalent. Hiervan wordt tweederde, 65 mln. Nm^3 biogas met WKK's omgezet in groene stroom, restwarmte en CO_2. Door deze vergistingsinstallaties wordt slechts 10% van het slib omgezet in biogas. Door hoge druk thermolyse (TDH) van secundair slib kan de biogascapaciteit met 20% netto toenemen tot 90 kton CO_2 equivalent [10]. TDH zou tevens ingezet kunnen worden bij (co)vergisters. Om de biogasopbrengst te vergroten wordt momenteel bij (co)vergisters voornamelijk gekeken naar enzymatische technologie.

Daarnaast zijn er in Nederland een aantal huisvuilstortplaatsen waar stortgas gewonnen wordt voor energieproductie. Bij stortplaats Bavel wordt het geproduceerde stortgas zelfs geleverd aan een lokale tuinder voor kasverwarming. Bij andere stortplaatsen wordt lokaal met WKK groene stroom of groengas geproduceerd.

Voor specifieke 'CO_2-projecten', daar waar groene en fossiele CO_2 vrijkomt en gebruikt zou kunnen worden voor de glastuinbouw, wordt gerefereerd aan de inventarisatiestudie van Vermeulen [3]. Daarnaast kan gebruik gemaakt worden van de 'kansenkaarten' op de internetsites van AgentschapNL (**www.b-i-o.nl**) en van Stichting Groen Gas Nederland (**www.groengas.nl**). Op de site van Stichting Groen Gas Nederland wordt tevens onderscheid gemaakt in operationele groengas- en biogas-WKK projecten en projecten in oprichting met SDE beschikking.

3. CO_2 KWALITEIT

De zuiverheid en CO_2-concentratie in de te doseren gassen is van belang bij gewasbemesting. Zo is de concentratie CO_2 uit houtstook, WKK, RoCa3 en OCAP respectievelijk circa 7%, 10%, 10% en 100% [3]. Daarnaast zijn bepaalde stoffen die in de rookgassen voorkomen schadelijk voor de gewassen en moeten worden afgevangen. De belangrijkste zijn [4]:

- *Etheen (C_2H_4),* schadelijk voor het gewas, kan o.a. vrijkomen bij onvolledige verbranding of verminderd functioneren van de katalysator;
- *Ammoniak (NH_3)*, bij te hoge ureum dosering;
- *Stikstofoxide (NO_x)*, te lage ureum dosering, slechte verbranding of verminderd functioneren van de katalysator;
- *Koolmonoxide (CO)*, giftig voor personen, kan vrijkomen bij onvolledige verbranding in combinatie met verminderd functioneren van de katalysator;
- *Waterstoffluoride (HF),* ontstaat in rookgassen van biogas-WKK installaties (bij RWZI's en vuilstortplaatsen);
- *Zwaveldioxide (SO_2),* ontstaan wanneer zwavel in de brandstof aanwezig is;
- *Benzeen (C_6H_6),* ontstaat in rookgassen bij onvolledige verbranding;
- *Ozon (O_3).*

Enkele stoffen zijn bij bepaalde concentraties schadelijk voor zowel het gewas als de nageschakelde componenten zoals de gasmotor, warmtewisselaar, katalysator van de deNO_x- en OxyCat-installatie. Bij bijvoorbeeld het gebruik van biogas dient vooraf het waterstofsulfide (H_2S) te worden verwijderd. De grenswaarde voor een gasmotor zonder katalysator is 1.000 ppm H_2S, met katalysator 5 ppm H_2S. Bij het overschrijden van deze grenswaarde treed schade op in de vorm van bijvoorbeeld corrosie. Corrosie tast de functionaliteit en standtijd van de verschillende componenten aan. Ter bescherming van de componenten worden de stoffen daarom eruit gehaald, waarna ze ook niet meer schadelijk zijn voor het gewas.

3.1. Analyse CO_2 kwaliteit

Daar de kwaliteit van CO_2 voor bemesting afhankelijk is van vele factoren is een CO_2 analyse aan te bevelen. Naast de CO_2-bron heeft ook de CO_2-wintechniek maar zeker ook de teeltstrategie grote invloed op de CO_2 die uiteindelijk opgenomen wordt door het gewas. Daar het ene gewas bestendiger is tegen bepaalde stoffen dan het andere dient per gewas geanalyseerd te worden of CO_2 bemesting ook op de lange termijn geen schade berokkend.

Planten worden geremd in hun groei als de concentratie van bepaalde gassen in de kaslucht te hoog wordt. Dit heeft o.a. onderzoek van Wageningen UR vanuit Productschap Tuinbouw naar de bronnen van ongewenste stoffen in de kas uitgewezen [13, 14, 15 en 16]. Ongewenste gassen in de kaslucht kunnen resulteren in productie- en kwaliteitsverliezen van 5 tot 15%. Deze zijn vooral afkomstig van het rookgas van gasmotoren die wordt gebruikt voor CO_2 dosering. Bij weinig beluchten, onder bijvoorbeeld energie te besparen, nemen de concentraties schadelijke stoffen en daarmee de risico's voor gewasschade toe. Hoe dan ook, uitgebreide chemische analyse en continue controle van de

kwaliteit van de geproduceerde CO_2 uit de bron en de CO_2 in de kas dient plaats te vinden om te allen tijde gewasschade te voorkomen.

3.2. Gewasschade en garanties

Hoewel een gewasschadeverzekering eerder uitzondering is dan regel zal een verzekeringsmaatschappij eisen stellen aan de CO_2 kwaliteit. Door Interpolis is daarom een aanbeveling gedaan in de vorm van een CO_2 dosering-checklist die aandachtspunten in relatie tot de technische installatie (WKK en ketel met rookgasreiniging) inzichtelijk maakt op basis van bestaande kennis [5]. De CO_2-kwaliteit uit de WKK met rookgasreiniging en ketel dienen daarbij minimaal te voldoen aan de volgende grenswaarden van 20 ppm NO, 13 ppm NO_2 en 450 ppb C_2H_4 (etheen) (Appendix IV). Veel tuinders en leveranciers van rookgasreinigers houden echter lagere, niet genormaliseerde normen aan. Echter de aangegeven risicogrenswaarden zijn vastgesteld op basis van metingen aan de bron (WKK) en zijn geen weerspiegeling van de CO_2-kwaliteit in de kas.

Productschap Tuinbouw heeft daarom met het 'Grenzen voor luchtkwaliteit' [16] bij een tiental glastuinders CO_2 metingen in de praktijk laten uitvoeren. Deze metingen op kas-niveau hebben uitgewezen dat met een aantal maatregelen de concentraties aan rookgassen in de kas gereduceerd kunnen worden en mogelijk productie- en kwaliteitsverliezen kunnen worden voorkomen. De maatregelen en de belangrijkste onderzoeksresultaten zijn te vinden in de leaflet 'Kwaliteit kaslucht cruciaal voor goede productie' [13] en is een uitgave van Kas als Energiebron.

De risicogrenswaarden op kas-niveau zijn in het onderzoek dat Productschap Tuinbouw vanuit het programma Kas als Energiebron heeft laten uitvoeren leidend. De risicogrenswaarden zijn door Wageningen UR vastgesteld en zijn respectievelijk 40 ppb NOx (vanuit de World Health Organisation is afgesproken dat NOx bepalend is en niet NO_2) en 11 ppb C_2H_4 (etheen)[14, 15, 16] (Risicogrenswaarde; de waarden geeft aan dat er een risico bestaat, maar niet noodzakelijkerwijs tot schade leidt). Deze grenswaarden, welke aangehaald worden in het AirQ-onderzoek, gelden voor alle gewassen bij continue blootstelling. Bij discontinue blootstelling ligt dit echter genuanceerder [16]. Grenswaarde op bron-niveau, gemeten net achter de WKK, zeggen niets over de CO_2-kwaliteit in de kas die uiteindelijk bepalend is voor het gewas. De CO_2 dosering in de kas is vaak een discontinu proces om de CO_2 niveau in de kas gelijkmatig te houden. Hierin zijn beluchten, luchtbewegingen in de kas en ook buitenluchtconcentraties voor een belangrijk deel bepalend voor de CO_2-kwaliteit in de kas. De risicogrenswaarde op kas-niveau voor H_2S ligt op 180 ppb (acute blootstelling) en 10 ppb (chronische blootstelling). De H_2S-risicogrenswaarde is vooral van belang bij CO_2-winning bij biogas-installaties. Naast deze grenswaarden kan bij twijfel eventueel de EIGA- en ISBT-norm als handvat worden genomen. Zo stelt de European Industrial Gases Association (EIGA) zware eisen aan industrieel geproduceerde gassen die o.a. gebruikt worden in de voedingsindustrie, de zogenaamde 'food grade'-norm: ≥99,9% CO_2 (zie ook Appendix III). De Society of Beverage Technologists hanteert de ISBT-norm: >99% CO_2. Deze eisen moeten zorgen voor een CO_2 die niet schadelijk is voor mens en dier. Dit zegt echter niet direct iets over het gewas. Hoewel er wel sprake is van zeer zuivere CO_2.

3.3. Grenswaarde groengasproductie

De food grade kwaliteit is een zeer strenge norm. De grenswaarde voor verontreinigingen in CO_2 lijken voldoende laag voor een installatie die voldoet aan deze kwaliteit. De voorziene schadelijke stoffen die vrijkomen bij CO_2 levering van groengasproductie zijn voor beschouwde installaties lager dan de grenswaarden.

4. TECHNIEK EN PROJECTEN

Voor veel tuinders is CO_2 een belangrijke grondstof in het teeltproces. Met de gebruikelijke ketel en WKK-toepassingen op aardgas is het goed mogelijk om CO_2 uit het rookgas te gebruiken. Met bio-energie-installaties ligt dit wat lastiger, daar een constante kwaliteit van de biomassa of biobrandstof noodzakelijk is, om de samenstelling en reiniging van de rookgassen te kunnen garanderen. Echter, wanneer winning van CO_2 uit biomassa haalbaar is, verbetert dit de totale rentabiliteit van de bio-energie-installatie. Winning van groene CO_2, dat wil zeggen CO_2 gewonnen uit biomassa, ten behoeve van gewasbemesting staat wereldwijd relatief gezien nog in de kinderschoenen. Groene CO_2 wordt op dit moment via grofweg vier verschillende biomassa-conversieroutes onttrokken, te weten:

- CO_2 uit rookgas houtstook;
- CO_2 uit groengas productie;
- CO_2 uit rookgas biogas-ketel of WKK;
- CO_2 uit bio-ethanolproductie.

Hierbij worden de volgende commercieel beschikbare CO_2-win technieken gebruikt (zie tevens aanvullende informatie [12]):

- Gaswassing, waarbij een solvent de CO_2 absorbeert;
- Membraan filtratie, waarbij de CO_2 met een 'fijne zeef' afgescheiden wordt;
- Pressure Swing Adsorption (PSA), waarbij onder druk actief kool of zeoliet de CO_2 adsorbeert;
- Cryogeen, waarbij CO_2 door het verschil in kookpunt als vloeistof wordt afgescheiden, het zogenaamde vervloeien van CO_2 (koelen van CO_2 tot dat het vloeibaar wordt);
- Een combinatie van bovenstaande technieken, eventueel aangevuld met een:
  - Ontzwavelingsstap; in de vergistingsreactor door toevoeging van 2-6% lucht of ijzerchloride ($FeCl_3$), of na de vergister met H_2S-scrubber, katalysator op basis van ijzer- of looghoudend water, een biofilter, ijzeraarde of actief kool;
  - OxyCat om eventueel etheen (C_2H_4) te verwijderen.

Gaswassing

Als absorbent wordt een fysische of chemische vloeistof gebruikt waarbij een:

- Fysische absorber zoals een zoutoplossing het CO_2 oplost. Voor regeneratie van de absorber, waarbij het CO_2 weer vrijkomt, wordt warmte (65^{o}C) en/of onderdruk gebruikt;
- Chemische absorber zoals amines of hydroxides een chemische reactie aangaan met het CO_2. Regenereren kost meer (warmte)energie en de absorbent degradeert sneller.

Bij inpassing dient rekening te worden gehouden met het feit dat een warmtebron noodzakelijk is om de CO_2 uit te dampen. Wordt daarvoor de warmte van de houtketel gebruikt dan dient de gaswas-technologie optimaal geïntegreerd te worden met de houtketel-installatie i.r.t. de benodigde warmte voor de teelt. Ter indicatie, afhankelijk van de absorbent dient men rekening te houden met een warmtebehoefte van 15 tot 30% van de totale warmteafgifte door een houtketel. De zuiverheid

van het CO_2, de zogenaamde CO_2-kwaliteit die geproduceerd kan worden met gaswas-technologie is groter dan 95,5%.

