



CO₂ dosering in de biologische glastuinbouw

Onderzoek naar alternatieve bronnen
Toepassingen in gangbare tuinbouw

P.C.M. Vermeulen en C.J.M. van der Lans



© 2010 Wageningen, Stichting Dienst Landbouwkundig Onderzoek (DLO)

Wageningen UR Glastuinbouw

Adres : Violierenweg 1, 2665 MV Bleiswijk
: Postbus 20, 2665 ZG Bleiswijk
Tel. : 0317 - 48 56 06
Fax : 010 - 522 51 93
E-mail : glastuinbouw@wur.nl
Internet : www.glastuinbouw.wur.nl

Inhoudsopgave

Samenvatting		5
Summary		6
1	Inleiding	7
	1.1 Aanleiding	7
	1.2 Doel van het onderzoek	8
2	CO ₂ behoefte en interne bronnen	9
	2.1 Behoeftte gewas	9
	2.2 Effect van CO ₂ op groei en productie	11
	2.3 Ventilatie, CO ₂ gehalte en CO ₂ efficiëntie	11
	2.4 De CO ₂ behoefte en bronnen op biologische bedrijven	12
	2.5 Duurzamer telen	18
	2.6 Conclusies	19
3	Kwaliteit CO ₂	21
	3.1 Kwaliteitseisen voor CO ₂	21
	3.2 Reinigen en afvang rookgassen met CO ₂	22
	3.3 Conclusie	24
4	Alternatieve bronnen van CO ₂	25
	4.1 CO ₂ uit biomassa	26
	4.1.1 Verteren	26
	4.1.2 Compostering	28
	4.1.3 Vergisting	28
	4.1.4 Stortgas	32
	4.1.5 Verbranding	32
	4.1.5.1 Hout verstoffen	32
	4.1.5.2 Afvalverbranding	33
	4.1.6 Pyrolyse	34
	4.1.7 Bruikbaarheid CO ₂ voor de glastuinbouw	34
	4.1.8 Knelpunten en aanbevelingen	35
	4.2 CO ₂ uit grootschalige bronnen	35
	4.2.1 Elektriciteitscentrales	35
	4.2.2 CO ₂ uit industrie	37
	4.2.3 Bruikbaarheid CO ₂ voor de glastuinbouw	38
	4.2.4 Knelpunten en aanbevelingen	40
5	CO ₂ productie, scheiding en opslag	41
	5.1 CO ₂ productie en afvang	41
	5.1.1 Absorptie technologie	42
	5.1.2 HotCO ₂	42
	5.2 Opslag: Carbon Capture & Storage	42
	5.2.1 Grootschalige CO ₂ bronnen	43
	5.2.2 Kleinschalige, lokale CO ₂ bronnen	43
	5.2.3 Wet- en regelgeving bovengrondse opslag	44
	5.3 Bruikbaarheid CO ₂ voor de glastuinbouw	44

6	Voorbeelden van mogelijke lokale oplossingen	45
6.1	Voorbeeld 1: Gebruik CO ₂ van WKK burens	45
6.2	Voorbeeld 2: Gebruik CO ₂ van HWC	46
6.3	Voorbeeld 3: Gebruik CO ₂ van vet afval verwerkend bedrijf	46
6.4	Voorbeeld 4: Opslag CO ₂ in oude warmtebuffer	47
6.5	Voorbeeld 5: Centrale vergister	47
6.6	Bruikbaarheid lokale oplossingen	48
7	Conclusies en aanbevelingen	49
7.1	Conclusies	49
7.2	Aanbevelingen	51
8	Discussie	53
9	Literatuur	55
Bijlage I	Gespreksverslagen telers inventarisatie	57
1.1	Gespreksverslag bedrijf 1, 3-2-2011	57
1.2	Gespreksverslag bedrijf 2, 1-2-2011	58
1.3	Gespreksverslag bedrijf 3, 2-2-2011	59
1.4	Gespreksverslag bedrijf 4, 2-2-2011	60
1.5	Gespreksverslag bedrijf 5, 3-2-2011	61
1.6	Gespreksverslag bedrijf 6, 1-2-2011	62
1.7	Gespreksverslag bedrijf 7, 1-2-2011	63
1.8	Gespreksverslag Jaap Vink, 21-2-2011, Beetgum	64
Bijlage II	Inventarisatie gebruik organische meststoffen	65
Bijlage III	Berekening toegestane concentratie schadelijke gassen in rookgas	67
Bijlage IV	Organisaties met toewijzing CO ₂ emissierechten (provincie + sector)	71

Samenvatting

In dit onderzoek is uitgewerkt wat de behoefte aan CO₂ is op glastuinbouw bedrijven en hoe deze behoefte op biologische bedrijven ingevuld wordt. Factoren die de CO₂ behoefte beïnvloeden zijn de gewasopname, de aangehouden concentratie in de kas en de ventilatie. Door het gewas zelf wordt jaarlijks 13 tot 15 kg CO₂ per m² opgenomen. Door ventilatieverliezen komt daar afhankelijk van het aangehouden CO₂ gehalte, 10 tot 70 kg per m² bij. Bij hoge concentratie CO₂ kan tot 85% van de ingebrachte CO₂ via ventilatie verloren gaan. In het totaal gebruikt de glastuinbouw naar schatting tussen de 5 en 6,3 mton CO₂ per jaar als op elk bedrijf in de winter de beschikbare CO₂ gedoseerd wordt en zomers 50 ppm boven de buitenwaarde aangehouden wordt. Als in de zomer slechts de buitenwaarde aangehouden wordt is 2,6 mton CO₂ per jaar nodig voor de hele sector. Wordt echter de trend gemeengoed om 200 – 250 kg CO₂ per ha per te gaan doseren, dan zal het sectorgebruik tot 10 mton per jaar gaan stijgen.

Als CO₂ bron zorgt de ingebrachte organische stof aan het begin van de teelt er voor dat de eerste twee maanden van de teelt er voldoende CO₂ beschikbaar is. Daarnaast is CO₂ uit de ketel en WKK de belangrijkste CO₂ bron om dit in te vullen. OCAP, RoCa₃ en vloeibare CO₂ zijn vooral in de zomer belangrijke aanvullende CO₂ bronnen om het CO₂ gehalte op het gewenste peil te kunnen houden.

Het gebruik van duurzame energie en het nieuwe telen zorgen voor een tekort in de invulling van de CO₂ behoefte, waarvoor externe bronnen gezocht moeten worden.

In alle provincies wordt voldoende CO₂ geproduceerd door niet tuinbouwbedrijven. Potentiele leveranciers zijn elektriciteitscentrales, chemische industrie, stadsverwarming, composteerbedrijven en vergisters.

Knelpunten om deze op tuinbouwbedrijven te kunnen gebruiken zijn de transportafstand, concentratie en zuiverheid en het niet op elkaar aansluiten van productie en behoefte.

Koppelen van glastuinbouw aan naburige CO₂ producenten is een te overwegen optie. Een aantal, nog uit te werken, voorbeelden laat zien dat er in de omgeving van tuinbouw bedrijven kansen zijn aansluiting te zoeken met lokale producenten van CO₂.

Daarnaast biedt het verspreid over het jaar inbrengen van organische stof met een hoog C/N gehalte kansen om de CO₂ en N behoefte aan te vullen. Dit moet wel ingepast kunnen worden in de bedrijfsvoering.

Loskoppeling van de CO₂ aanvoer van de warmte productie op het bedrijf, geeft meer mogelijkheden de CO₂ optimaal in te zetten.

Om de bedrijven waar CO₂ vrijkomt in het productieproces over te halen mee te werken aan levering van CO₂ aan een tuinbouwnetwerk, zullen de CO₂ emissierechten over gedragen moeten worden aan de tuinbouw of moeten worden kwijtgescholden. Deze overdracht moet wel in de CO₂ prijs verrekend worden.

Summary

In this research is worked out what the need for CO₂ is on greenhouse horticultural companies and how this need is filled in on organic farms. Factors that influence the CO₂ need are the crop demand, the set-concentration in the greenhouse and ventilation. Crop demand is 13 to 15 kg of CO₂ per m² a year. Through ventilation losses an extra 10 to 70 kg per m² is needed, depending on the set- CO₂ concentration. At high CO₂ concentration up to 85% of the injected CO₂ can be lost through ventilation. It is estimated that the horticultural sector uses between 5 and 6,3 mton of CO₂ per year in total, assumed that all companies use all available CO₂ in winter and supply in the summer until 50 ppm above the open air CO₂ level. If in summer time only the open air level is hold, the whole sector will use only 2,6 mton CO₂ per year. If the trend to supply 200 - 250 kg CO₂ per ha per hour will be common for the whole sector, then the CO₂ use of the sector will grow to 10 mton per year.

The supply of organic matter at the beginning of the cultivation makes sure that the first two months of cultivation sufficient CO₂ is available. In addition, CO₂ from the boiler and the CHP is the main CO₂ source to fill in the demand. OCAP, RoCa₃ and liquid CO₂ are especially in the summer important additional CO₂ sources.

Use of renewable energy and the "Next generation greenhouse cultivation" ensure a deficit in the implementation of the CO₂ need, for which external sources has to be found.

In all Dutch provinces enough CO₂ is produced by non-horticultural businesses. Potential suppliers are power plants, chemical industry, district heating, composting and digester businesses.

Bottlenecks for horticultural companies to be able to use this CO₂ are the transport distance, concentration and purity of CO₂ and the not linking of production and demand.

Linking greenhouse companies to neighbour CO₂ producers is an option to consider. Some, to work out, examples shows that in the area of horticulture companies there are opportunities to link to local producers of CO₂.

In addition, insertion of organic material with high C/N content in the greenhouse throughout the year offers additional opportunities for the supply of the necessary CO₂ and N. This way of supply has to be fitted in the company processes.

To separate the supply of CO₂ of the production of heath will, give more opportunities to optimize the supply of CO₂.

To stimulate CO₂ producers to supply CO₂ to greenhouse horticulture grids, CO₂ emission rights have to go over to greenhouse companies or to be skipped. The avoided CO₂ emission right costs have to take in account in CO₂ price.

1 Inleiding

1.1 Aanleiding

Voor de groei van planten is CO₂ een essentiële factor. Als in een kas de door de plant opgenomen CO₂ niet wordt aangevuld, dan stagneert de groei. Biologische en gangbare glastuinbouwbedrijven brengen daarom CO₂ in de kas om de groei te optimaliseren. Ze kunnen voor het doseren van CO₂ kiezen uit twee bronnen: (1) rookgassen, die gevormd worden als bijproduct van de verbranding van aardgas in de ketel of WKK en (2) Zuivere CO₂, een industrieel bijproduct dat door bedrijven kan worden geleverd. In Nederland vormen rookgassen de belangrijkste vorm van CO₂ voorziening. Zuivere CO₂ is op twee manieren beschikbaar. In het Westland en het Oostland beschikt de OCAP over een netwerk van leidingen waarmee een groot aantal bedrijven van CO₂ kan worden voorzien. In deze gebieden is dus een redelijk constante aanvoer van CO₂ mogelijk, mede omdat de productie van de CO₂ uit verschillende bronnen afkomstig is. In andere gebieden wordt CO₂ per vrachtwagen aangevoerd en in een buffertank opgeslagen. Dit vraagt meer planning. Hierbij is de teler meer afhankelijk van de leverancier en van de beschikbaarheid van transport.