Membraan filtratie

Doordat CO_2 een semipermeabel materiaal (membraan) sneller passeert (permeatiesnelheid) t.o.v. methaan wordt het CO_2 aan de ene kant meer geconcentreerd dan methaan. In veel gevallen wordt Membranen zijn gemaakt van dunne polymeren, keramiek of metalen. Bij inpassing dient rekening te worden gehouden dat membranen gevoelig zijn voor verstopping. H_2S-verwijdering kan vooraf maar ook na CO_2 verwijdering plaatsvinden met actief kool of vervloeien van CO_2. De CO_2 kwaliteit is minder dan 90%. Om de juiste CO_2-kwaliteit te behalen wordt de membraantechnologie in veel gevallen gecombineerd met het vervloeien van de CO_2.

Presure Swing Adsorption

Pressure Swing Adsorption (PSA) is een regeneratieve scheidingstechniek om gasstromen (biogas) te zuiveren van contaminaties door middel van adsorptie van deze onzuiverheden op een vast materiaal of adsorbent. Het CO_2 wordt daarbij sneller geabsorbeerd dan CH4. Het type alsook de concentratie van de onzuiverheden in de gasstroom bepalen het type adsorbent (moleculaire zeefcokes, actieve kool, zeoliet). Verschillende onzuiverheden (SO_2, H_2S, N_2 en O_2) kunnen tegelijkertijd uit de te zuiveren gasstroom worden geadsorbeerd door meerdere types adsorbent in verschillende lagen op elkaar te plaatsen. Elke laag is dan aangebracht met het oog op het specifiek verwijderen van een welbepaalde onzuiverheid uit de gasstroom. Het PSA-proces vindt plaats bij lage temperatuur en hoge druk in tegenstelling tot cryogene scheidingsmethoden van gassen. De regeneratie van het adsorbent vindt plaats bij lage druk (vacuüm) en temperatuur. PSA wordt in veel gevallen voorafgegaan door de verwijdering van H_2S door middel van actief kool. De CO_2-kwaliteit is kleiner dan 95%.

Cryogeen

Na gasdroging- en compressie naar 16 barg tot 25 barg wordt het gas gereinigd en voorgekoeld naar -25^{o}C. Bij deze stap worden vocht, SO_2, H_2S, Halogenen en Syloxanen uit het biogas verwijderd. Hierna volgt verdere reiniging door polishing met ijzeraarde (=ijzeroer) en verdere koeling naar -74^{o}C en 16 tot 25 barg waarbij het CO_2 in vloeibare vorm van het methaan wordt onttrokken (vervloeien van CO_2). Met behulp van temperatuurregeling wordt de gewenste zuiverheid behaald (bron: GtS). H_2S en andere verontreinigingen worden met het vervloeien in een stap van de CO_2 gescheiden. Alleen de ijzerkrullen dienen jaarlijks vervangen te worden. De CO_2-kwaliteit is groter dan 95,5%.

De benaderde leveranciers voor de verschillende rookgasreinigings- en CO_2-win-technieken zijn weergegeven in Appendix I. Welke CO_2 win-techniek of een combinatie daarvan het meest geschikt is, is o.a. afhankelijk van:

- Kwaliteit en capaciteit van het rookgas of biogas;
- Inpasbaarheid in relatie tot de CO_2 kwaliteit, opbrengst en logistiek;
- Investering;
- Operationele kosten;
- Teeltstrategie.

Wanneer de food grade-norm (≥99,9% CO_2) wordt gehanteerd als uitgangssituatie voor de CO_2 kwaliteit voor gewasbemesting kan in de meeste gevallen het vervloeien van CO_2 achterwegen blijven.

Let wel, naast onderhoudskosten hebben alle CO_2 win-technieken een intern energiegebruik (elektriciteit) en/of een warmtebron, koelmiddel, over- of onderdruk nodig. Hier dient bij het bepalen van de rentabiliteit en de inpassing i.r.t. de teeltstrategie rekening mee te worden gehouden.

De verschillende CO_2 win-technieken worden in de volgende paragrafen toegelicht a.d.h.v. gerealiseerde projecten.

4.1. CO_2 uit het rookgas van een houtketel

Bij CO_2 winning uit het rookgas van een houtketel wordt gaswassing toegepast. De rookgassen worden ontdaan van stof, gekoeld en in een kolom in contact gebracht met de absorptievloeistof. Hier wordt de CO_2 aan de vloeistof gebonden, terwijl de rest van het rookgassen de installatie verlaten. De absorptievloeistof met de gebonden CO_2 kan worden opgeslagen. Als de CO_2 nodig is wordt de absorptievloeistof via een warmtebron opgewarmd (120^{o}C) waarbij de CO_2 in de regeneratietoren weer vrijkomt. Uiteraard kan een deel van de restwarmte (70-90^{o}C) teruggewonnen worden. Er is geen direct contact tussen de rookgassen en de kas. De absorptietechniek vergt naast een grote investering tevens extra warmte om de CO_2 uit de absorbent te verdampen, warmte die normaliter gebruikt wordt voor kasverwarming of voor de productie van elektriciteit. Leveranciers van deze absorptietechniek zijn: Procédé, HoSt, Imtech en Knook. Op dit moment zijn er slechts twee projecten bekend waar ook daadwerkelijk CO_2 uit het rookgas van een houtstookinstallatie worden teruggewonnen voor CO_2 bemesting. Ter illustratie worden deze twee projecten beschreven.

Kwekerij VinkSion

Glastuinder Jaap Vink van VinkSion te Berlicum heeft op dit moment als enige een CO_2 capture installatie achter zijn hout-WKK-installatie (4,9 MWth/ 1,15 MWe). Met aminozuur als absorbent werd tot voor 3 jaar terug 100 kg CO_2 per uur gewonnen uit het rookgas van de houtketel. Voor zijn 7,5 ha paprika's was dit echter bij lange na niet voldoende. De capaciteit van de CO_2 recovery plant kan volgens HoSt worden vergroot naar 800 kg/uur door de warmte-input te vergroten en het CO_2

op te slaan tijdens de nacht. Echter voor het maximeren is een flinke investering vereist en kostbare warmte benodigd van 120^{o}C wat direct ten koste zal gaan van de productie van elektriciteit en dus baten van de levering van groene stroom. Vink onderzoekt momenteel een rendabele optimalisatie van het CO_2 capture systeem. Het ziet er nu naar uit dat een extra warmtebron, in de vorm van een houtketel of gasketel, benodigd is om de extra benodigde CO_2 uit de aminozuren te verdampen.

Kwekerij SunSelect

Procédé Gas Treating BV heeft een full-scale CO_2 win-syteem bij glastuinder SunSelect Produce Inc. te Delta, Britisch Columbia, Canada (zie Figuur 2). Dit systeem heeft een grote CO_2-leveringscapaciteit en werkt naar behoren. Ten aanzien van de CO_2 kwaliteit i.r.t. het gewas (16 ha paprika's) is gebruik gemaakt van een proefkas van 4 ha waarbij dezelfde productieresultaten zijn gerealiseerde ten opzichte van referentie-teeltresultaten op basis van CO_2 uit gereinigde rookgassen van een gasmotor en deels vloeibare CO_2 injectie. Ook hier wordt gebruik gemaakt van een absorbent (op basis van stabiele en niet toxische zoutoplossing). Hier wordt 5 - 5,5 ton CO_2/uur gewonnen uit het rookgas van twee houtgestookte Vyncke-ketels (6 MWth en 8 MWth). Het is momenteel de grootste volledig operationele CO_2 afvanginstallatie uit biomassa wereldwijd. Qua capaciteit en CO_2 kwaliteit i.r.t. gewasopbrengst kan men zeggen dat dit een bewezen en degelijke technologie is.



Figuur 2 – Absorptietoren (rechts), regeneratietoren (links), vloeistofbuffer (liggend) bron: Procédé

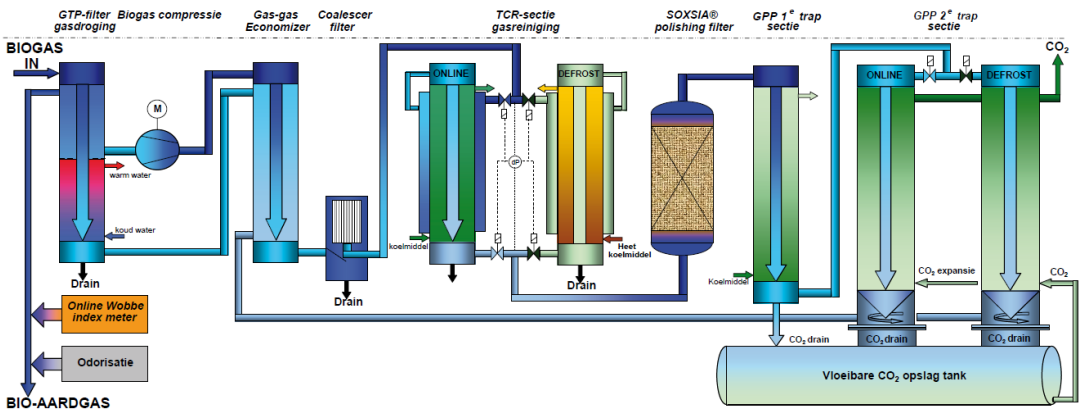
4.2. CO_2 uit groengas productie

Voor CO_2 uit groengas productie worden overwegend de volgende technieken gebruikt, te weten;

- Gaswassing;
- Mebraanfiltratie;
- Pressure Swing Adsorption (PSA);
- Cryogeen;
- Of een combinatie van bovenstaande technieken.

Bij cryogene opwerking wordt het CO_2, door het verschil in soortelijke massa t.o.v. de andere gassen, in zeer zuivere vorm afgescheiden van het methaan en andere gassen. GtS levert deze cryogene technologie voor groengas-productie (zie figuur 3) en voorziet op termijn, na analyse van de vrijkomende CO_2, CO_2 benutting binnen de glastuinbouw of daarbuiten. Een andere techniek is de membraantechniek die geleverd wordt door Pentair Haffmans en Cirmac. Ook KEMA, maar ook Fuji-film ontwikkelen efficiëntere membranen t.b.v. CO_2 winning. De CO_2 membranen in containerformaat van KEMA zijn in beginsel gericht op CO_2 afvang bij elektriciteitscentrales. Net als bij Fuji-film gaat het bij KEMA om proefprojecten. Om te komen tot een relatief kleinschalige toepassing vergt extra investeringen en een lange weg. Toepassingen binnen de glastuinbouw, in de vorm van commercieel verkrijgbare en in te passen CO_2-afvang modulus, worden daarom niet op korte termijn voorzien.

In Appendix II is een lijst met reeds gerealiseerde groengas-projecten opgenomen. Hierna worden ter illustratie twee projecten beschreven waar gebruik gemaakt wordt van bovenstaande technologie t.b.v. de glastuinbouw.



Figuur 3 – Biogas opwerkinstallatie voor groengas en CO_2 productie (bron: GtS)

Laarakker

EcoFuels is een initiatief van het Nederlandse bedrijf Laarakker Groenteverwerking en Delta Milieu Compost & Biomassa. Sinds 2006 wordt in de gemeente Well, provincie Limburg met vergisting van 130 kton groenteafval met een WKK 2,4 MWe groene stroom geproduceerd. Sinds 2011 wordt met

een groengas opwerkinstallatie van Pentair Haffmans (membraanfilter, kooladsorptie en cryogeen) 450 Nm^3 biogas per uur opgewerkt naar 300 Nm^3 groengas per uur en 270 kg CO_2 per uur, overeenkomstig met 2.200.000 Nm^3 groengas per jaar en 2.520 ton CO_2. De vloeibare CO_2 is 'food grade' en wordt, na verdere CO_2 analyse binnen 2 maand met een tankwagen via de weg geleverd aan een lokale glastuinder. De technologie van Pentair Haffmans heeft zich reeds vele jaren bewezen binnen de beverage-industrie, daar waar 'food grade' CO_2 benodigd is.

De Meerlanden

Groenafvalverwerker De Meerlanden te Aalsmeer haalt vijf nuttige producten uit de verwerking van groente- fruit- en tuinafval (GFT). Het gaat om groengas, warmte, compost, CO_2 en water. Alle stromen vinden hun weg in de maatschappij en in de glastuinbouw. Per jaar haalt het bedrijf ongeveer 50 kton GFT-afval op en levert 20 kton compost[1].