Door de toepassing van meer gesloten telen daalt de warmtebehoefte beduidend. Maar daarmee loopt ook de beschikbaarheid van CO₂ uit de rookgassen van de eigen ketel fors terug. Tegelijk is de CO₂ behoefte in een gesloten kas hoger omdat er met extra CO₂ een meer productie behaald kan worden. In relatief meer gesloten kassen is een hogere concentratie eenvoudiger te realiseren, omdat de CO₂ minder via de luchtramen verdwijnt. Een nadeel is dat door de geringere ventilatie het risico van gewasschade door vervuilende componenten in de CO₂ zoals ethyleen en NO_x toe kan nemen. Deze problematiek kwam aan de orde tijdens de studiemiddag van biologische glastuinders op 25 november 2009. Bij de telers was er behoefte aan meer inzicht in alternatieven voor de CO₂ voorziening. In het bijzonder was de vraag in hoeverre er niet-fossiele energiebronnen zijn voor CO₂.

Bij de belangrijkste gewassen wordt zomers overdag 55 m³ aardgas per ha per uur verstoekt om 100 kg CO₂ te kunnen doseren. De warmte die bij dit "aanvullend doseren" wordt geproduceerd, wordt dan wel opgeslagen in een buffer voor verwarming van de kas 's nachts, maar overstijgt de totale warmtebehoefte op zomerse dagen, zodat er veel warmte onbenut blijft. In de regel wordt de buffer dan 's nachts leeg gemaakt via een minimum buis in de kas. Uitgaande van 120 dagen 10 uur per jaar aanvullend doseren, komt dit neer op een gasverbruik van 66.000 m³/ha/jaar of bijna 7 m³/m²/jaar. Dit komt overeen met 120.000 kg CO₂ per ha.

Binnen de biologische teelt is in Europees verband regelgeving op komst voor CO₂ doseren. De geldende afspraak is dat er geen CO₂ gedoseerd mag worden die speciaal is aangemaakt. Het benutten van CO₂ die tegelijk geproduceerd wordt met nuttig gebruikte warmte is op dit moment in Nederland wel toegestaan.

De vraag is binnen welke regels CO₂ doseren nu en in de toekomst mogelijk blijft.

In het kader van het convenant Schoon en Zuinig, het streven naar 20% duurzame energiebronnen voor de glastuinbouw in 2020, lopen er diverse proeven met biogas en opgewaardeerd groen gas uit biovergisters. Knelpunt bij deze vormen van energievoorziening is vaak de onzekerheid of dit gas voldoende schoon is om de rookgassen te kunnen benutten voor CO₂ dosering in de kas. De wisselende samenstelling van het menu van de vergister heeft namelijk invloed op de samenstelling van het groene gas dat na vergisting vrijkomt. De vraag is in hoeverre de kwaliteit en samenstelling van het groene gas te voorspellen is uit de samenstelling van het menu. De vraag is of met een juist menu groen gas van voldoende kwaliteit is te produceren, zodat na gebruik in een ketel of WKK de rookgassen gebruikt kunnen worden voor CO₂ dosering in de glastuinbouw.

1.2 Doel van het onderzoek

- Onderzoeken of het mogelijk is om bij biologische teeltbedrijven in de CO₂ behoefte te voorzien door lokaal beschikbare CO₂ in de productieketen te brengen.
- Literatuurstudie uit te voeren naar de beschikbaarheid van (organische) materialen voor het dekken van deze CO₂ behoefte.
- Onderzoeken of door het inbrengen van compost een reductie van de uitstoot van CO₂ en van het gebruik van aardgas kan worden bereikt.
- Voor een concreet bedrijf in kaart brengen of vanuit de omgeving voldoende geschikte organische stof aangevoerd kan worden voor dit doel. Hierbij wordt gezocht naar een lokale oplossing voor zowel de voorziening in de CO₂ behoefte voor assimilatie als een aanvulling van de organische stof in de bodem. Een gecombineerde oplossing voor deze twee behoeften lijkt economisch interessant.

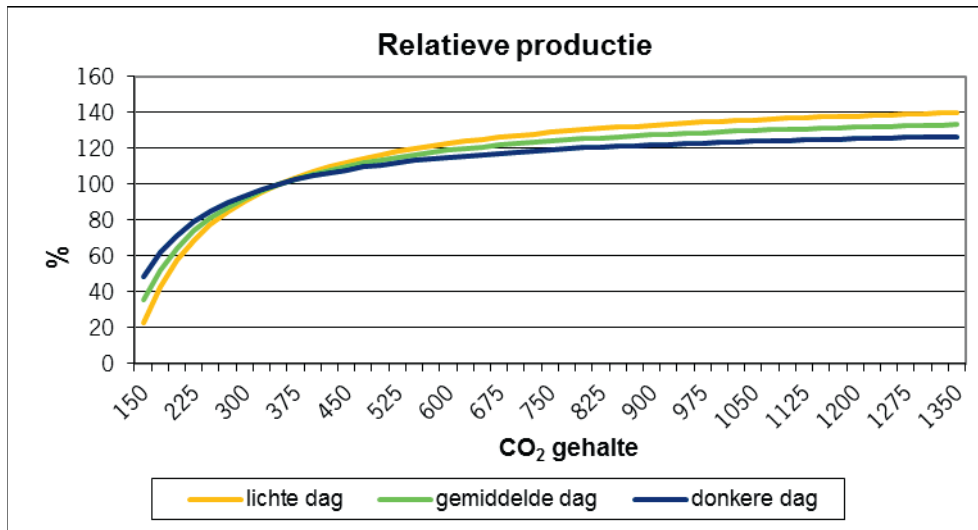
Om deze doelen te realiseren moeten de volgende zaken worden uitgewerkt:

- Het verloop van de CO₂ behoefte over het jaar heen en de factoren die hier invloed op hebben.
- De beschikbaarheid interne CO₂ bronnen op het bedrijf en de CO₂ die hier in de loop van het jaar uit vrijkomt.
- De factoren die de CO₂ productie van deze interne bronnen beïnvloeden.
- Aanwezigheid lokale, regionale en nationale CO₂ bronnen, met hoeveelheden en kwaliteit.
- De toepasbaarheid van deze CO₂ bronnen voor de glastuinbouw met voorwaarden, kansen en belemmeringen.

2 CO₂ behoefte en interne bronnen

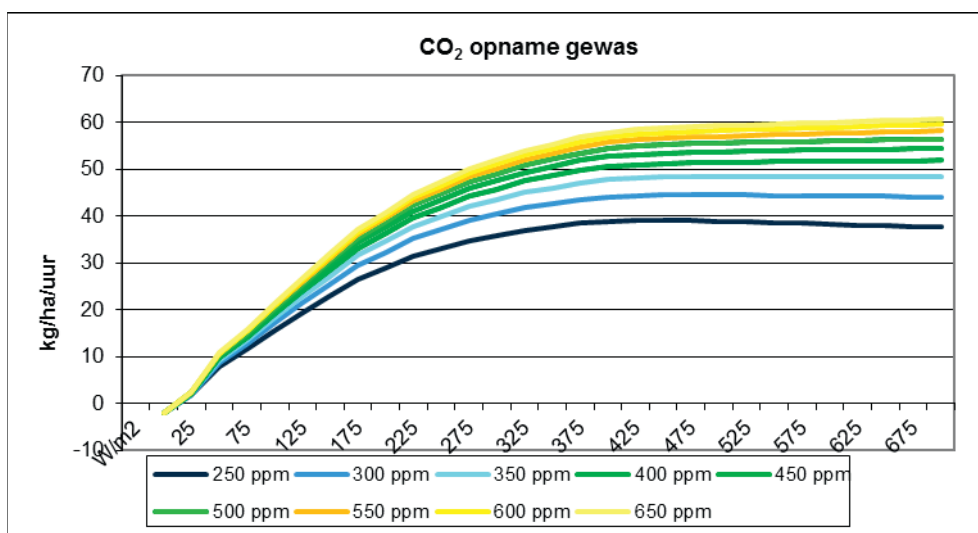
2.1 Behoeftte gewas

Het gewas neemt voor de fotosynthese CO₂ op uit de lucht. Een hoger CO₂ gehalte in de kas geeft een hogere productie (Nederhoff, 1994, Figuur 1).



Figuur 1. Relatieve productie bij toenemend CO₂ gehalte in de teelt.

De hoeveelheid straling bepaalt, naast o.a. de temperatuur, de beschikbaarheid van water en meststoffen en de omvang van het gewas, de hoeveelheid CO₂ die het gewas kan op nemen (Figuur 2).



Figuur 2. CO₂ opname van een volgroeid gewas (LAI >3) in relatie tot de straling.

Dit betekent dat gedurende het groeiseizoen en in de loop van de dag de potentiële CO₂ opname van het gewas varieert. Net na het middaguur is de straling van de zon het hoogst en daarmee ook de fotosynthese en CO₂ behoefte. Gedurende het teeltseizoen ligt de hoogste CO₂ behoefte in de zomer maanden. De hoge straling zorgt dan voor een maximale fotosynthese.

In Tabel 1 is voor de 13 periodes van het jaar de gemiddelde straling en maximale straling opgenomen voor Zuid-Holland. Verder is daarbij de gemiddelde potentiële CO₂ opname van het gewas bij verschillende CO₂ gehalten in de kas vermeld. Van de zonnestraling komt tussen 70 en 75% in de kas. De CO₂ concentratie in de buitenlucht ligt in Nederland op dit moment tussen 350 en 370 ppm.

Tabel 1. Gemiddelde en maximale straling Zuid Holland per periode (W/m²) en bij de gemiddelde straling horende potentiële gewasopname van CO₂ (kg/ha/uur) door het gewas bij verschillende CO₂ gehalten in de kas.

periode	Straling W/m ²		Opname kg CO ₂ /ha/uur					
	Gemiddeld	Max.	CO ₂ ppm					
			350	400	500	600	700	750
1	100	200	14	14	15	16	16	16
2	150	350	18	19	20	21	21	22
3	150	500	18	19	20	21	21	22
4	250	700	32	33	35	37	38	38
5	300	750	38	40	42	44	45	46
6	350	800	40	42	45	47	48	48
7	300	750	38	40	42	44	45	46
8	300	800	38	40	42	44	45	46
9	300	700	38	40	42	44	45	46
10	200	550	27	28	30	31	32	33
11	150	400	18	19	20	21	21	22
12	100	250	14	14	15	16	16	16
13	50	150	2	2	2	2	2	2

Uit Tabel 1 blijkt dat om het CO₂ gehalte in de kas op de buitenwaarde te kunnen houden (350 - 370 ppm), er overdag tot bijna 50 kg CO₂ per uur per ha moet worden gedoseerd. Bij het aanhouden van hogere CO₂ gehalten in de kas is relatief meer CO₂ nodig om de gewasopname te compenseren.

Tabel 2. Gemiddelde en maximale straling in Zuid Holland per periode (W/m²) en bij de gemiddelde straling horende de potentiële gewasopname van CO₂ (kg/ha/4 weken) door het gewas bij verschillende CO₂ gehalten in de kas.