Uit het composteerproces wordt restwarmte onttrokken en via een warmtewisselaar via een waterleiding geleverd aan Showkas de Arendshoeve, een lokale tuinder. De tuinder vervangt hiermee ongeveer 600.000 Nm^3 aardgas. Daarnaast wordt 4 mln Nm^3 biogas opgewerkt tot 2,5 mln Nm^3 groengas en 2,5 kton ton CO_2, welke men na CO_2-analyse op termijn (binnen een jaar) wil leveren aan lokale glastuinbouw. De techniek die Cirmac hiervoor gebruikt is gaswassing. Ook deze technologie heeft zich bewezen. Daarnaast treft men voorzieningen om op termijn tevens CO_2 uit het composteerproces te winnen en te leveren aan lokale glastuinbouw. Om 'food grade' CO_2 te verkrijgen dient het vrijkomende CO_2 verder opgewaardeerd te worden door vervloeiing van de CO_2.

4.3. CO_2 uit het rookgas van een biogas-WKK

Bij CO_2 uit het rookgas van een biogas-WKK kan, net als bij een WKK, gebruik worden gemaakt van bestaande rookgasreinigingstechnieken. Voordat het biogas de WKK ingaat wordt het biogas ontdaan van zwavelverbindingen. De CO_2 benutting berust op het gebruik van de rookgassen zoals ook bij een aardgasketel of WKK plaatsvindt. Voor het biogas is dan wel een extra gasdroger en actief koolfilter benodigd. Na de gasmotor wordt een deNO_x-systeem en een OxyCat geplaatst.

De eerder besproken gaswassing-technologie van Procedé, Crimac en Knook kan gebruikt worden voor het onttrekken van CO_2 uit rookgas van biogasgestooke installaties maar ook voor het vooraf onttrekken van CO_2 uit biogas. Echter, op deze manier is nog geen project gerealiseerd.

---

[1] *Volgens Vroonhof (2006) werd in 2004 1.713 kton GFT afval en 1.600 kton Groenafval gecomposteerd, wat gelijk staat voor een directe CO_2 uitstoot van 93 kton per jaar [3]. Volgens een studie van het Louis Bolk Instituut (Elferink en Vlaar, 2010) zit in GFT een potentieel van 550 kg CO_2 per ton vers gewicht, na 1 jaar resteert 385 kg CO_2 per ton compost. In Groencompost zit 410 kg CO_2 per ton vers gewicht, na 1 jaar resteert 287 kg per ton compost. Kortom, CO_2-winning uit compost is mogelijk op termijn interessant. Als CO_2 behoevend glastuinbouwbedrijf is het daarom interessant om te onderzoeken wat de samenwerkingsmogelijkheden zijn met grote composteerbedrijven in Wijster, Wilp, Moerdijk en Hoek van Holland.*

Hamburg

Het enige bekende CO_2 win-project uit rookgassen van een biogas-WKK staat bij een glastuinder nabij Hamburg, Noord-Duitsland (6 ha tomaten, naam kweker onbekend). Hanwel heeft hiervoor gasanalyse- en meetinstrumenten aangeleverd. De installatie is door Hug Duitsland verzorgd en ontwikkeld door Ingenieurbüro Krupp en in oorsprong gebouwd door de firma Osmo Anlagenbau. De installatie is daarna ook nog eens omgebouwd door Ing. Büro Miertzschke (bron: Hanwel). De installatie is sinds 2005 operationeel. Een maïs- en groenafval-vergister levert via een nageschakelde gasdroger en actief koolfilter circa 792 Nm^3/uur biogas aan twee biogasmotoren. Na reiniging van de rookgassen met deNO_x en OxyCat wordt 1.322 kg CO_2/uur aan de kas geleverd. De installatie kende echter, als een van de eerste groene CO_2 win-project ter wereld, aanloopproblemen. Variatie in de biomassa, waarmee de vergister gevoed wordt, zorgt ervoor dat de biogaskwaliteit significant fluctueert. Daar de biogas-reinigingstechnologie met een smallere bandbreedte van biogaskwaliteit werkt wordt het biogas onvoldoende gereinigd waardoor de gewenste CO_2 kwaliteit niet geborgd kan worden. Met de rookgasreinigingstechniek van Hanwel kan de juiste CO_2 kwaliteit geproduceerd worden mits de ingaande biogas/rookgas-kwaliteit aan de juiste norm voldoet. Het onder controle krijgen en houden van de juiste biogas-kwaliteit is echter de grootste uitdaging. De kwaliteit van het biogas dient continu gemonitord te worden. Real-time meet- en regeltechniek moet ervoor zorgen dat onvoldoende gereinigd biogas geretourneerd en extra gezuiverd wordt. Te hoge gehaltes aan H_2S zorgen ervoor dat de WKK, de deNO_x en OxyCat worden aangetast waardoor de CO_2-kwaliteit niet geborgd is en het gewas aantast. Daar het onder controle krijgen en houden van het biogas een lastige zaak is, is CO_2 onttrekking met deze technologie nog onvoldoende robuust c.q. risicovol. Hanwel voorziet derhalve op korte termijn (1 jaar) geen vervolg van dit project. Met deze achtergrond heeft ook Steuler laten weten op dit moment geen belangstelling te hebben in rookgasreiniging t.b.v. CO_2 winning uit het rookgas van een biogasgestookte installatie.

4.4. CO_2 uit ethanolproductie

Bij de productie van bio-alcohol of ethanol met vergisting komt CO_2 vrij die tot voor kort niet of nauwelijks toegepast werd. Bio-ethanolfabriek Abengoa, gevestigd in de Rotterdamse haven, levert sinds eind 2011 CO_2 aan OCAP. Daarmee kan OCAP extra tuinders beleveren zoals de B3-hoek en de Zuidplaspolder. De capaciteit van de fabriek is 480 miljoen liter bio-ethanol per jaar waarbij 300 kiloton CO_2 vrijkomt (35-40 ton CO_2 per uur, 30 dagen per jaar geen productie vanwege onderhoud). OCAP neemt daar zo'n 100 kiloton van af, goed voor 300 tot 400 hectare, ca. veertig tuinders. Ter vergelijking: bij normale productie produceert Shell 120 ton CO_2 per uur, op jaarbasis is dat meer dan één Mton CO_2 [7].

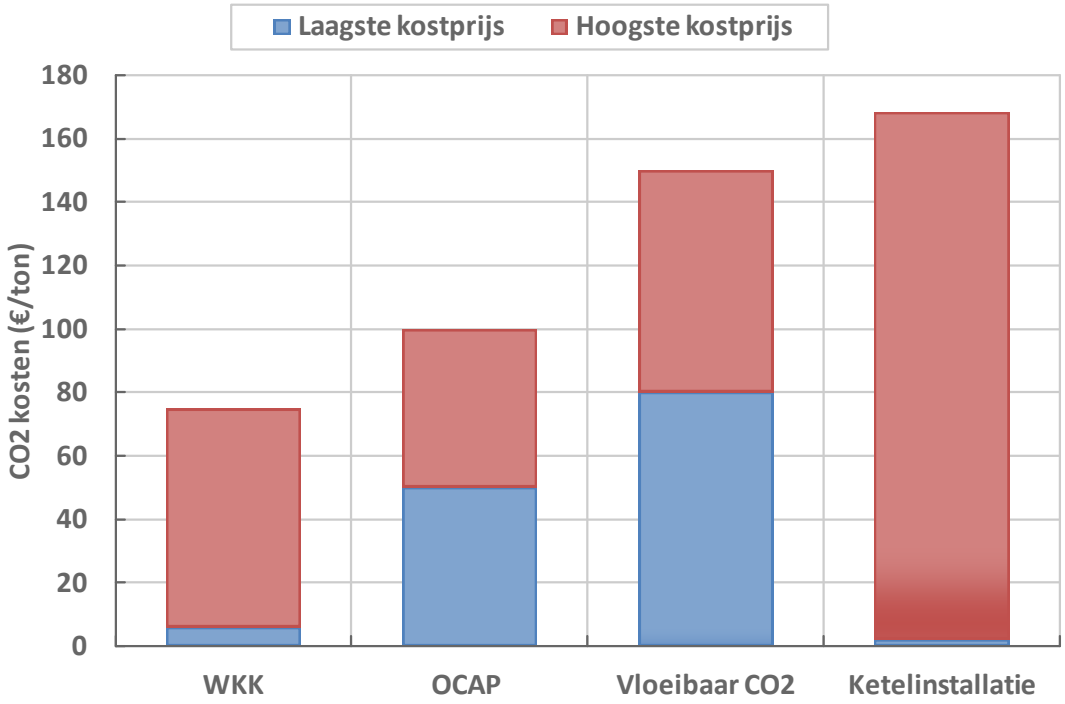
Ook Bio-Ethanol Rotterdam (BER) en de Nederlandse Alcohol producent Nedalco, nu onderdeel van Cargill, produceren grote hoeveelheden CO_2. Ook de Nederlandse bierbrouwerijen produceren grote hoeveelheden CO_2. Deze CO_2 wordt echter voor het overgrote deel hergebruikt voor de koolzuurhoudende drank.

5. KOSTEN

In dit hoofdstuk worden de kosten van vijf verschillende groene CO_2 winningtechnieken tegen vier fossiele CO2 technieken afgezet. De belangrijkste parameters zijn de CO_2 productie en leveringskosten, afgenomen hoeveelheid CO_2, investering en operationele kosten. De gebruikte systeemgrens; vanaf CO_2 winning-installatie tot de CO_2- of biogaslevering aan de kas. De CO_2 afgiftesystemen in de kas zijn daarbij niet meegenomen.

5.1. Referentiekosten CO_2 bemesting

Er zijn meerdere conventionele opties om aan CO_2 te komen, zie Figuur 4. De in de figuur weergegeven CO_2 kosten geven een indicatie weer daar de prijs afhankelijk is van meerdere factoren, waaronder wel of geen warmtebenutting, groot- en kleinschalige CO_2-inkoop en inzetstrategie.



Figuur 4 – Minimum en maximum CO_2 prijs vanuit verschillende referenties

De CO_2 kosten (€/ton) per referentie zijn gebaseerd op onderstaande factoren en zijn bepaald aan de hand van (eigen) kennis- en ervaringscijfers vanuit de praktijk en concrete offertes:

- CO_2 uit het rookgas van een aardgas-WKK (2 MWe); bij 100% warmtebenutting en 100% warmtevernietiging, inclusief rente en afschrijving voor rookgasreiniging, slechts 50% van de investeringskosten in de rookgasreiniging wordt toegerekend aan CO_2 reiniging voor dosering in de kas, ureum en onderhoud, exclusief investeringskosten WKK;

- Ketelinstallatie (2 MWth); bij 100% warmtebenutting en 100% warmtevernietiging, exclusief investeringskosten ketel;
- OCAP; levering door OCAP, inclusief aansluitkosten voor verschillende afstanden en afname capaciteit;
- Vloeibaar CO_2; levering vloeibaar CO_2, inclusief CO_2-tankhuur en verdamper bij de tuinder.

Er wordt vanuit gegaan dat WKK draait voor elektriciteits- en warmtelevering. De CO_2 prijs wordt dan bepaald door de extra rookgasreiniging. In het geval van een ketel zal CO_2 geleverd worden tijdens levering van warmte. Indien er geen warmtevraag in de kas is, bij veel zoninstraling tijdens het late voorjaar en de zomer, dan zal warmte in een buffer opgeslagen worden. Bij uitzondering zal een tuinder een overschot van warmte hebben bij het draaien voor CO_2. In de praktijk zal dit maximaal enkele procenten in de tijd zijn. De CO_2-prijs is vrijwel nihil als de warmte wordt benut maar stijgt naar de brandstofkosten wanneer de warmte niet benut kan worden.

5.2. Draaiuren CO_2 levering

Daarnaast verschilt het CO_2-gebruik per gewas en teeltstrategie. Voor het ene gewas is meer CO_2 bemesting nodig om een optimaal resultaat te boeken, dan voor het andere (volgens Lindegas die o.a. vloeibare CO_2 levert aan glastuinders is een hoge CO_2 dosering momenteel de trend).

In het algemeen sluit de tuinder in de winter de ramen van de kas om de warmte binnen te houden. Men verliest daardoor minder CO_2 terwijl er ook minder behoefte is aan CO_2 omdat er minder licht is. In het zomerseizoen heeft de kas een warmteoverschot. De tuinder zet dan de ramen open om een deel van de warmte te laten ontsnappen. Hierdoor neemt de CO_2 concentratie af. Tijdens de zomer is de vraag naar CO_2 groot, maar de warmtevraag gering. Ook heeft het gewas in veel gevallen belichting nodig waardoor de elektriciteit wordt teruggeleverd aan het net en de warmte mogelijk wordt gebufferd. In deze Quick scan worden de kosten per kg CO_2 berekend maar worden bovenstaande effecten niet meegenomen.