Periode	Straling W/m ²		Opname kg CO ₂ /ha/4 weken					
	Gem.	Max.	CO ₂ ppm					
			350	400	500	600	700	750
1	100	200	3.136	3.136	3.360	3.584	3.584	3.584
2	150	350	5.004	5.282	5.560	5.838	5.838	6.116
3	150	500	5.904	6.232	6.560	6.888	6.888	7.216
4	250	700	12.160	12.540	13.300	14.060	14.440	14.440
5	300	750	16.340	17.200	18.060	18.920	19.350	19.780
6	350	800	17.920	18.816	20.160	21.056	21.504	21.504
7	300	750	17.024	17.920	18.816	19.712	20.160	20.608
8	300	800	16.644	17.520	18.396	19.272	19.710	20.148
9	300	700	14.820	15.600	16.380	17.160	17.550	17.940
10	200	550	9.072	9.408	10.080	10.416	10.752	11.088
11	150	400	5.040	5.320	5.600	5.880	5.880	6.160
12	100	250	3.248	3.248	3.480	3.712	3.712	3.712
13	50	150	448	448	448	448	448	448
Som (jaartotaal)			126.760	132.670	140.200	146.946	149.816	152.744

Uit Tabel 2 blijkt dat voor de CO₂ behoefte van het gewas 13 tot > 15 kg CO₂ per m² per jaar nodig is, afhankelijk van de gevoerde CO₂ strategie.

2.2 Effect van CO₂ op groei en productie

De toename van het totaalgewicht van de plant wordt groei genoemd. Het gewicht wordt bepaald door de bouwstoffen (koolstofverbindingen) waaruit de plant is opgebouwd en door het water waarmee de cellen zijn gevuld. De verhouding tussen bouwstoffen en water verschilt sterk tussen gewassen, maar ook tussen plantdelen. Een houtachtig gewas bevat een lager percentage bouwstoffen dan een kruidachtig gewas. Het percentage aan bouwstoffen en mineralen in de plant wordt aangeduid met het droge stofgehalte. Hoe lager dit percentage is, dus hoe meer water een plant bevat, hoe hoger de groei zal zijn. Er zijn namelijk minder suikers nodig om een gram toename in vers gewicht te krijgen.

De regel voor groei door CO₂ is: 1 gram opgenomen CO₂ geeft 0,5 gram droge stof.

Voor tomaat volgt een berekening van de productie uit 1 gram CO₂:

- 1 gram opgenomen CO₂ geeft 0,5 gram droge stof
- 70% van die droge stof gaat naar de vruchten
- Het droge stofgehalte van tomaat is gemiddeld 5,8%
- 1 gram opgenomen CO₂ = $1 * 0,5 * 0,70 * (100/5,8) = 6$ gram tomaat (vers gewicht)

Bij volle zon en voldoende CO₂-dosering neemt een gewas 60 - 70 kg CO₂ per ha per uur op. Dit komt overeen met ongeveer 400 kg tomaten per ha per uur. De relatie tussen de hoeveelheid bouwstoffen en water is redelijk constant. De groei wordt dus vooral bepaald door de fotosynthese. Hoe meer licht en CO₂, des te meer bouwstoffen en dus nieuwe cellen een plant kan aanmaken. In Tabel 3 is de relatie tussen CO₂ opname door het gewas en de vruchtproductie opgenomen voor een aantal belangrijke vruchtgroente gewassen. Komkommer geeft tweemaal zoveel vrucht als de andere vruchtgewassen per gram CO₂.

Tabel 3. Relatie CO₂ opname gewas (gram) en vruchtproductie (gram).

	Komkommer	Tomaat	Aubergine	Paprika
1 gr. CO ₂ opnemen = .. gr. vruchten	11	6	5	4

Samengevat leidt een hoger CO₂ gehalte tot een hogere CO₂ opname door het gewas, wat vervolgens leidt tot een hogere vrucht productie. Dit is voor (biologische en gangbare) telers een reden om de beschikbare CO₂ zo goed mogelijk te benutten voor de teelt.

2.3 Ventilatie, CO₂ gehalte en CO₂ efficiëntie

Om hogere CO₂ gehalten in de kas te kunnen aanhouden dan de buitenwaarde, is behalve voor de opname door het gewas ook een aanvulling nodig van de CO₂ die door ventilatie verloren gaat. In Tabel 4 is aangegeven hoeveel kg CO₂ er per ha per uur gedoseerd moet worden om het totaal van de gewasopname en het ventilatieverlies te compenseren. De efficiëntie van het doseren neemt af met het in stand houden van een hoger CO₂ gehalte en met de toename van de ventilatie.

Met de gesloten kas en het nieuwe telen wordt geprobeerd deze CO₂ efficiëntie te verhogen door de ventilatie meer te controleren. Dit kan leiden tot een hoger CO₂ gehalte bij dezelfde hoeveelheid CO₂ doseren.

Tabel 4. Relatie ventilatie, CO₂ gehalte (ppm), opname gewas (kg/ha/uur) en aanvullende CO₂ behoefte (kg/ha/uur).
Uitgangspunten: kasinhoud is 6 m³/m²; buitenwaarde CO₂ is 350 ppm.

gewenste CO ₂ gehalte kas	ppm	350	400	450	500	550
gewas opname CO ₂	kg/ha/uur	35	35	35	35	35
ventilatie	m ³ /m ² /uur	6	6	6	6	6
te doseren voor ventilatie	kg/ha/uur	0	5	9	14	18
totaal doseren	kg/ha/uur	35	40	44	49	53
CO ₂ efficiëntie		100%	88%	79%	72%	66%
ventilatie	m ³ /m ² /uur	30	30	30	30	30
te doseren voor ventilatie	kg/ha/uur	0	23	46	69	92
totaal doseren	kg/ha/uur	35	58	81	104	127
CO ₂ efficiëntie		100%	60%	43%	34%	28%
ventilatie	m ³ /m ² /uur	60	60	60	60	60
te doseren voor ventilatie	kg/ha/uur	0	46	92	138	184
totaal doseren	kg/ha/uur	35	81	127	173	219
CO ₂ efficiëntie		100%	43%	28%	20%	16%
ventilatie	m ³ /m ² /uur	90	90	90	90	90
te doseren voor ventilatie	kg/ha/uur	0	69	138	207	275
totaal doseren	kg/ha/uur	35	104	173	242	310
CO ₂ efficiëntie		100%	34%	20%	14%	11%

2.4 De CO₂ behoefte en bronnen op biologische bedrijven

Om zicht te krijgen op de CO₂ behoefte en de bronnen in de biologische praktijk zijn zeven biologische glastuinbouwbedrijven geïnterviewd (Bijlage I). De resultaten hiervan zijn gebruikt voor deze inventarisatie.

Zoals hierboven al beschreven, varieert de CO₂ opname door het gewas met de straling, de grootte van het gewas en het gewenste CO₂ gehalte in de kas. Zonder compensatie van deze gewasopname, daalt het CO₂ gehalte in de kas, en neemt de fotosynthese af en daarmee de groei. Er is dus behoefte aan aanvullende dosering van CO₂ in de kas. De biologische glastuinbouw gebruikt hiervoor, net als de gangbare glastuinbouw, de CO₂ die vrijkomt bij de verbranding van fossiele brandstoffen voor de verwarming van het gewas. De meest gangbare bronnen zijn rookgassen van de aardgasketel en WKK. Daarnaast komt bij de biologische teelt ook CO₂ vrij bij de vertering van de organische stof (compost), die in de kas wordt gebracht voor de mineralentoevoer en de bodemvruchtbaarheid. Dit heeft grote invloed op de aanvullende CO₂ behoefte van het biologische bedrijf. Net na de inbreng van het compost komt veel CO₂ vrij, waarmee de gewasopname gemakkelijk wordt aangevuld.

CO₂ afgifte uit compost – een voorbeeld berekening

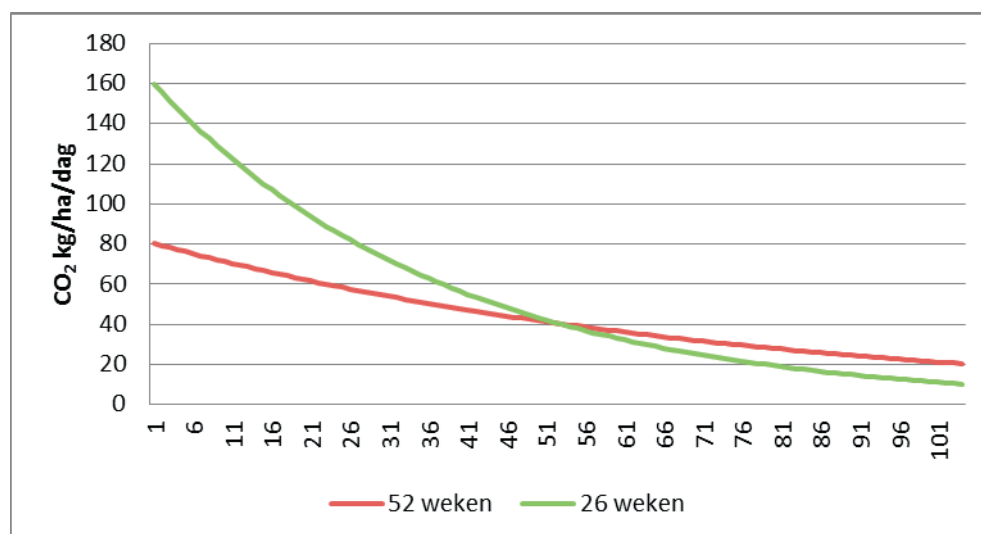
De snelheid waarmee dit organisch materiaal wordt afgebroken is afhankelijk van de herkomst en samenstelling, de temperatuur, de diepte waarop het materiaal in de grond is gebracht en het vochtgehalte. Hogere temperaturen en drogere grond verhogen de afbraaksnelheid. Dieper in de grond inbrengen verlaagt de afbraaksnelheid.

Hieronder zijn globale berekeningen gemaakt voor de CO₂ afgifte van compost. Wanneer jaarlijks een laag compost met een dikte van 1 of 1,5 cm in de kas wordt gebracht met 40% organische stof, geeft dit bij een halfwaardetijd van 1 jaar het eerste jaar 17 respectievelijk 25,5 ton CO₂ per ha af, waarvan ook een deel in de zomer vrijkomt. Tabel 5 geeft het verloop van de CO₂ afgifte weer voor de eerste 6 jaar na inbrengen in de kas.

Tabel 5. Berekening CO₂ afgifte compost bij halfwaardetijd van een jaar.

Uitgangspunten:						
Dosering	1,0	1,5	cm	1,0	1,5	cm
Volume	0,01	0,015	m ³ /m ²	100	150	m ³ /ha
Soortelijke massa	400	400	kg/m ³			
Dosering	4	6	kg/m ²	40.000	60.000	kg/ha
Org. stof gehalte	40%	40%				
kg org. stof	1,6	2,4	kg/m ²	16.000	24.000	kg/ha
aandeel C in org. stof	58%	58%				
kg C	0,928	1,392	kg/m ²	9.280	13.920	kg/ha
omzetting C naar CO ₂	3,67	3,67				
potentieel CO ₂	3,403	5,104	kg/m ²	34.027	51.040	kg/ha
CO ₂ afgifte per jaar						
CO ₂ afgifte jaar 1	1.701	2,552	kg/m ²	17.013	25.520	kg/ha
CO ₂ afgifte jaar 2	0.851	1,276	"	8.507	12.760	kg/ha
CO ₂ afgifte jaar 3	0.425	0,638	"	4.253	6.380	kg/ha
CO ₂ afgifte jaar 4	0.213	0,319	"	2.127	3.190	kg/ha
CO ₂ afgifte jaar 5	0.106	0,160	"	1.063	1.595	kg/ha
CO ₂ afgifte jaar 6	0.053	0,080	"	532	798	kg/ha

Bij een halfwaardetijd van een half jaar komt er het eerste jaar bij 100 m³ per ha 25,5 ton en bij 150 m³ per ha 38 ton CO₂ per jaar vrij. In Figuur 3 is het verloop van de hoeveelheid vrijkomende CO₂ weergegeven in de eerste 52 weken na het inbrengen van 50 ton compost per ha, voor een halfwaardetijd van 52 en 26 weken.



Figuur 3. CO₂ afgifte (kg/ha/dag) na inbreng van 50 ton compost per ha, bij halfwaardetijd van 52 en 26 weken.

De CO₂ afgifte hangt af van de C/N verhouding in de organische stof. Inzet van stoffen met een hoge C/N verhouding kan bij dezelfde N gift zorgen voor een hogere CO₂ afgifte (Raaphorst, 2005). In Tabel 6 is de C/N verhouding voor verschillende organische stoffen weergegeven.

Tabel 6. C/N organische meststoffen.

Soort organische mest	C/N
Verteerde compost	10
Verteerde stalmest	14
Drijfmest	15
Onverteerde compost	25-70
Champignonafval	40
Bladeren	50
Riet of stro	20-120

Het inbrengen van organische stof gebeurt op de meeste bedrijven rond de jaarwisseling. De hoeveelheid en soort organische stof hangen af van de bodemgesteldheid, mineralen en organische stof gehalte en bodemleven. De regelgeving bepaalt de hoeveelheid in relatie tot de N, P en K gift. Er mag maximaal 170 kg N per ha per jaar uit dierlijke mest worden gegeven, terwijl de N behoefte tot 10 maal hoger ligt. Veel gebruikte organische stoffen zijn compost, dierlijke mest, schors, etc. De gift ligt op 100 tot 150 m³ organisch materiaal per ha per jaar, waaruit 30 – 60 ton CO₂ per ha per jaar vrijkomt. In Tabel 7 is weergegeven welke bemestingen de geïnterviewde bedrijven toepassen. De compost gift varieert afhankelijk van het gewas tussen 40 en 185 ton per ha. In Bijlage II is de gift van vier bedrijven verder uitgewerkt. De organische stof wordt in de grond gebracht voor mest en het verbeteren van het bodemleven. Dit gebeurt tijdens de teeltwisseling en in de grond gefreesd of onder gespit. De biologische meststoffen worden gedurende het teeltseizoen gestrooid als mest.

Tabel 7. Bemesting geïnterviewde bedrijven (ton / ha).

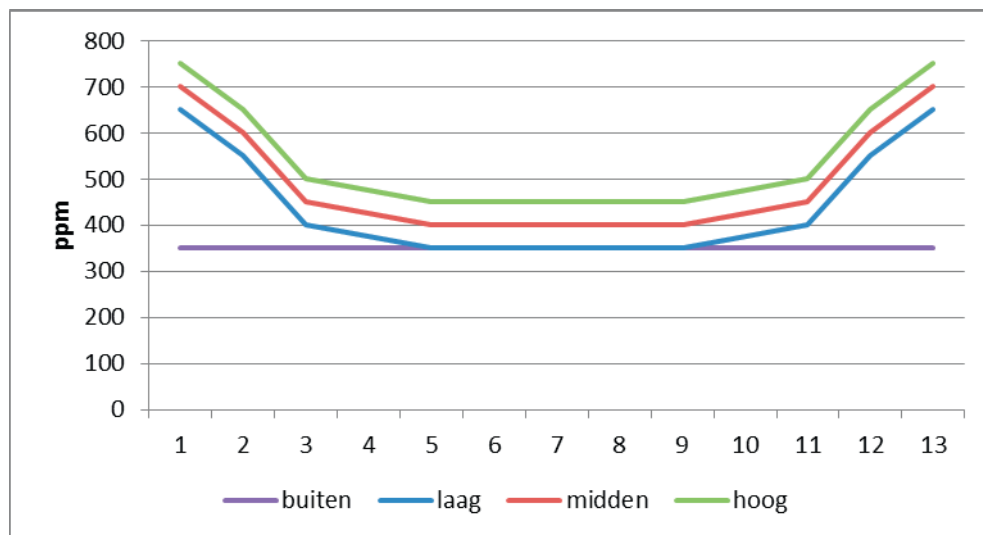
bedrijf	1	2	3	4	5	6	7
Compost	60-100	60	100	40-60	185	50-60	120
Geitenmest	60-80		40				
Houtsnipers							X
Monterra	9-11	X	4			X	X
Ecofeed	X		X	X			
Agrifeed			X				
Agrobiosol			2,5				
Ecomix						X	X

In de winterperiode is vanuit de warmte productie met ketel of WKK voldoende beschikbaar. Voor een betere benutting van de vrijkomende CO₂ is daarom het door het jaar verspreid inbrengen van deze organische stof een goede optie. In de praktijk gebeurt dat nauwelijks. Op zes bedrijven wordt de organische stof tijdens de teeltwisseling in de kas gebracht en op een bedrijf gebeurt dit drie tot vijf maal per jaar: teeltwisseling, begin zomer en begin herfst. De andere bedrijven vinden dit arbeid technisch geen optie en te veel rommel tijdens de oogstperiode geven.

Compost kan met een verdeelkar ingebracht worden. Dierlijke mest is te riskant tijdens de teelt. Meer gesloten telen is een kans, maar moeilijker dan in de conventionele teelt, vanwege de verdamping uit de grond. Gesloten telen is te duur. Verder is de afgifte van CO₂ uit organisch materiaal moeilijk stuurbaar, met in de nacht risico's op te hoge concentraties.

CO₂ verloop in de kas door het jaar heen

Als voorbeeld is in Tabel 8 een berekening gemaakt hoeveel CO₂ er nodig is om de gewasopname en het ventilatieverlies te compenseren. Daarbij zijn aannames gedaan voor het CO₂ regime en de ventilatie in de kas door het jaar heen. De totale CO₂ behoefte van dit regime is vergeleken met een lager en hoger doseerregime. In Figuur 4 zijn de drie doseer strategieën, laag, midden en hoog, weergegeven.



Figuur 4. Drie gebruikte CO₂ doseer strategieën.

Dit voorbeeld in Tabel 8 laat zien dat er in de zomer door het aanhouden van 50 ppm boven de buitenwaarde (midden) 120 kg CO₂ per uur per ha verloren gaat door ventilatie en de efficiëntie in de zomer rond 30% ligt. Wanneer deze CO₂ strategie wordt uitgevoerd, dan is ruim 61 kg CO₂ per m² per jaar nodig om de gewasopname en het ventilatieverlies te compenseren. In de winter wordt de beschikbare CO₂ gedoseerd. Deze strategie ligt het dichtst bij de praktijk.

Het aanhouden van 50 ppm lager (laag) door het jaar vraagt bijna 26 kg CO₂ per m² per jaar en zijn de ventilatieverliezen door het aanhouden van de buitenwaarde in de zomer nihil, wat resulteert in een efficiëntie van 50 %.

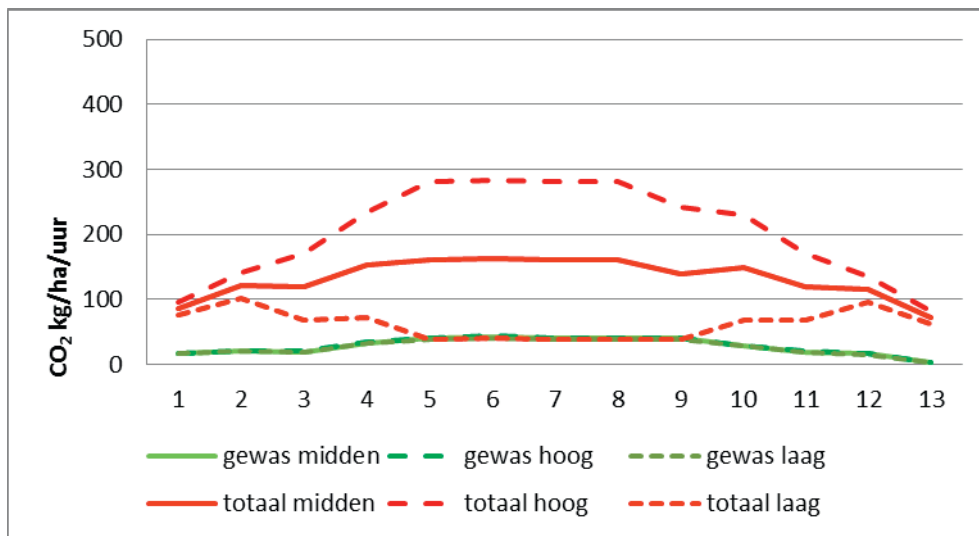
Tabel 8. Voorbeeldberekeningen van de CO₂ dosering ten behoeve van gewasopname en ventilatieverlies door het jaar heen en de CO₂ efficiëntie.

per.	CO ₂ gehalte ppm			ventilatie	mid.: CO ₂ kg/ha/uur			CO ₂ Eff.	CO ₂ ton/ha/4 w		
	mid.	laag	hoog	m ³ /m ² /h	gewas	vent.	som		mid.	laag	hoog
1	700	650	750	10	16	70	86	18%	19,3	17,0	21,5
2	600	550	650	20	21	100	121	17%	33,6	27,9	39,2
3	450	400	500	50	20	100	120	26%	39,2	22,6	55,8
4	425	375	475	80	34	120	154	28%	58,3	27,6	89,1
5	400	350	450	120	40	120	160	29%	68,8	16,3	120,8
6	400	350	450	120	42	120	162	29%	72,6	17,9	127,0
7	400	350	450	120	40	120	160	29%	71,7	17,0	125,9
8	400	350	450	120	40	120	160	29%	70,1	16,6	123,1
9	400	350	450	100	40	100	140	31%	54,6	14,8	94,0
10	425	375	475	80	29	120	149	25%	49,9	22,8	77,1
11	450	400	500	50	20	100	120	23%	33,5	19,3	47,6
12	600	550	650	20	16	100	116	13%	26,9	22,2	31,6
13	700	650	750	10	2	70	72	0%	16,1	13,9	18,4
jaar								22%	614,6	256,1	971,0

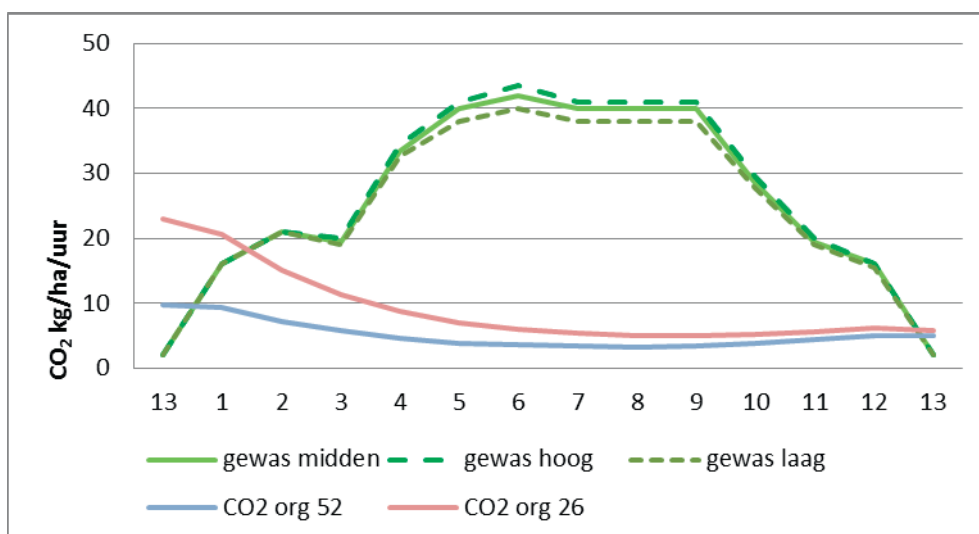
Er is een tendens in de praktijk om 200 – 250 kg CO₂ per ha per uur te gaan doseren. Hierdoor kan gedurende het jaar tot een 50 ppm hoger gehalte (hoog) aangehouden dan hier boven beschreven. Wordt dit gemeengoed in de hele sector dan stijgt het gebruik tot 97 kg CO₂ per m² per jaar. Het ventilatieverlies ligt in de zomer met 100 ppm boven de buitenwaarde rond de 240 kg CO₂ per uur per ha en daalt de efficiëntie tot 14 %. Het aanhouden deze hogere gehalten is nauwelijks realistisch. Als de ventilatie nog hoger is dan hierboven verondersteld is, neemt de doseerbehoefte nog meer toe en de efficiëntie af.