5.3. Groene CO_2 kosten

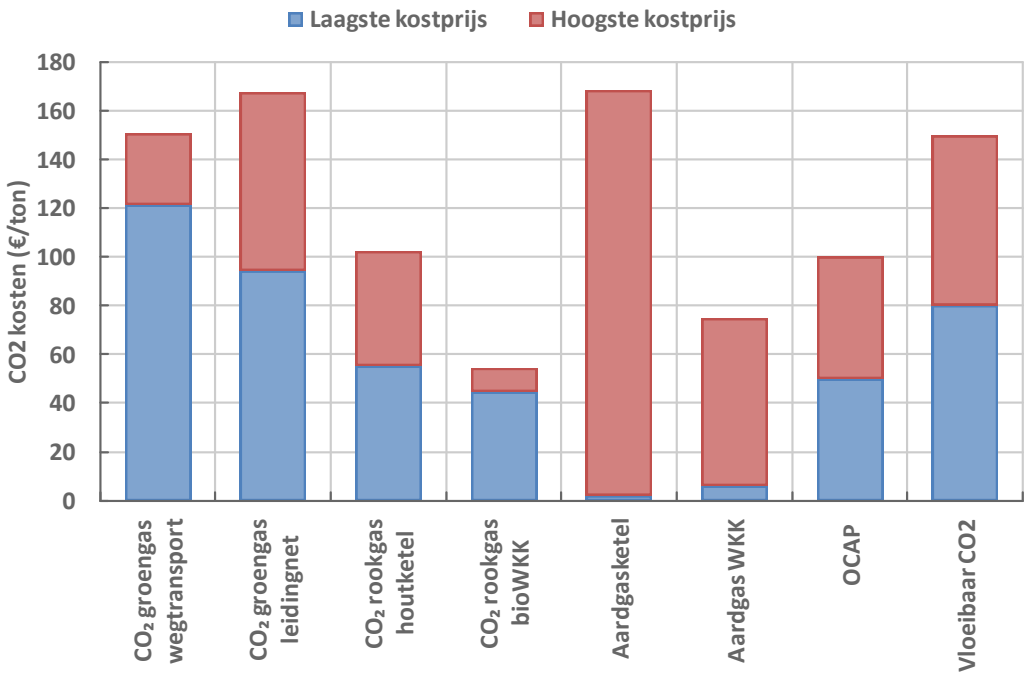
In de volgende figuur zijn de kosten voor groene CO_2-levering weergegeven met de referentiekosten uit paragraaf 5.1. Te zien zijn onderstaande groene CO_2-concepten;

- GFT-vergister, 60 kton/jaar GFT en 100 Nm^3 biogas/ton GFT met CO_2 uit de groengas-installatie met 4 en 8 km CO_2 leiding. CO_2 winning vindt plaats op basis van een combinatie van actief kool, membraan en CO_2 vervloeien. 60% van de beschikbare CO_2 wordt rechtstreeks geleverd, dus zonder buffer, de rest wordt gasvormig afgeblazen;
- GFT-vergister, 60 kton/jaar GFT en 100 Nm^3 biogas/ton GFT met CO_2 uit de groengas-installatie met 50 tons CO_2 buffer, CO_2 transport over de weg over 50 en 150 km en CO_2 tankhuur bij de tuinder. CO_2 winning vindt plaats op basis van een combinatie van actief kool, membraan en CO_2 vervloeien. 60% van de beschikbare CO_2 wordt geleverd, de rest wordt afgeblazen;
- Covergister met 2 MWe biogas-WKK met CO_2 uit de rookgasreinigings-installatie, bij 100% warmtebenutting, met 100 meter en 1 km biogasleiding. Biogasreiniging vindt plaats op basis van een combinatie van ijzerchloride, biogasdroger, actief koolfilter en rookgasreiniging op basis

van deNO_x en OxyCat, 50% van de beschikbare CO_2 wordt geleverd. Deze techniek is echter nog niet robuust;

- 4 MWth houtketel met CO_2 uit rookgasreinigings-installatie, bij 100% warmtebenutting/ warmtevernietiging, waarvan 30% van de warmte wordt benut voor CO_2 uitdampen, met 100 meter CO_2 leiding. CO_2 winning op basis van een combinatie van gaswas-technologie met stabiele solvent, absorptie- en regeneratietoren, restwarmte recuperatie en CO_2 buffering in 50 tons solvent tank. De 500 kWth houtketel is in figuur 5 echter achterwegen gelaten daar de CO_2 kosten vanaf 164 €/ton uit de pas lopen.

De invloed van kosten voor opslag, wegtransport, leiding zijn groot op de totale kosten. In deze Quick scan zijn enkele standaard afstanden meegenomen. De resultaten van de indicatieve kostenberekening zijn weergegeven in de volgende grafiek.



Figuur 5 – Indicatie van laagste- en hoogste kosten van groene CO_2 ten opzichte van verschillende CO_2 referentiekosten. Bandbreedte:

1. *CO_2 groengas wegtransport; 50 en 150 km;*
2. *CO_2 groengas leidingnet; 4 en 8 km;*
3. *CO_2 rookgas houtketel; 4 MWth, 100% warmtebenutting/ warmtevernietiging;*
4. *CO_2 rookgas biogas-WKK; 0,1 en 1 km;*
5. *CO_2 uit rookgas aardgasketel; 100% warmtebenutting/ warmtevernietiging;*
6. *CO_2 uit rookgas aardgas-WKK; 100% warmtebenutting/ warmtevernietiging;*
7. *CO_2 van OCAP; gemiddelde minimale en maximale afstand aansluitleiding en capaciteit;*
8. *CO_2 vloeibaar; gemiddelde minimale en maximale leveringsafstand en capaciteit.*

De getoonde CO_2-kosten in figuur 5 zijn nadrukkelijk een indicatie. Een specifieke technische- en economische haalbaarheidsstudie op locatie biedt meer zekerheid. De CO_2-kosten zijn gebaseerd op een optimale integratie van ad-on technieken. De CO_2 kosten zijn dan ook niet integraal berekend maar partieel. Dat wil zeggen dat alleen de extra kosten in beschouwing zijn genomen die nodig zijn voor de productie en levering van CO_2 voor bemesting. Daarnaast is de kostprijs afhankelijk van de hoeveelheid en kwaliteit van de CO_2 die geproduceerd c.q. geleverd wordt. De verschillende CO_2 concepten leveren verschillende kwaliteiten en hoeveelheden CO_2. Zo levert een ketel per eenheid warmteproductie minder CO2 (kg/GJ) dan een WKK-installatie.

Ten tweede bestaan er in de glastuinbouw grote verschillen in CO_2 behoefte. Ook worden veelal combinaties van verschillende CO_2 bronnen gebruikt. Uiteraard heeft dit invloed op de CO_2-prijs van CO_2-winning. Deze factoren zijn echter niet meegenomen in de berekeningen.

Uitgaande van de beschreven concepten liggen de CO_2-kosten voor CO_2 uit het rookgas van een 4 MWth houtketel tussen de 55 en 102 €/ton. Daarmee kan CO_2 uit het rookgas van een grote houtketel een interessant alternatief zijn voor vloeibare CO_2-inkoop en de concurrentie aangaan met OCAP-CO_2. De CO_2 kosten van een kleine houtketel (500 kWth) beginnen vanaf 164 €/ton en zijn daarmee niet interessant. De CO_2-kosten voor CO_2 uit groengas op basis van een GFT-vergister met 4 en 8 km CO_2 leiding of transport over de weg concurreren slechts deels met vloeibare CO_2. Van een biogas-WKK op basis van een drijfmestvergister met 100 m en 1 km biogasleiding liggen de minimale groene CO_2-kosten het laagst met 45 €/ton. Echter bij het uitblijven van verbeterde, lees robuuste reinigingstechnieken, blijft deze techniek van CO_2 winning risicovol.

De groene CO_2 opties zijn in een aantal gevallen financieel interessant ten opzichte van vloeibare CO_2 inkoop. En in sommige situaties is de CO_2 prijs vergelijkbaar met OCAP-CO_2.

In de meeste gevallen wordt een WKK of aardgasketel gebruikt voor CO_2-levering. Vooral tijdens het zomerseizoen maakt men minder of geen gebruik van verwarming en belichting waardoor de CO_2 meer kostbaar is. Groene CO_2 kan dan in sommige gevallen zelfs goedkoper zijn dan de andere referenties.

In de volgende tabel is de opbouw van de groene CO_2 kosten weergegeven. De CO_2-kostprijs is berekend op basis de benodigde extra investering, 7% rente, 10 jaar afschrijving, onderhoud en exploitatie.

Systeem	Leiding	CO_2 levering	Investering CO_2 levering	Rente en afschrijving	Onderhoud en exploitaitie	CO_2 kosten
		ton/jaar	M€	k€/jaar	k€/jaar	€/ton
Houtketel (klein)	100 m	214	0,19	27	8	164
Houtketel (groot)	100 m	1609	0,17	25	64	55
Covergister BioWKK	100 m	1374	0,31	45	17	45
Covergister BioWKK	1 km	1374	0,41	58	17	55
GFT vergister, incl. 4km leiding	4km	2121	1,24	177	24	95
GFT vergister, incl. 8km leiding	8km	2121	2,33	332	24	168
GFT vergister, wegtransport 50 km	0km	2121	0,15	21	236	121
GFT vergister, wegtransport 150 km	0km	2121	0,15	21	299	151

Tabel 1 – Overzicht van investering- en variabele kosten (indicatief) voor groene CO_2 levering

Uit tabel 1 blijkt dat groene CO_2 uit het rookgas van een 4 MWth houtketel met 55 €/ton CO_2, in tegenstelling tot een 500 kWth houtketel (vanaf 164 €/ton CO_2), in een aantal gevallen een financieel aantrekkelijke optie is ten opzichte van de fossiele referenties. De optie CO_2 uit de GFT vergister met groengas-installatie en 4 km CO_2 leiding is met 95 €/ton CO_2 kostbaar. Wanneer de groengas-installatie en het tuinbouwgebied op minder dan 4 km afstand van elkaar liggen zullen de CO_2 kosten uiteraard ook lager liggen dan de 95 €/ton CO_2. Daar in de praktijk deze afstand niet veel voorkomt is deze niet meegenomen. Zoals in figuur 2 paragraaf 4.1 al aan bod is gekomen is CO_2 uit het rookgas van een houtketel ook te bufferen (deze optie is niet doorgerekend). Het CO_2 is dan opgelost in een zoutoplossing en komt weer vrij bij opwarming.

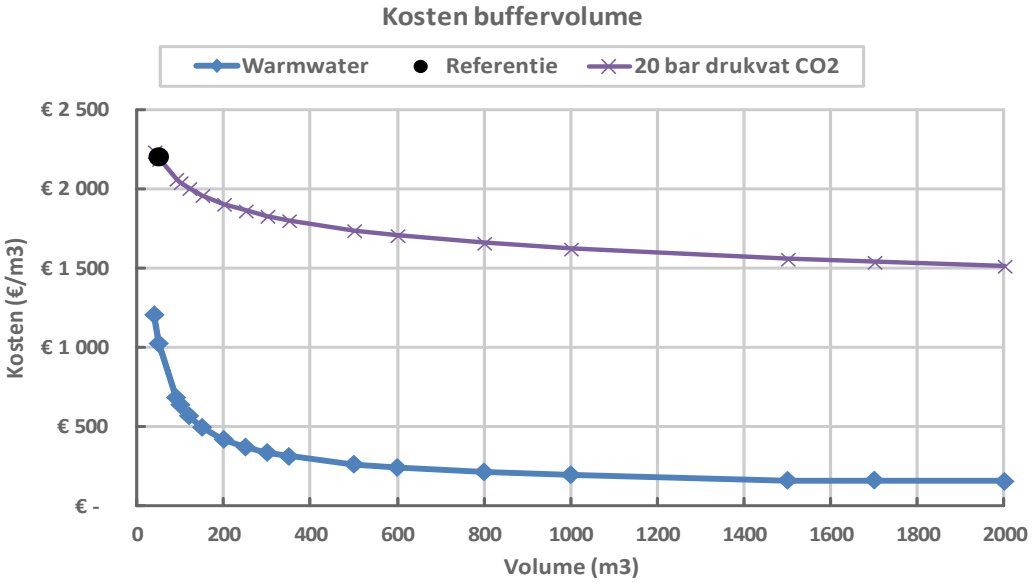
De CO_2-kosten zijn gebaseerd op een optimale integratie van verschillende technieken welke, zoals beschreven in het begin van deze paragraaf, benodigd zijn om zuiver CO_2 te winnen en te leveren. Wanneer reeds bij het ontwerp rekening wordt gehouden met de integratie van een CO_2-win-syteem zal dit een meer efficiënt systeem opleveren dan wanneer achteraf een CO_2-win-systeem wordt geplaatst. Dit aspect heeft vooral invloed op de CO_2-prijs van CO_2-winning uit het rookgas van een houtketel(-WKK). Het gebruik van een solvent vraagt namelijk extra warmte wat ten koste gaat van de warmte-behoefte in de kas of elektriciteitsproductie. Hier dient dan ook terdege rekening mee worden gehouden.