Lukt het door bijvoorbeeld koeling, buitenlucht aanzuiging en ontvochten in de zomer de ventilatie terug te brengen van 120 tot 80 m³ per m² per uur, is voor het midden regime 8 kg en het hoge regime 16 kg CO₂ per m² per jaar minder nodig.

In Figuur 5 is de som van de gewasopname en de ventilatieverliezen zoals die in Tabel 8 is berekend weergegeven.



Figuur 5. Drie voorbeelden verloop van CO₂ opname door het gewas en het totaal inclusief de verliezen door ventilatie door het jaar heen in kg CO₂ per ha per uur, bij drie doseer strategieën beschreven in Tabel 8.



Figuur 6. Voorbeeld verloop beschikbare CO₂ per doseer uur door het jaar heen vanuit bij de teeltwisseling ingebrachte compost (50 ton/ha) kg CO₂ per ha per uur en CO₂ gewasopname, bij strategieën zoals beschreven in Tabel 8.

CO₂ uit compost

Het inbrengen van organische stof in de winter zorgt dat er bij de start van de teelt voldoende CO₂ beschikbaar is. Zonder ventilatie worden waarden gerealiseerd van 2000 ppm en hoger tot begin maart. Een deel van de geïnterviewde telers ventileert om het CO₂ gehalte niet te hoog op te laten lopen, de anderen zien hierin geen probleem. Als redenen om te ventileren worden genoemd: onzekerheid over de samenstelling van de gassen die vrijkomen bij het afbreken van organisch materiaal, de zorg voor een gevoeliger gewas en effect en op de biologische bestrijders. Waarden van 700 – 1000 ppm worden verantwoord genoemd. Een te hoge RV onder folie is een andere reden om te ventileren.

Ter vergelijking is in Figuur 6 de beschikbare CO₂ die vrijkomt uit de inbreng van compost weergegeven met de CO₂ behoefte bij de drie doseer strategieën.

De CO₂ afgifte van 50 ton per ha compost is onvoldoende om de gewasopname te compenseren. Bij grotere hoeveelheden compost kan de eerste twee tot drie maanden de gewasopname ingevuld worden.

WKK en ketel CO₂

Van maart tot mei zorgt de invulling van de warmtevraag met ketel of WKK voor voldoende CO₂. Het CO₂ gehalte in de kas zakt door de noodzakelijke ventilatie naar waarden tussen 400 en 800 ppm. Het gebruik van de WKK zorgt voor twee maal zoveel CO₂ bij een gelijke warmtevraag, waardoor het eenvoudiger is om een hoger CO₂ gehalte in de kas aan te houden. Gedurende de zomermaanden is er een warmtevraag van 0,2 – 0,6 m³ gas per m² per week, afhankelijk van het gewas. Als deze warmte overdag met een gasketel gestookt wordt en eventueel opgeslagen in een buffer, is ruim 1000 respectievelijk 1500 kg per dag per ha te doseren. Dit is bij 12 doseeruren 80 respectievelijk 120 kg CO₂ per uur, ruim voldoende om de gewasopname te compenseren.

De WKK draait in de maanden mei, september en oktober meestal op de piekuren van 7 tot 23 uur door de week. In juni tot eind september draait de WKK minder, omdat de warmte onvoldoende benut kan worden. Een deel van de WKK draait ook midden op de dag in het weekend om warmte en CO₂ te maken. Afhankelijk van het WKK vermogen per ha is 200 tot 300 kg CO₂ per ha beschikbaar als de WKK draait. Dit is voldoende om het CO₂ gehalte in de kas 50 ppm boven de buitenwaarde tillen en een productiestijging te realiseren.

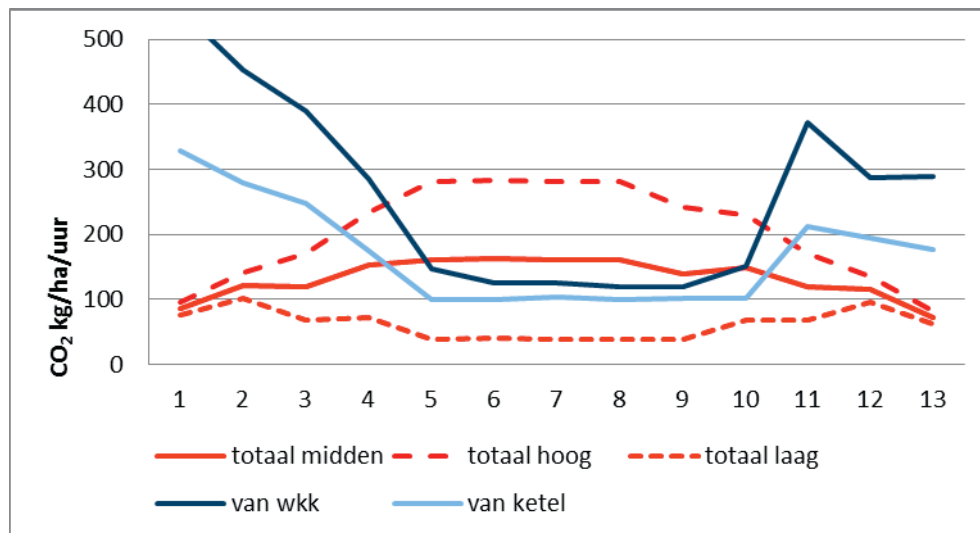
Tabel 9. Voorbeeldberekeningen van de CO₂ die vrijkomt bij twee draai opties voor een WKK van 0,5 mW_e per ha met een gasverbruik van 280 m³ per mW_e.

		jan febr	mrt apr	mei jun	juli aug	sep okt	nov dec	jaar
Teeltweken	weken	8	9	9	8	9	6	49
Doseeruren	uren/dag	6.9	10.6	14.1	13.5	10.0	6.6	10.3
WKK draait alle piek uren:								
WKK draait	uren/dag	16	16	16	16	16	16	16
Gas WKK	m ³ /m ²	9.0	10.1	10.1	9.0	10.1	6.7	54.88
WKK CO ₂	kg/ m ²	16.1	18.1	18.1	16.1	18.1	12.1	98.8
	kg/ha/assimilatie uur	582	379	286	298	402	616	393
WKK draait warmtevraag volgend in piekuren								
WKK draait	uren/dag	16	16	6	2.5	10	16	11
Gas WKK	m ³ /m ²	9.0	10.1	3.8	1.4	6.3	6.7	37.24
WKK CO ₂	kg/ m ²	16.1	18.1	6.8	2.5	11.3	12.1	67.0
	kg/ha/assimilatie uur	582	379	107	47	251	616	266

Het gebruik van de WKK wordt bepaald door de verhouding tussen de gasprijs en de terugleverprijs van elektriciteit. Om de WKK rendabel te laten draaien moeten de kosten voor gas, onderhoud, rente en afschrijving, verminderd met de opbrengsten van de elektriciteitsverkoop, niet hoger zijn dan de stookkosten die gerealiseerd worden als er met de ketel warmte wordt gemaakt.

De beschikbaarheid van CO₂ uit de WKK hangt af van de wijze waarop die ingezet wordt. Draait de WKK alle piekuren op wekdagen tussen 7 en 23 uur of wordt in de zomer de warmtebehoefte gevolgd. In Tabel 9 worden deze twee voorbeelden uitgewerkt.

In Figuur 7. is een ander voorbeeld van de CO₂ uit de WKK of ketel beschikbaar komt weergegeven.



Figuur 7. Voorbeeld verloop beschikbare CO₂ per assimilatie uur door het jaar heen vanuit de WKK of ketel in kg CO₂ per ha per uur en totale CO₂ behoefte, bij strategieën zoals beschreven in Tabel 8.

Vanaf mei tot oktober is er in dit voorbeeld onvoldoende CO₂ uit ketel of WKK beschikbaar om de hogere CO₂ gehalten aan te houden. Meer uren draaien met WKK of ketel betekent warmte overschot waar niet snel iets mee gedaan kan worden.

Om in de zomer hogere CO₂ gehalten te kunnen realiseren, is extra CO₂ nodig. In een aantal gebieden is er CO₂ via een pijpleiding beschikbaar: het OCAP en het ROCA3 gebied. Dit wordt gebruikt om nog hogere CO₂ gehalten, meer dan 50 ppm boven buitenniveau, te realiseren.

2.5 Duurzamer telen

De tuinbouw heeft de uitdaging op zich genomen om minder energie te gaan gebruiken en de resterende energievraag duurzamer in te vullen zodat er minder fossiele brandstof wordt verbruikt.

Het Nieuwe Telen

De verlaging van het energiegebruik kan worden gerealiseerd door Het Nieuwe Telen. Het gebruik van schermen is daar een van de onderdelen van. Het effect van het nieuwe telen op de CO₂ voorziening is tweeledig: 1) door het lagere energiegebruik is er minder CO₂ beschikbaar, 2) door het later en minder ventileren is het verlies aan CO₂ lager. Dit laatste kan vooral in de zomer een positief effect op het CO₂ gehalte in de kas hebben.

In een biologische teelt is er vanuit de grond meer verdamping dan bij de gangbare teelt op substraat. Er is dus extra noodzaak voor biologische telers om de kaslucht te ontvochten. In de gangbare teelt worden hiervoor slurven onder de teeltgoten gehangen, waardoor buitenlucht met een lagere RV in de kas wordt gebracht. Bij de biologische teelt kan dit niet zondermeer. Er wordt er momenteel naar een andere oplossing gezocht. Er is een bedrijf dat dit jaar slurven onder de nok heeft opgehangen, echter dit kost licht en productie. Een andere oplossing is kleinere slurven tussen het gewas aan de gewasdraden.

De telers zien als voordeel van buitenlucht aanzuiging een gelijkmatiger klimaat. Door de overdruk in de kas vallen de temperatuurverschillen als gevolg van de wind weg.

Als nadeel wordt gezien het terugzakken van de buistemperatuur door het nieuwe telen, terwijl voor de kwaliteit en vermindering van de ziektekans de gewastemperatuur niet mag terug zakken.

Minder fossiel?

Om de taakstelling 'meer duurzame energie en minder fossiele energie' te realiseren zijn een aantal opties mogelijk: aardwarmte, het vergisten van organisch materiaal en het verbranden van biomassa zoals hout en plantaardige oliën. Toepassing van deze energievormen heeft een direct effect op de CO₂ voorziening, want bij aardwarmte komt in het geheel geen CO₂ vrij.