6. INPASSING EN LOGISTIEK

De grootste uitdaging qua inpassing en logistiek licht bij de CO_2 levering vanaf de groengasinstallatie. Het biogas is een mengsel van methaan en CO_2 en bij de productie van groengas houdt men CO_2 over. De groengasinstallatie verwijdert een groot deel van de CO_2, zodat het groengas dezelfde eigenschappen krijgt als aardgas. Een cryogene groengasinstallatie maakt gebruik van warmte terugwinning. De verdampingswarmte van de CO_2 wordt benut voor het koelen van de ingaande gasstroom. Wanneer de CO_2 vloeibaar wordt onttrokken, dan leidt dit tot een hoger elektriciteitsverbruik doordat de koelmachine meer koude moet leveren. Daarnaast loopt de warmtebehoefte van het gewas niet gelijktijdig met de CO_2-behoefte. Voor een verbeterd rendement is daarom warmte en/of CO_2 buffering wenselijk. Het gebruik van een (2000 m^3) CO_2 seizoensbuffer heeft voordelen ten opzichte van directe levering van CO_2 maar is bij de uiteindelijke berekende resultaten door de (te) hoge investeringskosten c.q. CO_2-prijs achterwegen gelaten. Onderstaande concepten in paragraaf 6.1 t/m 6.3 dienen dan ook als voorbeeld. Het concept in paragraaf 6.4, Géén buffer, levering in basisbehoefte CO_2 is, als goedkoopste optie wel meegenomen in de berekeningen.

6.1. Buffer

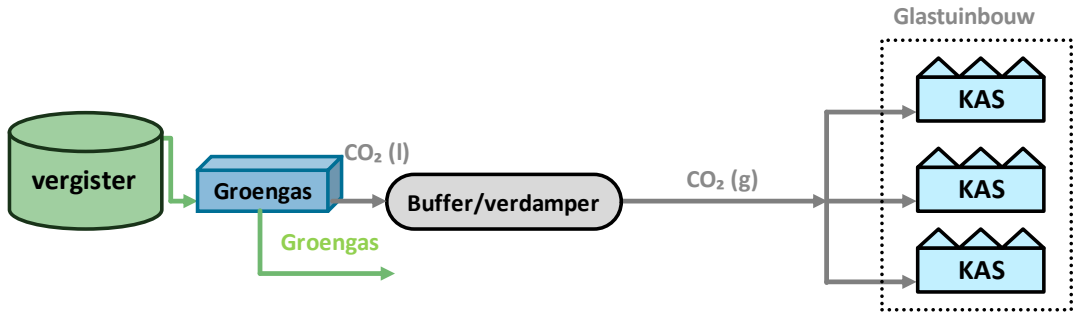
De kosten voor een buffer nemen snel af voor een groter volume. De reden is dat voor een groter buffervolume minder materiaal nodig is. Voor een buffervat geschikt voor een hoge druk blijven de kosten constant doordat ook de wanddikte toeneemt. In onderstaande grafiek (figuur 6) zijn de investeringskosten bij verschillende volumes weergegeven. De CO_2 buffer kosten (€/m^3) zijn gebaseerd op (eigen) kennis- en ervaringscijfers vanuit de praktijk en concrete offertes.



Figuur 6 – Investeringskosten van verschillende CO_2 buffers

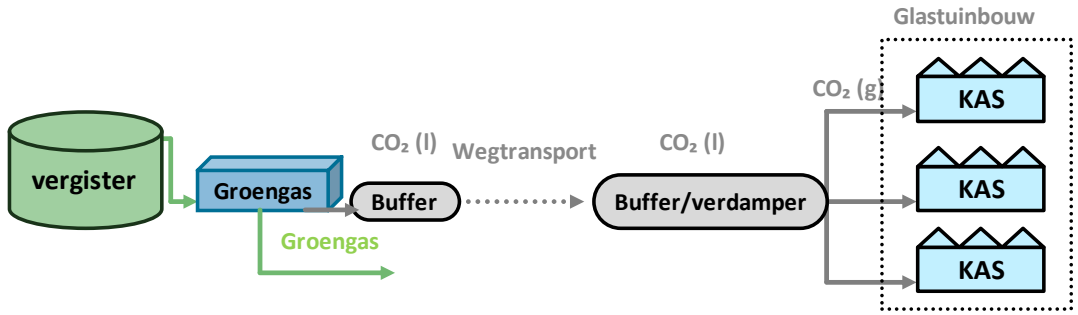
6.2. Buffer nabij groengasinstallatie

Bij de groengasinstallatie kan een groot centraal vloeibare CO_2 buffer/verdamper worden geplaatst. De buffer wordt continu gevuld vanuit de groengasinstallatie. De CO_2 wordt vanaf de buffer/verdamper aan het verder gelegen tuinbouwgebied geleverd.



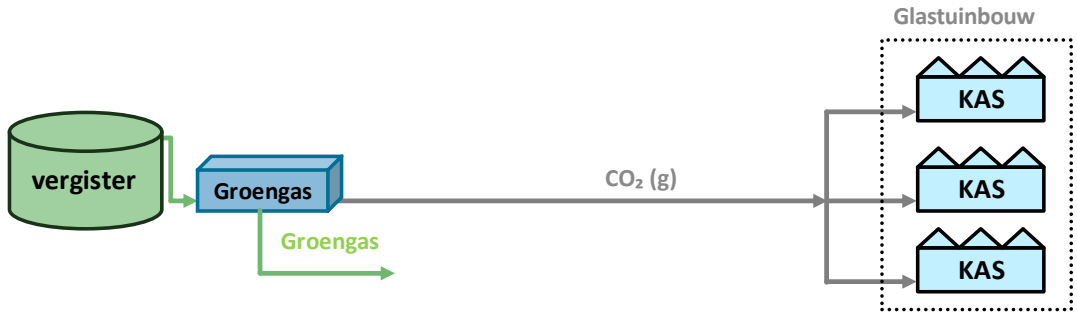
De CO_2 behoefte van het tuinbouwgebied is in het zomerseizoen hoger dan in de winter. Door de variatie in stromingssnelheid is een grotere leidingdiameter nodig tussen de buffer en de kassen.

6.3. Buffer centraal in tuinbouwgebied



Daar transport van vloeibare CO_2 via een leiding binnen de glastuinbouw niet gangbaar is kan ook gekozen worden voor vloeibaar CO_2 transport per as. Er zijn dan wel twee CO_2 buffers nodig. Eén nabij de groengas-installatie en een groot centraal vloeibare CO_2 buffer/verdamper binnen het glastuinbouwgebied.

6.4. Geen buffer, levering in basisbehoefte CO_2



Als niet alle benodigde CO_2 aan de kas wordt geleverd, maar alleen in de basis behoefte voorziet, dan kan de installatie goedkoper worden uitgevoerd. De maximale volumestroom door de leidingen neemt aanzienlijk af waardoor er een kleinere diameter leiding volstaat. Ook kunnen compressors en andere randapparatuur kleiner worden uitgevoerd. Op deze manier kan de installatie gedurende het gehele jaar een constante volumestroom CO_2 leveren. De piekvraag in de zomer kan voor een deel worden aangevuld met CO_2 van de ketel.

6.5. Leidingberekeningen.

In onderstaande tabel zijn de leidingkosten weergegeven voor verschillende opties van CO_2 levering in gasvormige fase bij een groengasinstallatie. De vetgedrukte rij is de voordeligste CO_2 leiding. Hierbij is het optimum gezocht tussen het elektriciteitsverbruik voor het verpompen en onder druk (dP) houden van de CO_2, leidingkosten en maximale druk. Het is goed te zien dat, bij eenzelfde hoeveelheid CO_2, de druk snel stijgt voor een iets kleinere diameter CO_2 leiding. En een hogere druk betekent automatisch hogere energie/exploitatiekosten. Het is dus belangrijk de juiste leidingdiameter te selecteren.

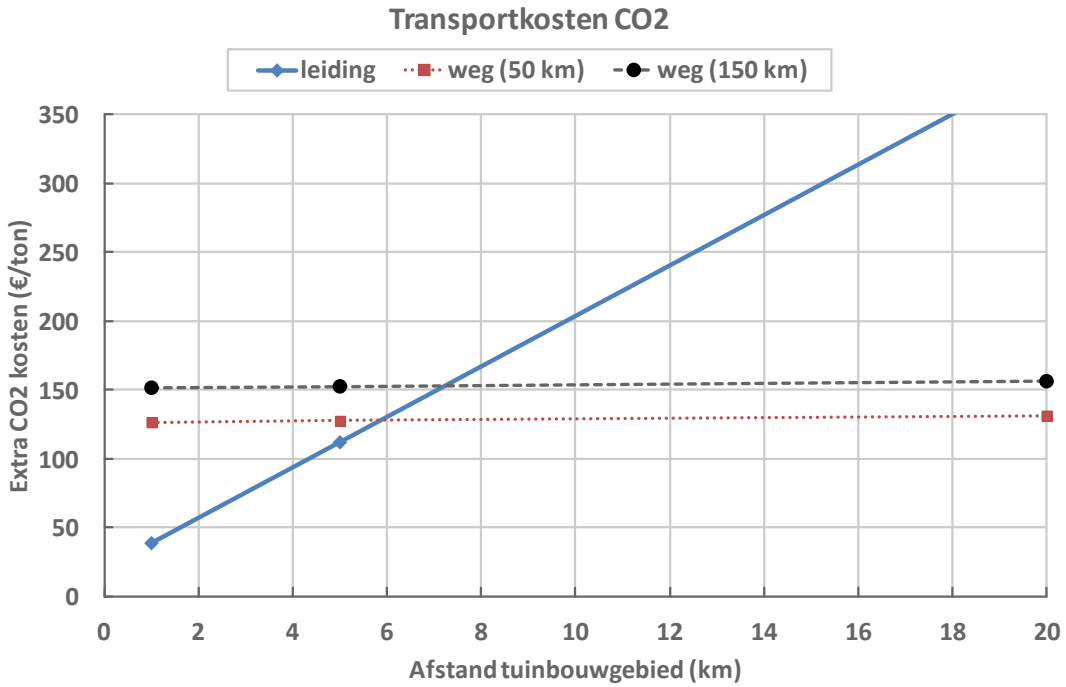
Lengte	Flow	d	dP	k_leiding
m	*kg/uur*	*mm^2*	*bar*	*€/m*
Geen buffer, levering basis CO (g) vraag & leidinglengte 8 km				
8000	2800	152	4	172
8000	**2800**	**203**	**1**	**210**
8000	2800	254	0	246
Geen buffer, levering basis CO (g) vraag & leidinglengte 4 km				
4000	2800	152	2	172
4000	**2800**	**203**	**0**	**210**
4000	2800	254	0	246

Tabel 2 – Leidingoptimalisatie voor de verschillende systeemopties voor CO_2 levering bij een groengasinstallatie. Vetgedrukt is de optimale situatie; investeringskosten vs energiekosten (dP).

De CO_2 leiding kosten (€/m) zijn gebaseerd op (eigen) kennis- en ervaringscijfers vanuit de praktijk en concrete offertes.

6.6. Transportkosten CO_2

De kosten voor CO_2 transport door een leiding in gasvormige fase en over de weg met een vrachtwagen in vloeibare fase zijn in de volgende grafiek (figuur 7) weergegeven. De kosten voor wegtransport zijn exclusief de CO_2-kosten en beginnen relatief hoog voor een korte afstand. Dit komt doordat de voorrijkosten, de overpomptijd en de huur van de opslagtank constant zijn. De voorrijkosten zijn afhankelijk van de afstand van het transportbedrijf tot de groengasinstallatie, in de legenda aangegeven als weg (50 km) en weg (150 km).



Figuur 7 – Logistieke kosten CO_2 levering via leiding tussen tuinbouwgebied en groengas installatie

De CO_2 transportkosten (€/ton) via de weg en leiding zijn gebaseerd op (eigen) kennis- en ervaringscijfers vanuit de praktijk en concrete offertes.

De extra CO_2 kosten zijn weergegeven voor 50 en 150 km afstand tussen de transporteur en groengasinstallatie. De kosten voor leidingtransport zijn laag voor een korte leiding, maar nemen sterk toe voor grotere afstanden.

Tot een afstand van 6 tot 7 kilometer is het aanleggen van een leiding voordeliger dan wegtransport. Daarboven is wegtransport goedkoper. Alleen al de transportkosten per ton CO_2 zijn voor wegtransport kostbaar, waardoor er nauwelijks een winstmarge overblijft voor de CO_2 afnemers en producent.