Als biogas uit de vergister gestookt wordt in een WKK of ketel, dan zijn de rookgassen nog niet veilig genoeg om te kunnen doseren. Bij een voldoende hoeveelheid biogas is er de mogelijkheid om bijvoorbeeld via absorptie het CH₄ en CO₂ te scheiden in twee zuivere gassen. Het methaan kan dan als groen gas of LNG worden aangeboden en de CO₂ is geschikt voor de kas. Dit vergroot de geschiktheid van vergisten als CO₂ bron. Bij een houtstookketel kan de CO₂ uit de rookgassen gehaald worden. Dit procedé is energie-intensief en kan nog niet dezelfde hoeveelheden veilige CO₂ genereren als bij een aardgas gestookte installatie. Gebruik van minder fossiele brandstoffen leidt zo dus tot een grotere CO₂ behoefte uit andere bronnen.

2.6 Conclusies

CO₂ behoefte:

Gewassen nemen bij een hogere CO₂ concentratie in de kas meer CO₂ op voor fotosynthese en produceren daardoor meer. Afhankelijk van het vochtgehalte van de vrucht geeft 1 gram CO₂ opname voor fotosynthese 4 tot 11 gram vrucht.

Om de CO₂ concentratie in de kas op het buitenlucht niveau te houden (350 -370 ppm) is in de zomerperiode overdag tot 50 CO₂ kg per m² per uur nodig om de gewasopname te compenseren. Bij een CO₂ gehalte van 700 ppm in de kas neemt het gewas in de zomerperiode tot 65 kg CO₂ per ha per uur op.

Voor de CO₂ behoefte van het gewas (de gewasopname) is op jaarbasis 13 tot meer 15 kg CO₂ per m² nodig, afhankelijk van de gevoerde CO₂ strategie. Dit is voor heel de glastuinbouw 1.300 – 1.500 kton per jaar.

Als in de kas een hoger CO₂ gehalte wordt aangehouden dan de buitenwaarde, gaat er CO₂ verloren door ventilatie. De ventilatie varieert met de seizoenen. Er wordt geventileerd om vocht af te voeren, de kaslucht vrij te houden van schadelijke stoffen en in de zomer veelal om de temperatuur op het gewenste peil te houden. Door de toenemende ventilatie loopt de efficiëntie van de gedoseerde CO₂ terug. Het aandeel van de CO₂ die door de plant wordt opgenomen daalt.

Een hoger CO₂ gehalte in de kas aanhouden, betekent ventilatieverliezen. In Tabel 8 is een doseerstrategie beschreven, waarbij tot maximaal 160 kg CO₂ per ha per uur nodig is. Bij deze strategie is er, rekening houdend met ventilatieverliezen, circa 61,5 kg CO₂ per m² per jaar nodig. Als de hele sector deze strategie aanhoudt komt overeen met 6,3 mton per jaar. Er is een tendens om richting 200 en 250 kg CO₂ per ha per uur te doseren om het hele jaar nog eens 50 ppm hoger te doseren. Als de hele sector dat doet, dan betekent dat een toename tot 97 kg CO₂ per m² en voor de sector 10 mton per jaar. Wordt er alleen CO₂ gedoseerd uit de echte warmte productie, dan resulteert dat in 50 ppm lager en een CO₂ gebruik van 26 kg CO₂ per m². Voor de hele sector komt dat neer op 2,6 mton per jaar. De CO₂ efficiëntie is respectievelijk. 22%, 14 % en 50%. Maatregelen waardoor specifiek in de zomer de ventilatie beperkt wordt hebben direct een positieve invloed op de CO₂ vraag. Koeling, buitenlucht aanzuigen en buitenschermen zijn daar voorbeelden van.

Beschikbare interne CO₂ bronnen:

Op het huidige tuinbouwbedrijf wordt de CO₂ behoefte voor een groot deel in gevuld met rookgassen van de ketel of WKK. Vooral in de zomer is er behoefte aan meer CO₂. Met de CO₂ die bij het invullen van de warmtevraag in de zomer vrijkomt kan veelal slechts 50 ppm CO₂ boven de buitenwaarde, 350 – 370 ppm, gerealiseerd worden, terwijl de wens hoger ligt.

Doordat bij de teeltwisseling in de biologische teelt 40 en 185 ton per ha organische stof in de grond wordt gemengd, is

er de eerste twee maanden van de teelt voldoende CO₂ beschikbaar. Vanaf het moment dat er geventileerd gaat worden, daalt het CO₂ gehalte en wordt er gebruik gemaakt van de CO₂ die uit de ketel of WKK afkomstig is. Voor een betere benutting van de vrijkomende CO₂ zou verspreid over het jaar inbrengen een goede optie zijn. In de winter is voldoende CO₂ beschikbaar van de ketel en WKK. In de praktijk gebeurt dit nauwelijks omdat het arbeid technisch lastig is en veel rommel geeft in de oogstperiode. De hoeveelheid organische mest wordt bepaald door de mestwetgeving. Dierlijke mest kan slechts een deel van de N behoefte in vullen. Inbrengen van organische mest met een hoge C/N verhouding zoals stro kan ook een optie zijn. Hygiëne en het beheersen van de afgifte van CO₂ zijn punten die daarbij de aandacht op eisen.

Het nieuwe telen leidt zowel in de winter als in de zomer tot minder CO₂ door een lager fossiel brandstof gebruik. Maar door de geringere ventilatie dalen ook de ventilatie verliezen. In de zomer wordt hiervan een positief effect verwacht op de beschikbare CO₂ en het te realiseren CO₂ gehalte.

Het gebruik van andere niet-fossiele energiebronnen leidt direct tot minder beschikbare CO₂ op het bedrijf. Dit moet aangevuld worden om het productieniveau op peil te houden.

Concluderend, met de gangbare energievoorziening is er genoeg CO₂ beschikbaar om het buitenlucht gehalte te handhaven en is er in de zomer de wens naar meer. Bij hoge CO₂ gehalten moet ventilatie teruggedrongen worden en als dat bij hoge instraling of luchtvochtigheid niet lukt, zullen lagere CO₂ gehalten aangehouden moeten worden. Een andere mogelijkheid is maatregelen te nemen, waardoor er in de zomer minder geventileerd hoeft te worden. Wordt er overgestapt naar duurzamere energiebronnen, dan is er nadrukkelijk behoefte aan CO₂.

3 Kwaliteit CO₂

3.1 Kwaliteitseisen voor CO₂

Door toepassing van CO₂ dosering kunnen telers een risico introduceren voor wat betreft de kasluchtkwaliteit. Een verhoogd risico betekent niet per definitie dat negatieve effecten aan het gewas zullen optreden. Dit hangt naast het concentratieniveau van de CO₂ en schadelijke componenten ook af van de gevoeligheid van de plantensoort voor de betreffende component, de klimaatomstandigheden in de kas en andere stressoren (andere luchtverontreiniging componenten, ziekten en plagen).

In de jaren tachtig is een voorzet gemaakt voor het vaststellen van grenswaarden in rookgassen waarboven gewasschade kan worden verwacht (Kiel et al., 1989; Bijlage II). Zij geven aan welke waarde schadelijke componenten in het rookgas maximaal mogen hebben om geen schade te veroorzaken. Recent zijn deze gegevens bijgewerkt (Van Dijk et al., 2009). Deze grenswaarden gelden ook voor CO₂ afkomstig van andere bronnen. In deze studies is gekeken naar rookgas componenten die logischerwijs kunnen ontstaan bij verbranding van energiedragers in een ketel of WKK. Dit betekent dat maar naar een beperkte range van stoffen is gekeken. Bij CO₂ uit andere bronnen dan verbranding en fossiele brandstoffen kunnen mogelijk nog andere stoffen voorkomen, waarvan de schadelijkheid niet is vastgesteld. Het is raadzaam om bij nieuwe bronnen een toets te doen op de aanwezigheid van zulke schadelijke stoffen. Diverse calamiteiten met stoffen uit bijvoorbeeld verf, folies en plastics hebben laten zien dat de schade voor het gewas groot kunnen zijn.

Voor de verschillende componenten van rookgassen zijn zogenoemde effect grenswaarden voor korte of langdurige blootstelling vastgesteld cq aanbevolen. Tabel 10 geeft een overzicht van deze effectgrenswaarden voor etheen, NO_x en SO₂, enkele potentieel schadelijke componenten die in rookgassen kunnen voorkomen. Etheen en NO_x zijn de belangrijkste schadelijke gassen die in rookgassen gemeten worden. In het verleden was SO₂ ook relevant, maar in de huidige gasgestookte installaties is deze verontreiniging nauwelijks meer van belang. Bij biogas is deze component wel weer belangrijk.

Tabel 10. Effect grenswaarden ter voorkoming van negatieve effecten op planten als gevolg van blootstelling aan NO_x (NO + NO₂), uitgedrukt als NO₂ in ppb (WHO, 2001 in Van Dijk et al, 2009), etheen (Van Dijk et al, 2009) en SO₂ (WHO, 2001 en Ashmore & Wilson, 1994, in Van Dijk et al, 2009).

Component	Tijdsduur	Effectgrenswaarde (ppb)
Stikstofoxiden (NO _x)	24-uur	40
	Jaar	16
Etheen (C ₂ H ₄)	8 uur	11
	4 weken	5
SO ₂	24 uur	100
	Jaar	30

Door het doseren van CO₂ met gereinigde rookgassen neemt vooral de NO_x concentratie in de kaslucht toe. Bij rookgasreiniging kan NO_x niet worden weggenomen in het rookgas. Het reinigen van rookgassen reduceert de hoeveelheid schadelijk gassen met ongeveer 90%. Hiermee neemt het risico op overschrijdingen van schadelijke drempelwaarden aanzienlijk af, maar deze is nog niet volledig gereduceerd.

In Tabel 11 staat een overzicht van verschillende componenten in rookgassen die een risico kunnen vormen voor de glastuinbouw. Weliswaar worden in deze tabel alleen de risico's van biogas beoordeeld, maar de tabel is ook bruikbaar voor rookgassen in zijn algemeen (Van Dijk et al., 2009). De tabel geeft dus ook een indicatie van mogelijke schadelijke stoffen voor het gewas bij andere CO₂ bronnen.

Tabel 11. Samenvatting van enkele risico's van verschillende componenten voor de Nederlandse Glastuinbouw bij transitie naar meer gebruik van biogas.

Component	Fytotoxiciteit (ja, nee of onbekend)	Risico +, - of ?	Opmerkingen
Zwavelverbindingen			
Zwavel dioxide (SO ₂)	Ja	+	
Waterstofsulfide	Ja	-	
Sulfiden	Onbekend	?	
Mercaptanen	Onbekend	?	
Etherverbindingen	Onbekend	?	
Stikstofverbindingen			
Stikstofoxiden (NO _x)	Ja	+	Geen relatie met gebruik biogas
Ammoniak (NH ₃)	Ja	-	
Alifatische KWS			
Methaanverbindingen	Nee	-	Geen relatie met gebruik biogas
	Onbekend	?	
Onverzadigde KWS			
Etheen (C ₂ H ₄)	Ja	-	Geen relatie met gebruik biogas; smal 'omslagtraject' tussen wel of geen risico
Trichlooretheen (C ₂ HCl ₃)	Ja	-	Mogelijk minder relevant voor kas gewassen door ontbreken van UV straling
Tetrachlooretheen (C ₂ Cl ₄)	Ja	-	Mogelijk minder relevant voor kas gewassen door ontbreken van UV straling
Aromatische KWS			
Benzeen	Ja	+	Enige onzekerheid over het niveau van de effectgrenswaarde
Tolueen	Nee	-	
	Nee	-	
	Onbekend	?	Niet in biogas aanwezig
Silicium verbindingen			
Silicium oxide	Onbekend	?	
Overige componenten			
Waterstoffluoride (HF)	Ja	+	Ruime overschrijding effectgrenswaarde
Waterstofchloride (HCl)	Ja	?	
Waterstofcyanide(HCN)	Onbekend	?	