6.7. CO_2-kwaliteitscontrole

Ter voorkoming van vervuiling van de CO_2 tankwagen vraagt de CO_2-transporteur de CO_2-leverancier om een CO_2- kwaliteitscontrole/analyse. Ten behoeve van de aansturing van het vergistings- en groen gas proces wordt in de praktijk weliswaar de CO_2 kwaliteit gemonitord maar dit is onvoldoende garantie voor de transporteur. Daarnaast is de CO_2-kwaliteit van technisch CO_2 niet de kwaliteit van Food grade CO_2. Er zal dan ook een gescheiden CO_2 kwaliteitscontrole/analyse te moeten plaatsvinden. De kosten hiervan zijn 240 € per kwaliteitscontrole/analyse per tankwagen op basis van food grade CO_2 kwaliteit.
Wanneer het vullen van een (50 tons) CO_2 buffer bij een groengas installatie een continu proces is dient per 20 tons CO_2 tankwagen een CO_2-kwaliteitscontrole plaats te vinden. Als na een jaar blijkt dat de CO_2 kwaliteit binnen de gewenste bandbreedte blijft volstaat in de praktijk een periodieke of steekproefsgewijze CO_2 kwaliteitscontrole.
Wanneer de 50 tons CO_2 buffer wordt afgesloten van de CO_2-voeding c.q. groengas-installatie volstaat slechts één meting. Het gaat hier om een batchgewijze CO_2 productie. Hiermee wordt tenminste één kwaliteitscontrole uitgespaard.
Wanneer de CO_2 per leiding aan de tuinder wordt geleverd doet de tuinder er tevens goed aan de inkomende CO_2 kwaliteit te monitoren.

7. STIMULERINGSMAATREGELEN

Om een zo reëel mogelijk beeld te krijgen van de CO_2-prijs van de verschillende CO_2 win-technieken is gerekend met het fiscale voordeel van de EIA-regeling. In dit hoofdstuk wordt naast de EIA ook de SDE+ toegelicht.

7.1. EIA

CO_2-winning en levering wordt via de fiscale regeling EIA 2013 gestimuleerd. Via de EIA 2013 (Energie-investeringsaftrek) kan voor energiebesparende bedrijfsmiddelen en duurzame energie tot 41,5 % van de investeringskosten fiscaal van de winst worden afgetrokken. Dit scheelt effectief 11% op de investering. De volgende installaties komen hiervoor in aanmerking:

- "Transportleiding voor levering van gasvormig CO_2 aan glastuinbouwbedrijven (EIA 221005)" voor het bemesten van gewassen in tuinbouwkassen. Bestaande uit: pijpleiding tussen de externe bron en het glastuinbouwbedrijf, (eventueel) CO_2-reinigingsapparatuur, (eventueel) CO_2 compressor/ventilator ten behoeve van CO_2-transport naar het glastuinbouwbedrijf. Exclusief: distributiesysteem voor CO_2 in de kas, CO_2 afvang, CO_2 opslag in de bodem en CO_2 compressor ten behoeve van opslag in de bodem;
- "Rookgasreiniging voor CO_2-bemesting" (EIA 221213) voor het reinigen van rookgassen van het krachtwerktuig van een warmtekrachtinstallatie, mits de gereinigde gassen gebruikt worden voor CO_2-bemesting in tuinbouwkassen, en bestaande uit: rookgasreiniger (reactor), rookgascondensor. Het betreft hier de reinigingsinstallatie voor rookgassen van een WKK en géén CO_2-doseringsinstallatie.

Voor de berekeningen is alleen 11% korting op de investering van de transportleiding en 11% korting op de helft van de investeringskosten van de rookgasreinigingsinstallatie meegenomen.

7.2. SDE 2011-2012-2013

Tot nu toe zijn twaalf groengas-projecten gerealiseerd (zie Appendix II) en zijn er over 2012 verschillende groen gas projecten SDE beschikt. Zie voor de meest recente status de internetsite van Stichting Groen Gas Nederland (**www.groengas.nl**). Kijkend naar de projecten die ingediend zijn voor de SDE 2011 en 2012 is groengas populair. In 2011 ging van de 1,5 miljoen Euro aan SDE 882 miljoen Euro naar negentien aanvragen voor allesvergisting met biogas naar groengas-opwerking. De groengas-initiatieven hebben een gemiddelde productiecapaciteit van 950 m^3/h (Een groengas-installatie wordt pas lucratief tussen de 500 en 1.000 Nm^3 per uur 1 MWe staat voor circa 275 Nm^3 groengas per uur). Deze groengas initiatieven hebben de potentie om circa 7.980 ton CO_2 per jaar te leveren. Uiteraard worden niet alle aanvragen en/of toegekende projecten ook daadwerkelijk gerealiseerd en zijn de ambities van de regering om 3 miljard Nm^3 groengas per jaar te produceren niet haalbaar daar er onvoldoende coproducten beschikbaar zijn en de rentabiliteit van de vergisters onder druk staat door de explosief gestegen biomassaprijzen. Daar komt bij dat met een Biobased

Economy en efficiëntere verwerkingsroutes, steeds laagwaardigere biomassa-stromen opgewaardeerd worden ten behoeven van hoogwaardige producten. Hierdoor ontstaat extra concurrentie tussen biomassa ten behoeve van energietoepassingen en hoogwaardigere toepassingen.

Toch is de verwachting dat er, gezien de SDE+ 2013 vergoeding veel groengas-projecten worden ingediend met de potentie van CO_2 levering. Wel dient in acht te worden genomen dat de CO_2 aanbieder voor winstmaximering zal gaan waarbij de hoogste bieder, binnen of buiten de glastuinbouwsector bevindt.

REFERENTIES

[1] "De beschikbaarheid van biomassa voor energie in de agro-industrie"; Wolter Elbersen, Bas Janssens en Jaap Koppejan; Wageningen UR Food & Biobased Research (WUR); 2010.

[2] "Emissies uit WKK installaties in de glastuinbouw"; Th.A.Dueck e.a.; Wageningen UR (WUR); 2008.

[3] "CO_2 dosering in de biologische glastuinbouw, Onderzoek naar alternatieve bronnen, Toepassingen in gangbare tuinbouw"; WUR Glastuinbouw, P.C.M. Vermeulen, 2010

[4] "Risico-evaluatie toepassing Groen Gas in de Nederlandse Glastuinbouw", C.J. van Dijk et al, Wageningen UR glastuinbouw, 2009.

[5] "Luchtkwaliteit in de kas voor mens, dier en gewas", J.Heistek, Stichting CropEye, 2010.

[6] "Tien Groen Gas-projecten in Nederland"; AgentschapNL; 2011.

[7] **www.degroenteenfruit.nl**, nr. 34, 2010.

[8] "Opensteling SDE+ 2012"; Min. EL&I; 2011

[9] "Inventarisatie biogas rwzi's"; Nieuwenhuijzen, A.F. van, SenterNovem, 2009

[10] "Nieuwe technieken in de slibketen, Slibketenstudie II"; Stowa, Amersfoort, 2010

[12] "Eindrapport "Winning en opslag van CO_2 uit WKK rookgassen"; KEMA, M. Huibers, 2009

[13] Leaflet 'Kwaliteit kaslucht cruciaal voor goede productie, Tips uit onderzoek en praktijk voor een beter resultaat', Kas als Energiebron, februari 2012

[14] "CO2 bij paprika: meerwaarde en beperkingen"; Wageningen UR Glastuinbouw, Nota 494, Anja Dieleman, Jeroen Zwinkels, Arie de Gelder, Ingrid Kuiper, Feije de Zwart, Chris van Dijk & Tom Dueck, Productschap Tuinbouw, DLV Plant, LTO Groeiservice, 2007

[15] "Effecten van stikstofoxiden en etheen op paprika", Wageningen UR Glastuinbouw, C.J. van Dijk, E. Meinen & Th. A. Dueck, Rapport 317, Productschap Tuinbouw, 2010

[16] "Grenzen voor luchtkwaliteit, Effecten van discontinue blootstelling aan etheen en stikstofoxiden op paprika", Wageningen UR Glastuinbouw, C.J. van Dijk, E. Meinen & Th. A. Dueck, Rapport GTB-1107, Productschap Tuinbouw, Kas als Energiebron, Ministerie van EL&I, 2011

Appendix I. LIJST VAN LEVERANCIERS

De volgende leveranciers zijn benadert, te weten:

- Cirmac
- Fuji-film
- Gas Treatment Services (GtS)
- GEA
- HoSt Imtech
- Hanwel
- KEMA
- Knook
- Paques
- Pentair Haffmans
- Procédé Gas Treating
- Schmack Biogas/ Carbo Tech
- Steuler
- Wittemann

Appendix II. GROENGAS PROJECTEN

Andere groengas projecten waarvan gegevens bekend zijn ten aanzien van de groengas-capaciteit en opwerktechniek staan hieronder vermeld:

- Tilburg, Attero, Stortgasinstallatie, 300 Nm^3 groengas/h, ca. 2.520 ton CO_2/jaar, Waterscrubber, sinds 1987
- Wijster, Attero, Stortgasinstallatie, 500 Nm^3 groengas/h, ca. 4.200 ton CO_2/jaar, Kooladsorptie, 1989
- Collendoorn, Stortgasinstallatie, Stortplaats Slagenweg, 25 Nm^3 groengas/h, ca. 210 ton CO_2/jaar, Membraanfilter, 1990
- Nuenen, Stortgasinstallatie, Carbiogas BV-Gulberg Nuenen, 0,31 MWe WKK, 750 Nm^3 groengas/h, ca. 6.300 ton CO_2/jaar, Kooladsorptie, PSA, 1990
- Beverwijk, Rioolwaterzuiveringsinstallatie met vergister, Biogast Sustainable Energy BV-RWZI Beverwijk, 80 Nm^3 groengas/h, ca. 672 ton CO_2/jaar, Membraanfiler, kooladsorptie, 2006
- Mijdrecht, Rioolwaterzuiveringsinstallatie met vergister, BioGast Sustainable Energy-RWZI Mijdrecht, 40 Nm^3 groengas/h, ca. 336 ton CO_2/jaar, Gaswasser (Coab), 2009
- Groningen, Attero locatie Groningen, Onf-vergistingsinstallatie (40kton Organische natte fractie/ jaar), 700 Nm^3 groengas/h, ca. 5.880 ton CO_2/jaar, Gaswasser (Coab), 2010
- Zwolle, Natuurgas Overijssel (ROVA), Gft-vergistingsinstallatie (45kton gft-afval/jaar), 420 Nm^3 groengas/h, ca. 3.528 ton CO_2/jaar, Waterscrubber, 2010
- Bunschoten-Spakenburg, A v/d Groep en Zonen BV, VGI-vergisting (33.000 m^3 substraat/jaar), 0,63 MW elektrisch, 690 Nm^3 groengas/h, ca. 5.796 ton CO_2/jaar, Waterscrubber, 2010
- Well, EcoFuels BV VGI-vergisting 130.000 ton substraat/jaar 2,40 MWe WKK, 300 Nm^3 groengas/h, ca. 2.520 ton CO_2/jaar, Membraanfilter, kooladsorptie 2011
- Witteveen, Bouwhuis Biovergisting B.V. Co-vergistingsinstallatie, 36 kton ton maïs en andere agrarische stromen/jaar, 1,59 MWe WKK, 200 Nm^3 groengas/h, ca. 1.680 ton CO_2/jaar, Membraanfilter, kooladsorptie 2010
- Aalsmeer, De Meerlanden, 50 kton GFT-afval/jaar, 2,5 mln Nm^3 groengas/jaar, ca. 2.500 ton CO_2/jaar, absorptie, cryogeen 2011

Deze projecten tezamen vertegenwoordigen een CO_2 potentie van circa 36 kton per jaar.