3.2 Reinigen en afvang rookgassen met CO₂

De zuiverheid en de concentratie van CO₂ in de te doseren gassen is een belangrijke factor. Schadelijke stoffen mogen niet voorkomen. Bij een lage CO₂ concentratie is alleen gebruik op de opwekkingslocatie mogelijk om de grote volumes die nodig zouden zijn om het bereikte effect te behalen op de productie. Ketel rookgas en gereinigde rookgassen uit de WKK, bij voorbeeld, komen voor in gehalten tussen de 7 en 10 % CO₂. Ook de ROCA3 transporteert CO₂ met een concentratie van beneden de 10 %. De OCAP levert bijna pure CO₂ uit de chemische industrie.

Om aan de kwaliteitseisen van de tuinbouw te kunnen voldoen, moeten de te doseren (rook)gassen ontdaan worden van schadelijke gassen. In 1995 is al een eerste studie gedaan door Melkert (1995) in opdracht van de NOVEM voor het reinigen van WKK rookgassen. Het doel was schonere gassen op het bedrijf te gebruiken. Er zijn 30 technieken bekeken, waarvan er uiteindelijk 5 als kansrijke technieken worden beschreven voor de reiniging van rookgassen:

- Ureuminjectie
- Rookgasrecirculatie in driewegkatalysator
- Kaliumcarbonaat
- Membraangasabsorptie
- Substoichiometrische bijstook in afgasketel.

De eerste twee technieken worden momenteel in de tuinbouw toegepast. Bijstook is geschikt voor zeer grote installaties en vindt onder andere plaats bij de ROCA3 centrale die warmte en CO₂ aan het tuinbouw gebied in Oostland levert. De andere twee technieken zijn geschikt om CO₂ af te vangen en eventueel te bufferen.

Bij Vink Sion is, als variant op de absorptie met kaliumcarbonaat, amine als absorptiemiddel getest om de rookgassen van zijn houtstookketel te reinigen. Het principe werkt wel, maar is in de huidige vorm te klein om voldoende CO₂ uit de rookgassen te krijgen. Uit de rookgassen voor een 5 MW_{th} ketel en 1.15 MW_e turbine wordt circa 100 kg CO₂ per uur gehaald. De absorptie en recovery kolom zal vele malen groter moeten zijn om de beoogde 300 – 400 kg CO₂ per uur te genereren.



Figuur 8. Vink Sion, Beetgum: schema houtstook en CO₂ afvang.

Absorptie kan worden gebruikt om CO₂ af te vangen en geschikt te maken voor opslag en transport van rookgassen van gasgestookte installaties.

De European Industrial Gases Association, EIGA, stelt zware eisen aan industrieel geproduceerde gassen die o.a. gebruikt worden in de voedingsindustrie. Deze eisen moeten zorgen voor een productie zonder schadelijke stoffen.

3.3 Conclusie

Voorwaarden CO₂:

Niet alle CO₂ of CO₂ rijke gasmengsels zijn direct geschikt voor toepassing in de glastuinbouw. Om gewasschade te voorkomen, zijn voor verschillende in rookgas voorkomende stoffen grenswaarden vastgesteld waaronder geen gewasschade voor komt.

Voor CO₂ bronnen die niet uit een verbrandingsproces voortkomen, is het raadzaam deze te testen op fytotoxische componenten. Dit is niet noodzakelijk als er is geproduceerd onder de EIGA regels.

Voor transport van CO₂ naar een tuinbouwlocatie is de concentratie een belangrijke factor.

Als bij de afvang een reinigings- en concentratieslag plaatsvindt, wordt de inzetbaarheid van de CO₂ in de glastuinbouw groter.

4 Alternatieve bronnen van CO₂

In de vorige hoofdstukken is duidelijk geworden dat bij een verduurzaming van de teelt van biologische gewassen een aanvullende vraag naar CO₂ ontstaat, doordat de hoeveelheid CO₂ die uit warmteproductie vrijkomt daalt. Dit knelpunt speelt vooral in de periode mei tot september. Bij gebruik van aardwarmte als warmtebron verdwijnt de CO₂ productie helemaal. Dit betekent dat er gezocht moet worden naar alternatieve CO₂ bronnen. Hiervoor zijn een aantal wegen te volgen:

- Invullen met middelen/bronnen van het eigen bedrijf
- Invullen met middelen/bronnen uit de directe omgeving
- Invullen met middelen/bronnen uit de eigen regio
- Gebruik maken van landelijk of mondiale CO₂ bronnen

Voor de inzet van alternatieven zit de stap CO₂ zo efficiënt mogelijk in te zetten. Parallel loopt nog de uitdaging zo duurzaam mogelijk CO₂ in te zetten. Op basis van de toegekende CO₂ emissie rechten (Bijlage IV) is in Tabel 12 zichtbaar gemaakt in welke hoeveelheden CO₂ in elke provincie vrijkomt c.q. potentieel beschikbaar is. Het gaat hier om grote producenten van CO₂ die onder de regels van emissierechten vallen. Daarnaast zijn er nog veel kleine lokale bedrijven die CO₂ produceren maar niet onder deze regels vallen.

Tabel 12. Toegekende CO₂ emissierechten per jaar per provincie exclusief glastuinbouw en het areaal glastuinbouw.

	Toegewezen CO ₂ emissierechten kton/jaar	Glastuinbouw areaal 2009 ha	Glastuinbouw CO ₂ behoefte kton/jaar		
			laag	midden	hoog
Drenthe	1.037	199	51	122	193
Friesland	1.053	122	31	75	118
Flevoland	338	181	46	111	176
Gelderland	5.817	699	179	430	679
Groningen	3.915	66	17	41	64
Limburg	6.557	944	242	580	917
Noord Brabant	4.418	1.430	366	879	1.389
Noord Holland	16.994	969	248	596	941
Overijssel	478	137	35	84	133
Utrecht	1.258	137	35	84	133
Zuid Holland	21.281	5.268	1.349	3.238	5.115
Zeeland	7.651	173	44	106	168
Nederland	70.786	10.325	2.644	6.345	10.026

In paragraaf 2.4 is berekend dat er 26 tot 97 kg CO₂ per m² nodig is, hetgeen neerkomt op 0,25 – 1 kton per ha. Volgens de gegevens van Tabel 12 lijkt er in elke provincie genoeg CO₂ te zijn voor de tuinbouw. De vraag is echter of het toegankelijk is. Is de kwaliteit goed? Is het transporteerbaar? Is het op het juiste moment beschikbaar?

Een eerste antwoord op deze vraag is de bronnen te schikken naar type bron.

Het Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) geeft aan dat ongeveer 60% van alle CO₂-uitstoot in de wereld plaatsvindt bij grote stationaire installaties, zoals elektriciteitscentrales, raffinaderijen en grote chemische industrieën, ruim 8.100 in getal (IPCC, 2005). Bij elektriciteitscentrales ligt de CO₂-concentratie tussen 5% en 15%. Bij de productie van bijvoorbeeld ammoniak of waterstof komt bijna pure CO₂ vrij.

Zowel in dit IPCC rapport als in een KEMA studie uit 2009 (Wolff, 2009) zijn een aantal actuele en toekomstige, externe bronnen voor CO₂ kwalitatief in kaart gebracht. Deze worden opgedeeld in:

- CO₂ uit biomassa
- CO₂ uit grootschalige bronnen, op te splitsen in:
 - CO₂ uit elektriciteitscentrales;
 - CO₂ uit procesindustrie ((duurzame) lichte industrie).

Deze indeling wordt ook gebruikt in dit hoofdstuk.

In een studie uit 2010 (Smit, 2010) worden aanvullend een aantal lokale alternatieven voor glastuinbouwbedrijven voor het genereren van CO₂ uit fossiele brandstoffen genoemd:

- lokaal opslaan van CO₂ uit rookgassen;
- produceren van CO₂ uit de rookgassen van 'groen' gas.

Ook aan deze alternatieven is aandacht besteed in dit hoofdstuk. Belangrijk bij het bepalen van de mogelijkheden van een CO₂ bron is de mate waarin CO₂ beschikbaar komt, maar bovenal waarin CO₂ bruikbaar is. voor elke beschreven alternatieve CO₂ bron is geprobeerd hier een antwoord op te geven.

4.1 CO₂ uit biomassa

Biomassa is een breed begrip. Voor deze studie wordt bedoeld de bron van CO₂ en brandstof uit niet-fossiele organische bron. Er zijn diverse vormen van omzetting van biomassa tot CO₂. In oplopende volgorde van energie-input zijn dat: verteren, composteren, vergisten, verbranden en pyrolyse. Bij vergisten ontstaat biogas met tussen de 45 -55 % CH₄ en de rest CO₂. Als dit gas gebruikt wordt in een ketel of WKK komt de CO₂ tegelijkertijd vrij met de warmte. Dit biogas opwaarderen tot zgn. groen gas of Liquid Natural Gas (LNG) geeft een bijna zuivere CH₄ en een aparte stroom pure CO₂. Deze CO₂ kan worden opgeslagen in tanks. Een volgende stap kan zijn het CH₄ verder op te splitsen in H₂ en CO₂. Beide gassen zijn op te slaan.

4.1.1 Verteren

Op dit moment wordt in de tuinbouw op verschillende manieren gebruik gemaakt van meer of minder gecomposteed materiaal:

- In brengen van compost of ander organisch materiaal in de kas om de bodem te verbeteren en de mineralen op peil te houden.
- Achterlaten van gewasafval in de kas
- Biofumigatie
- Bodem resetten

Inbrengen organische stof in de bodem

In paragraaf 2.4 is al het effect van de bodemverbetering met organische stof besproken. Als 100 tot 150 m³ per ha wordt ingebracht, komt - ervanuit gaande dat jaarlijks de helft van de organische stof wordt afgebroken - 17 tot 25 ton CO₂ per jaar vrij tijdens het afbraakproces van de compost. De initiële snelheid van de emissie hangt af van de rijpheid van het compost. Na toediening daalt de emissiesnelheid. In 2.4 is al een eerste voorbeeld uitgewerkt van de CO₂ afgifte tijdens afbraak van compost. Hieronder volgt een berekening waarin de vastlegging van CO₂ in GFT compost versus Groencompost worden vergeleken.

Potentieel beschikbaar CO₂ in compost – een berekening

Een aanzienlijk deel van het toegediende compost wordt in de bodem omgezet in stabiele organische stof, de rest verteerd tot o.a. CO₂. Volgens een studie van het Louis Bolk Instituut (Elferink en Vlaar, 2010) worden in het compost de volgende hoeveelheden CO₂ vastgelegd (zie Tabel 13):

Tabel 13. Vastlegging van CO₂ in compost over een periode van 10 jaar.

Type compost	Vastgelegde hoeveelheid CO ₂ in compost	Resterende CO ₂ na 1 jaar (kg / ton compost) ¹	Resterende CO ₂ na 10 jaar (kg / ton compost) ²
GFT compost	150 kg C/ton = 550 kg CO ₂ /ton vers gewicht	385	167
Groencompost	112 kg C/ ton = 410 kg CO ₂ /ton vers gewicht	287	124

¹ na het eerste jaar is 70% van deze compost omgezet in effectieve organische stof

² uitgaande van een afbraaksnelheid van 10% per jaar

Ervan uitgaande dat na 1 jaar 70% is omgezet in effectieve organische stof en de afbraaksnelheid van compost 10% per jaar is, resteert er na 10 jaar 167 kg CO₂/ ton GFT-compost en 124 kg CO₂/ton groencompost.