Appendix III. FOOD GRADE EN ISBT-CO_2

CO_2 Specification	Food Grade CO_2	
Parameters	**LPE #**	**Units**
Composition		
CO_2 Purity	≥ 99.9%	v/v
Moisture Content		
H_2O	≤ 20	ppm v/v
Dew point		
Non Condensable Gases		
N_2	Nothing	
O_2 + Ar	≤ 30	ppm v/v
Dissolved O_2	< 5	ppm v/v
Trace Impurities		
Carbon monoxide (CO)	≤ 10	ppm v/v
Total volatile Hydrocarbons (measured as CH_4)	≤ 50	ppm v/v
Total Hydrocarbons excluding CH_4 (C_1 + C_2)	≤ 20	ppm v/v
Non Volatile residue	≤ 10	ppm v/v
Non Volatile organic	≤ 5	ppm v/v
Volatile Mercaptans, Sulfides, Disulfides	Nothing	
1.3 Butadiene		
Ammonia	≤ 2.5	ppm v/v
Heavy Hydrocarbon (C_2+)		
Ethylene Glycol	Nothing	ppm v/v
Aromatic hydrocarbon content (Benzene)	≤ 0.02	ppm v/v
Unsatured Hydrocarbons	Nothing	ppm w/w
Oil and Grease (NVOC)	1.6	ppm w/w
NOX (NO + NO_2)	≤ 2.5	ppm v/v each
HCN (coal gasification only)	≤ 0.5	ppm v/v
Phosphine (phosphate source only)	≤ 0.3	ppm v/v
Vinyl Chloride	Nothing	
Ethylene oxide	Nothing	
Other volatile oxygenates	Nothing	
Acidity test (Jecfa)	To past the test	
Hydrogen sulfides, other organic reductive substances		
(JECFA)	To past the test	
COS	≤ 0.1	ppm v/v
Total sulfur	≤ 0.1	ppm v/v
SO_2	≤ 1	ppm v/v
H_2S	≤ 0.1	ppm v/v
Volatile Oxygenated hydrocarbons		
Acetaldehyde (fermentation source only)	≤ 0.2	ppm v/v
Alcohols		
Acetone		
Ethyl Acetate		

Parameters	LPE #	Units
Methyl Ethyl Acetone		
Ethanol	Nothing	ppm v/v
Phenols	Nothing	
Organoleptic		
Appearance in water	No colour or turbidity	
Odour of solid CO_2 (snow)	Odourless	
Odour and taste in water	No foreign odour or taste in water	

Carbon Dioxide Specifications

Purity Criteria	E 290 additive specification	ISBT recommendation
Minimum Purity	> 99% V	> 99% V
Oxygen (O_2)	-	≤ 30 ppm V
Carbon monoxide (CO)	≤ 10 ppm V	≤ 10 ppm V
Moisture (H_2O)	-	≤ 20 ppm V
Nitric oxide (NO)	-	≤ 2.5 ppm V
Nitrogen dioxide (NO_2)	-	≤ 2.5 ppm V
THC (1)	-	≤ 50 ppm V
THC (without methane)	-	≤ 20 ppm V
TS (2)	-	≤ 0.1 ppm V
Sulfur dioxide (SO_2) if TS>0.1 ppmV	-	≤ 1 ppm V
Carbonyl sulfide (COS) if TS>0.1 ppmV	-	≤ 0.1 ppm V
Hydrogen sulfide (H_2S) if TS>0.1 ppmV		≤ 0.1 ppm V
Reducing substances, hydrogen sulfide and phosphide	Silver nitrate test: negative	-
Ammonia (NH_3)	-	≤ 2.5 ppm V
Phosphine (PH_3)	-	≤ 0.3 ppm V
Acetaldehyde	-	≤ 0.2 ppm V
Benzene	-	≤ 0.020 ppm V
NVOC (1)	≤ 0.1 mg/1 (4)	≤ 5mg/kg
Non volatile residue (powder)	-	≤ 10mg/kg
Acidity (methyl orange test)	Methyl orange test: negative	-
Odor	-	None
Taste	-	None

1) THC : Total Hydrocarbons measured as methane
2) T.S. : Total Sulfur measures using a fluorescence technical
3) NVOC : Non Volatile Organic Compounds (oil and grease)
4) According to Jecfa 29, 0.1 mg/l of solvent is equivalent to 1.6 mg/kg of CO2

Appendix IV. CHECKLIST CO_2-DOSERING

Bron: www.energiek2020.nu/uploads/media/Checklist_CO2_dosering.pdf

Checklist CO_2-dosering

Interpolis

Deze checklist is opgesteld door Interpolis voor gebruikers van installaties tbv CO_2-dosering in de glastuinbouw.
De lijst kwam mede tot stand door samenwerking in het project AirQ/Grenzen voor Luchtkwaliteit dat ondersteund wordt vanuit het programma kas als energiebron.
Onderstaande lijst bevat aandachtspunten voor zowel nieuw aan te leggen installaties als bestaande installaties.
De lijst gaat uit van de meest gebruikelijke situatie, dwz een WK/installatie met rookgasreiniger als primaire CO_2-bron.
Neem de lijst door en stel vast welke relevant zijn. Stel vervolgens vast welke éénmalig en welke terugkerend van toepassing zijn. Vragen of opmerkingen hierover kunt u stellen bij Berry Looijen (h.looijen@interpolis.nl of 06-20369339) of Peter van der Sar (pg.vd.sar@interpolis.nl of 06-53805837).

Aandachtspunt	Check	Actiepunten	Achtergrondinformatie
Opstelling			
Schoorstenen		Waar en hoelang	Rookgassen uit schoorstenen van WK-installaties kunnen flinke concentraties verontreinigingen bevatten. Afhankelijk van het weersomstandigheden kunnen deze rookgassen via de luchtramen het gewas bereiken. Dit staat een optimale groei in de weg. Kies daarom voor een maximale schoorsteenlengte en een zo groot mogelijke afstand tot de kas zodat de verdunning van verontreinigingen in de rookgassen maximaal is. Plaats de WK-installatie bij voorkeur op een locatie van het bedrijf waardoor bij de meeste gangbare windrichting de rookgassen niet over de kassen afgevoerd worden.
Binnen/buiten de omkasting		Plaats de rookgasreiniger binnen de omkasting van de WK-installatie	Rookgasreinigers kunnen schadelijke rookgassen lekken. Dit is gevaarlijk voor mens en gewas. De geforceerde ventilatie in de geluidswerende omkasting van de WK-installatie is een goede waarborg dat lekkende rookgassen naar buiten toe worden afgevoerd. Bij voorkeur wordt de rookgasreiniger binnen de geluidswerende omkasting van de WK-installatie geplaatst. Ook vanwege de grote warmteproductie wordt de rookgasreiniger bij voorkeur binnen de goed geventileerde omkasting van de WK-installatie geplaatst. Zorg wel dat de besturingspanelen buiten de omkasting geplaatst worden.

Aandachtspunt	Check	Actiepunten	Achtergrondinformatie
		Plaats de WK-installatie met rookgasreiniger niet onder een glazen kasdek	Plaats de WK-installatie met rookgasreiniger bij voorkeur niet onder een glazen kas-dek vanwege het risico van wateroverlast en oververhitting door instraling. Wordt hier toch voor gekozen, zorg dan er geen helder glas gebruikt wordt of breng op een andere wijze een permanente zonwering aan. Zorg dat de panelen voor de besturing en bewaking dmv een duurzame overkapping afgeschermd worden tegen wateroverlast.
		Scherm panelen af tegen wateroverlast.	
Scheiding tov kas		Kies bij aanleg voor een luchtdichte scheiding, zoals dmv sandwich panelen.	Wanneer de rookgasreiniger buiten de WK-ruimte staat opgesteld en deze ruimte grenst aan de kas of teeltruimte, dan bestaat er een risico voor gewasschade afhankelijk van de uitvoering van deze scheiding. Bij lekkage aan de rookgasreiniger kunnen de verontreinigingen het gewas bereiken. Glazen tussengevels vormen het grootste risico omdat deze slecht af te dichten zijn en vanwege ruitbreuk die onopgemerkt blijft of niet tijdig gerepareerd wordt.
		Voorkom doorvoeren in de scheidingswand of tussengevel of voer deze luchtdicht uit.	
Voldoende ventilatie		Zorg voor voldoende ventilatie ter voorkoming van oververhitting van panelen van de WK-installatie en rookgasreiniger	De panelen van WK-installatie en rookgasreinigers hebben flink te leiden wanneer de ruimte onvoldoende geventileerd wordt. Gevolg is toename van storingen, afname van levensduur van apparatuur, onjuist functioneren van de bewakingsapparatuur en brand. Zorg daarom dat de omgevingstemperatuur te allen tijde onder de temperatuur blijft die de fabrikant hiervoor opgeeft. Natuurlijke ventilatie is vaak niet voldoende, breng zo nodig geforceerde ventilatie aan.
Omkasting op over- of onderdruk		Bespreek bij aanschaf van een WK-installatie de wijze van ventileren van de WK-omkasting en stel de consequenties vast.	De ventilatie van de meeste WK-installaties wordt op onderdruk bedreven. Dat wil zeggen dat de verse lucht door de omkasting wordt gezogen waardoor er in deze ruimte onderdruk heerst. (installaties waarvan de toegangsdeur vanzelf sluit of dichtklapt worden op onderdruk geventileerd). Er zijn ook WK-installaties die op overdruk worden geventileerd. Nadeel is dat bij lekkage van aardgas of rookgas er altijd een klein deel hiervan naar de ruimte verdwijnt waar de omkasting staat opgesteld. Dit heeft consequenties voor de mensen die deze ruimte betreden en eventueel voor de gewassen, zie o.a. scheiding tov gewas en CO_2-ventilator.
Uitvoering CO_2-klep		Zorg voor een klep die 100% sluit en een terugmelding op de dichtstand	De CO_2-klep die in het kanaal vanaf de gasketel gemonteerd wordt, is van oudsher een klep die per definitie een aantal procenten lekt. Voor een klep die de rookgasreiniger moet afsluiten is dit niet acceptabel, deze klep moet 100% sluiten. Daarnaast is een terugmelding op de dichtstand noodzakelijk die de CO_2-dosering én de WK-installatie blokkeert wanneer de klep niet dicht is terwijl de rookgasreiniger niet vrijgegeven is.

Aandachtspunt	Check	Actiepunten	Achtergrondinformatie
CO_2-ventilator		Zuig alleen schone buitenlucht mee via de bijmengopening.	Via de bijmengopening vlak voor de CO_2-ventilator, werd van oudsher omgevingslucht uit de stookruimte gezogen. Hier kunnen verontreinigen worden meegezogen waarop niet bewaakt wordt en welke door de hele kas verspreid zullen worden. Vanwege verdunning blijft gewasschade vaak beperkt of zelfs onopgemerkt. Klassiek in dit verband zijn de rookgaslekkages aan rookgasreinigers die via dit aanzuigpunt over de hele kas gewasschade veroorzaken. De standaard bewaking van de rookgasreiniger kan hier niet op ingrijpen. Beter is om de bijmengopening naar buiten toe uit te voeren. Zorg wel dat dit punt uit de buurt van schoorstenen (bij voorkeur minimaal 20 25-30 meter afstand) en losplaatsen van vrachtauto's gekozen wordt.
Onderdruk beveiliging op CO_2-collector		Voer de CO_2-collector en –aanzuigleidingen uit met een mechanische onderdruk-beveiliging.	CO_2-ventilatoren kunnen een flinke onderdruk veroorzaken wanneer de toevoer van rookgassen beperkt wordt, bijvoorbeeld door een storing. Hierdoor raken CO_2-aanzuigleiding en –collectoren beschadigd. Omdat het vaak maatwerk betreft lopen de kosten van herstel en de gewasschade door tekort aan CO_2 vaak flink op. Zorg voor een vacuümklep van voldoende capaciteit die zelfstandig en onafhankelijk van elektrische voeding te allen tijde zal ingrijpen. Voer de toevoeropening naar buiten toe uit zodat via dit punt geen verontreinigingen het gewas kunnen bereiken.
CO_2-systeem volledig afsluiten		Zorg dat nergens omgevingslucht wordt meegezogen.	In de leidingen voor rookgassen aan de zuigzijde van de CO_2-ventilator heerst onderdruk. Onbedoelde openingen door beschadiging of condensafvoerleidingen zonder waterslot (sifon) leidt tot het meezuigen van omgevingslucht. Verontreinigingen (bijv rookgaslekkages) die op deze manier worden meegezogen worden meestal niet gesignaleerd door de bewaking omdat deze in dit deel van de installatie beperkt is tot bewaking op CO of niet bestaat.
Bypass over de CO_2-klep		Voer condens van voor en na de CO_2-klep gescheiden af.	Condens van de rookgasreiniger, -koeler en –condensor wordt gebruikelijk via een condensput verzameld en van daaruit afgevoerd. Condens dat na de CO_2-klep wordt opgevangen, kan beter niet via deze condensput worden afgevoerd. Deze afvoer-leidingen staan niet vol met water en kunnen dus ook rookgassen doorlaten. Ook een condensput kan door een storing droog komen staan. Hierdoor kan een gevaarlijke bypass over de CO_2-klep ontstaan waardoor rookgassen van een verkeerde kwaliteit toch naar de kas gebracht worden. Voer de condens daarom bij voorkeur gescheiden af of breng een sifon aan in de afvoerleiding.

Aandachtspunt	Check	Actiepunten	Achtergrondinformatie
Alternatieve CO_2-bron		Welke alternatieven zijn beschikbaar en bruikbaar?	Een WK-installatie en/of rookgasreiniger moet wel eens uit vanwege onvoorziene storingen of onderhoud. Dit kan meerdere dagen of zelfs weken duren. Als de WK-installatie wel kan en moet draaien vanwege bijvoorbeeld stroomproductie, is er dan een alternatieve bron beschikbaar? Is er voldoende gas beschikbaar om de gasketel aan te zetten terwijl de WK-installatie draait? Is de kwaliteit van de gasbrander goed zodat de rookgassen als CO_2 kan worden benut? Kies voor een brander met de laagste NO_x emissies.
		Kwaliteitscontrole ketel-CO_2	De bewaking op de kwaliteit van rookgassen van de ketel te beperkt tot een CO bewaking. Controleer deze regelmatig op juist functioneren. Zorg daarnaast bij elke brander controle ook de NO en NO_2 van de rookgassen bij de verschillende branderstanden worden vastgesteld. Zorg dat deze rapporten bewaard worden zodat eventueel verloop tov eerdere metingen kan worden vastgesteld.

Aandachtspunt	Check	Actiepunten	Achtergrondinformatie
In bedrijf name			
EBI-keuring		Is de EBI-keuring uitgevoerd?	Voor stookinstallaties zoals een WK-installatie bestaat er een wettelijke verplichting om deze na aanleg te keuren. Deze Eerste Bijzondere Inspectie (EBI) moet worden uitgevoerd door een SCIOS (scope 4) gecertificeerde partij. In dit rapport wordt ook de termijn tot de volgende periodieke Inspectie (PI) aangegeven. Zie ook www.scios.nl
CO_2-klep goed aangesloten		Zorg voor een schriftelijke bevestiging dat de terugmelding functioneert.	Omdat voor het functioneren van deze terugmeldingen vaak meerdere toeleveranciers betrokken zijn, bestaat het risico dat niemand het aansluiten en testen voor zijn rekening neemt. Bespreek dit in bouwvergaderingen en benoem één eindverantwoordelijke die schriftelijk bevestigt dat zaken op dit punt in orde en getest zijn.
Automatische ijking goed ingesteld		Wordt de etheenbewaking automatisch geijkt?	Etheenbewakingsapparatuur moet regelmatig geijkt worden. Veelal vindt dit automatisch plaats. Meestal elke 3 dagen of nog frequenter. Zie er op toe dat dit bij inbedrijfname juist ingesteld wordt.
Grenswaarden NO/NO_2/etheen		Staan de grenswaarden genoemd in het onderhoudscontract?	De meeste onderhoudscontracten op WK-installaties met rookgasreiniging worden afgesloten inclusief vervanging van de katalysatorblokken. Hierbij is het van belang om de grenswaarden te benoemen waarbij blokvervanging plaatsvindt. Hoewel deze grenswaarden per gewas kunnen verschillen, wordt o.a. voor verzekering de volgende grenswaarden gehanteerd: NO = 20 ppm; NO_2 = 13 ppm; C_2H_4 (etheen) = 450 ppb
		Zorg dat de overeengekomen grenswaarden juist staan ingesteld.	

Aandachtspunt	Check	Actiepunten	Achtergrondinformatie
Uitleg van het systeem		Is er uitleg gegeven?	Zorg dat er voldoende tijd en aandacht is om uitleg te krijgen van de rookgasreiniger. Maak hier vooraf afspraken over zodat de juiste mensen elkaar hierover spreken. Zorg dat je weet waar je de opgeslagen meetgegevens en de ingestelde grenswaarden kan vinden. Ook belangrijk is dat je zelf kunt vaststellen dat de automatische ijking daadwerkelijk uitgevoerd wordt. Neem de onderhoudsaspecten door en maak afspraken hoe uitgevoerde onderhoudswerkzaamheden vastgelegd zullen worden.
Kwaliteit rookgassen		Controleer de kwaliteit van de rookgassen.	Laat de kwaliteit van de rookgassen controleren op de vooraf overeengekomen waarden. Zorg voor rapportage die later als referentie-nulpunt kan worden gebruikt. Zorg dat de emissies van alle branderstanden worden vastgelegd. (laag toeren/lage vlam, laag toeren/hoge vlam, hoog toeren/lage vlam, hoog toeren/hoge vlam)

Aandachtspunt	Check	Actiepunten	Achtergrondinformatie
Onderhoud			
Etheenbewaking		Jaarlijkse revisie uitgevoerd?	Voor de meeste apparatuur voor etheenbewaking is een jaarlijks onderhoud of revisie noodzakelijk. De verantwoordelijkheid voor de uitvoer én het inplannen hiervan is niet altijd duidelijk. Zelfs als het wel duidelijk is, kan dit onderhoud erbij inschieten. Zorg voor duidelijke afspraken en controleer of dit uitgevoerd wordt. Als de apparatuur meegenomen wordt voor onderhoud, maak dan duidelijke afspraken over vervangende bewakingsapparatuur. Als er eerder een lagere bewakingsgrens afgesproken is, zorg dan dat ook de vervangende apparatuur vergelijkbaar wordt ingesteld en controleer dit.
		Data veilig gesteld?	Voor een goed zicht op het functioneren en vanwege verplichtingen bij een afgesloten verzekeringsdekking is het noodzakelijk om te beschikken over opgeslagen gegevens. Dit zijn de meetgegevens en de ijk- en alarmhistorie. Zorg dat wanneer de apparatuur onderhouden wordt, deze data veilig gesteld wordt.
Preventief onderhoud rookgasreiniger		Wordt er (jaarlijks) preventief onderhoud uitgevoerd?	Ook een rookgasreiniger moet preventief onderhouden worden. Met name de meet-apparatuur is kwetsbaar en moet regelmatig gecontroleerd worden of afwijkingen. Zo moeten de cellen waarmee NO en NO_2 en CO bewaakt wordt, minimaal één keer per jaar met ijkgas gecontroleerd worden. Tijdens deze controle moet ook gecontroleerd worden of aanzuigslangen luchtdicht zijn. Zorg dat van deze werkzaamheden steeds een rapport afgegeven wordt waarin de uitgevoerde werkzaamheden vermeld staan.

Aandachtspunt	Check	Actiepunten	Achtergrondinformatie
		Controle emissies door derden	Veel gebruikers van rookgasreinigers laten de rookgasreiniger regelmatig controleren door een inspectiebedrijf. Voordeel is dat deze onafhankelijk is en daarnaast metingen en constateringen beter registreert.
CO_2-klep		Sluit de CO_2-klep nog volledig?	Wanneer een klepblad of klepzitting door gebruik beschadigd raakt, kan dit lekkage veroorzaken die de terugmelding op de dichtstand niet signaleert. Controleer het sluiten van de klep daarom regelmatig (bijv elke 2 jaar) door bijvoorbeeld de emissie na de klep te laten controleren wanneer deze gesloten is.

Aandachtspunt	Check	Actiepunten	Achtergrondinformatie
Gebruik			
Verantwoord doseren		Beoordeel steeds of CO_2-doseren verantwoord is	Het bewaken van de juiste samenstelling van de rookgassen vindt bij de rookgasreiniger plaats. De omstandigheden in de kas, onder andere de mate van ventileren, zijn echter ook bepalende factoren voor het risico op schade aan het gewas. De bewaking is hier echter niet op ingericht. Dat betekent dat er schade aan het gewas kan ontstaan zonder dat de ingestelde bewakingsgrenzen bereikt zijn. Bedenk daarom als gebruiker onder welke omstandigheden het wel en niet verantwoord is om CO_2 te doseren met gereinigde rookgassen van de WK-installatie.
Controle kaslucht		Gebruik indicatorgewas	Van o.a. tuinkers is bekend dat het sneller reageert op verontreinigingen dan de gebruikelijke gewassen die in kassen worden geteeld. Daarom kiest een aantal kwekers ervoor om regelmatig tuinkers als een indicatorgewas in de kas te zaaien. Meestal doet men dit na nieuwbouw en in de winterperiode. Hierbij is het aan te bevelen om naast een zaaisel in kas, ook tuinkers te zaaien onder vergelijkbare omstandigheden (bijv in een corridor) zodat bij mindere groei in de kas er een referentiegewas beschikbaar is.
		Voer controlemetingen uit	Gebruikelijk is om de CO_2 van de rookgasreiniger of ketel na deze bronnen in het rookgaskanaal te controleren. Beter is echter om de concentratie van C_2H_4, NO, NO_2 en CO in de kas te meten. Hiermee kunnen ook gecumuleerde concentraties gedetecteerd worden. Zorg wel dat deze metingen opgeslagen worden en eenvoudig afleesbaar zijn zodat bij twijfel over de gewasgroei het verloop van de metingen inzichtelijk gemaakt kan worden.

Aandachtspunt	Check	Actiepunten	Achtergrondinformatie
IJken etheenbewaking		Wordt de etheenbewaking regelmatig geijkt	De etheenbewakingsapparatuur die niet automatisch geijkt wordt, zal handmatig geijkt moeten worden. Overleg met de leverancier welke frequentie hiervoor staat. Gebruikelijk is om dit één keer per maand uit te voeren. Registreer deze handelingen en leg vast welke afwijking werd vastgesteld. Wanneer de afwijking oploopt, zal vaker geijkt of onderhoud gepleegd moeten worden.
Meetgegevens		Laat de installatie controleren	Zorg dat de rookgassen regelmatig gecontroleerd worden op kwaliteit. Bij een rookgas-reiniger is dit in feite een controle van de bewakingsapparatuur. Bij een gasketel is het van belang om de NO_x-emissies te controleren bij de verschillende branderstanden, hier wordt in het normale gebruik niet op bewaakt. Bij voorkeur worden deze metingen uit-gevoerd door externe partijen. Deze zijn onafhankelijk en leveren doorgaans uitgebreidere rapportages op. De opgebouwde historie op dit punt is waardevol wanneer er vragen ontstaan over de oorzaak van de achtergang in kwaliteit van de rookgassen.
		Leg zelf meetgegevens vast	In besturingsapparatuur wordt vaak de nodige data opgeslagen. Deze data is echter niet altijd toegankelijk voor gebruikers. Om inzicht te houden in het functioneren van de reiniger en de conditie van de katalysatorblokken is het een goede zaak om handmatig gegevens vast te leggen. Leg bijvoorbeeld één keer per week de NO-, NO_2-, en etheenwaarde vast. Hiermee ben je meer bewust van de emissies waarmee je CO_2-doseert en zal een trendbreuk eerder opvallen. Zie ook bijlage.
		Registreer smeerolieverbruik	Er kunnen zich in de gereinigde rookgassen ook schadelijke componenten bevinden waar de bewakingsapparatuur niet op voorzien is. Dit kunnen bijvoorbeeld verontreinigingen zijn dit verband houden met toegenomen smeerolieverbruik. Hierover is nog weinig bekend in de zin dat deze componenten (en bijbehorende grenswaarden) niet concreet benoemd kunnen worden. Wel is het zinvol om het smeerolieverbruik te volgen en bij een trendbreuk de machine na te laten kijken. Hiervoor zal wel regelmatig, bijvoorbeeld één keer per week het smeerolieverbruik geregistreerd moeten worden.
Wees alert op rookgaslekkages		Controleer de installatie regelmatig op lekkages	Rookgaslekkages worden door de gebruikers vaak niet opgemerkt omdat ze aan de geur gewend zijn geraakt, die in de stookruimte heerst. Vooral voor de reinigers die buiten een omkasting staan opgesteld is dit een risico voor de mensen en het gewas. Loop regelmatig om de installatie heen en controleer de installatie op lekkages. Meestal 'slaan' rookgassen op je ogen. Daarnaast is er sprake van een temperatuurverhoging en een andere geur. Ook kunnen er op de isolatie bruine of zwarte verkleuring zichtbaar zijn naar aanleiding van een lekkage. Laat bij twijfel de installatie controleren door iemand met detectieapparatuur.

Bijlage bij de checklist CO_2-dosering: voorbeeld rapport

Datum	Draaiuren	Oliestand	Gas stand	Etheen (ppb)	NO (ppm)	NO2 (ppm)

Appendix V. KOSTEN GROENE EN FOSSIELE CO_2

De volgende partiële kostenposten zijn in beschouwing genomen;

1. Kapitaalkosten van de extra investering;
    a. Leiding, fundatie, vloer; uitgaande van containers, gebouw is vergunningtechnisch niet benodigd;
    b. Engineering en onvoorzien; 30%;
    c. Afschrijving; 10 jaar annuïtair, 7% rente;
    d. EIA; 11% korting op de investering van de transportleiding en 11% korting op de helft van de investeringskosten van een rookgasreinigingsinstallatie;
2. Overheadkosten;
    a. Gebruik terrein;
    b. Verzekering; 1%;
3. Onderhoudskosten; 4%;
4. Arbeid;
5. Extra elektriciteitskosten;
6. Kwaliteitscontrole CO_2 bij levering via leiding en per tankwagen;
7. Transportkosten voor het transport van de CO_2 vanaf de bio-energieinstallatie naar de afnemer, per leiding in gasvormige fase en per vrachtwagen in vloeibare vorm.