Volgens berekeningen van US EPA (2002) is 117,6 kg CO₂-eq/ ton compost na 10 jaar vastgelegd. Na 100 jaar is 70,5 kg CO₂-eq/ ton compost vastgelegd.

Gewas afval

Op de meest bedrijven wordt het blad en de dieven die geplukt worden in de kas gelaten. Door de vertering van dit organisch materiaal komt er CO₂ in de kas. Een ruwe schatting is dat er 5-10 kg per m² gewasresten door het jaar heen in de kas achter blijft. Dit geeft, met 0,85 – 1,7 kg CO₂ per m², 50 -75% van de afgifte in vergelijking met de inbreng van organische stof in de bodem tijdens teeltwisseling.

Biofumigatie

Biofumigatie is het inwerken van groenbemesters met glucosinolaten waardoor in de bodem processen in gang gezet worden die de massa verteren en de daarbij vrij komende stoffen omzetten in giftige stoffen voor bodem-insecten, aaltjes en schimmels. Door van biofumigatie gewassen een mengsel te maken kunnen diverse ziekten en plagen bestreden worden. Voor een afdoende bestrijding krijgt de grond na inwerking twee weken rust. Het goed verkleinen en direct inwerken van een biofumigatie gewas is van belang om te voorkomen dat de vrijkomende gassen vervluchten zonder dat ze hun werk hebben gedaan.

De benodigde hoeveelheid verse biomassa ligt voor biofumigatie tussen de 40 en 60 ton verse massa per ha, bijvoorbeeld zaad van Brassica carinata (Ethiopisch mosterd) waaruit de olie is geperst en de koek op een speciale wijze gedroogd wordt. Na het malen heb je zaadmeel, dat goed verdeeld aangebracht kan worden.

Bodem resetten: Biologische grondontsmetting met gras of met organisch fermentatie product Herbie

Bodem resetten is een vorm van bodemontsmetting met behulp van een organisch gefermenteerd product. In het verleden is deze methode vooral toegepast met behulp van gras. Vernieuwend aan het bodem resetten ten opzichte van biologische grondontsmetting met gras is de constante samenstelling van het product, het beperkte volume en de versnelde omzetting na het creëren van anaërobie. Het product Herbie wordt aangeboden door het bedrijf Thatchtec B.V. in Wageningen. De werking van deze methode is gebaseerd op het creëren van zuurstofloze omstandigheden waarbij de aangeboden organische fermentatieproducten door bacteriën die zonder zuurstof kunnen leven worden afgebroken. Als gevolg van het omzetten van de producten ontstaan gassen en andere stoffen zoals vetzuren die een dodend effect hebben op de bodem populatie waaronder plantenziekten en plagen. De bodem moet voor een afdoend resultaat tegen bodemziekten en plagen bij een dosering van 2 gram ruw eiwit/liter grond (30-40 ton product/ ha) en een minimum bodemtemperatuur van 16°C, minimaal 4 weken zuurstofloos blijven. Bij hogere temperaturen of bij hogere doseringen kan de periode dat de bodem zuurstofloos moet worden gehouden worden verkort. Het effect lijkt ook afhankelijk van de voorgeschiedenis

van de bodem en grondsoort. Het grootste verschil van deze methode in vergelijking met biofumigatie dat niet alleen bodemplagen, maar ook bodemziekten zoals *Verticillium dahliae* worden bestreden is dat deze methode (bij biofumigatie is dit twee weken). De benodigde hoeveelheid verse biomassa ligt voor zowel biofumigatie als bodem resetten tussen de 30 en 60 ton/ha. De vertering van deze materialen levert veel CO₂ productie, zoals paragraaf 2.4 laat zien. Hierbij is er ook productie van NH₃, H₂S, CO, CH₄ die schadelijk kunnen zijn voor het gewas. Toepassen van beide maatregelen op het bedrijf verhogen de inbreng van CO₂.

4.1.2 Compostering

Compostering is een proces van bacteriële omzetten, met toetreding van lucht (zuurstof). Daarbij komt CO₂ vrij, welke afgevangen kan worden. Compost wordt veel toegepast in de biologische land- en tuinbouw, inclusief de biologische glastuinbouw. Organisch materiaal wordt ingewerkt om de bodem en het bodemleven gezond en weerbaar te houden. Dit organisch materiaal verteert in de loop van de tijd en zorgt daardoor voor een natuurlijke CO₂ input in de kas. Dit proces wordt versneld door hogere temperaturen en lagere luchtvochtigheid. Op verschillende momenten gedurende de levenscyclus komen broeikasgassen vrij. Bij de productie van compost wordt CO₂ in relatief grote hoeveelheden geëmitteerd in de intensieve fase van het productieproces, daarnaast komt CH₄ en N₂O vrij. In geringere mate komt dit vrij in de rijpingsfase. Zoals beschreven in de paragrafen 2.4 en 4.1.1, komt wanneer de compost in de kas is ingebracht ook nog CO₂ vrij. Onderzoek uit 2006 geeft aan dat ruim resp. 1,7 en 1,6 miljoen ton GFT en groen afval gecomposteerd wordt in Nederland (Vroonhof, 2006) (zie Tabel 14) en dat deze hoeveelheden nog toenemen. Door compostering wordt CO₂ emissie bespaard, omdat er o.a. minder kunstmest hoeft te worden geproduceerd en minder winning van veen nodig is.

Tabel 14. Directe CO₂-emissie composteren in 1990 en 2004.

	Gecomposteerd		Directe emissie
	GFT-afval kton	Groen-afval kton	Totaal kton CO ₂ -eq
1990	280	150	47
2004	1.713	1.600	93

Door compostering wordt jaarlijks ongeveer 500 kton GFT compost en 1.500 kton groencompost geproduceerd. De aanwezigheid van grote composteerbedrijven in de directe omgeving is een mogelijke bron voor CO₂. Grote composteerbedrijven staan in o.a. Wijster, Wilp en Moerdijk

Zo als hierboven beschreven is, komen grote hoeveelheden CO₂ vrij bij deze composteringsbedrijven. Het ziet er naar uit dat deze CO₂ voor de glastuinbouw bruikbaar is qua samenstelling. Wel moet een oplossing worden gevonden voor de afvang, opslag en het transport naar de bedrijven. In Bijlage V is in een overzicht de verdeling van composteerbedrijven binnen Nederland opgenomen.

Een aantal biologische glastuinbouwbedrijven composteren zelf o.a. hun gewasafval. Ook hier is het interessant te bekijken of het afvangen van de CO₂ die vrijkomt rendabel is voor dosering in de kas.

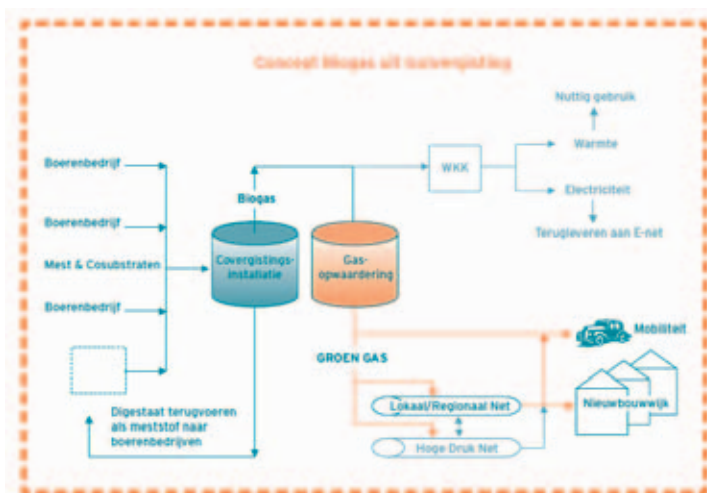
4.1.3 Vergisting

Bij vergisting worden laagwaardige, organische reststromen anaeroob bacterieel omgezet in energie. Hierbij komt een mengsel van hoofdzakelijk methaan, koolstofdioxide en ethanol en zwavelverbindingen vrij: het zogenaamde biogas. Waterzuivering en mestvergisters zijn vormen van gecontroleerde vergisting. Deze installaties leveren biogas op met een mengsel van tussen 40 en 65 % CH₄ en de rest vooral CO₂ op, met nog lage concentraties verontreinigingen.



Figuur 9. Droge vergistingsinstallatie van Orgaworld in Lelystad.

Er zijn twee type vergisters: de natte en droge vergisting. In Bijlage VI is beschreven hoe de processen van natte en droge vergisting werken.



Figuur 10. De toepassingsmogelijkheden voor Groen Gas dat wordt geproduceerd uit biogas.

- Biogas kan op een aantal manieren gebruikt worden:
 - In een warmtekrachtkoppeling (WKK) omzetten naar 'groene stroom'
 - Zonder warmtebenutting
- Met warmtebenutting, bijvoorbeeld in kassen
 - Opwaarderen naar aardgas kwaliteit
 - Gas ter plekke benutten
 - Gas vloeibaar opslaan als LNG
 - Gas injecteren in aardgasnetwerk
 - Met opvang van CO₂
 - Zonder opvang van CO₂

In Figuur 10 zijn de verschillende toepassingsmogelijkheden van en tijdens biovergisting schematisch weergegeven. Het geproduceerde biogas wordt in bijna alle gevallen via warmtekrachtkoppeling (WKK) omgezet naar 'groene stroom' (ca. 35% rendement) en warmte (ca. 60% rendement). Van de geproduceerde warmte wordt ca. 35% gebruikt voor het verwarmen van de installatie zelf. Het overige deel gaat meestal de lucht in, waardoor het energetisch rendement daalt van 90% naar 65% (SenterNovem, onbekend). Er zijn enkele projecten waar de haalbaarheid van een biovergister als energiebron voor de glastuinbouw wordt onderzocht. In Ens gebeurt dit in het kader van Agropark Flevoland. De warmte van de WKK wordt dan benut in de kas. Vanwege de zwavel in de rookgassen is nog niet duidelijk of de rookgassen in de kas gebruikt kunnen worden.

Het is mogelijk om het biogas op te waarderen naar aardgaskwaliteit ('groen gas'). In principe kan het dan in het regionale aardgasnet worden ingevoerd. De CO₂ kan hierbij apart opgeslagen worden. Gezien de investeringskosten van dit proces van scheiden en opslag is er een behoorlijke productie van biogas nodig. Eind februari 2011 zijn er vanuit Ontwikkelingsmaatschappij Flevoland B.V. (OMFL) eerste stappen genomen om te bekijken of er CO₂ gewonnen kan worden uit biogas van vergisters ten behoeve van de glastuinbouw. Linde Gas Benelux B.V. heeft hiervoor een installatie ontworpen. Het gaat om de scheiding van biogas in vloeibaar gas, LNG en vloeibaar CO₂.

De opwaardering van biogas van vergisters en scheiding in CH₄ en CO₂ is voor de glastuinbouw een goede ontwikkeling, omdat het gas op een ander moment kan worden ingezet dan de CO₂. De behoefte aan warmte loopt tegengesteld aan de behoefte aan CO₂. Samenwerking tussen tuinbouw en grote vergisters om dit te realiseren, heeft om deze reden toekomst. Opwaardering en scheiding verhogen het energetisch rendement van de vergister en de CO₂ wordt nuttig ingezet, waardoor het stoken voor CO₂ dosering vermeden kan worden.

In Nederland zijn verschillende vergisters in productie. Grote vergisters zijn o.a.:

- Orgaworld: Elsendorp, natte vergisting met WKK;
- Orgaworld: Lelystad, droge vergisting met WKK;
- Biomassa Energie Central Salland BV, kortweg BMEC, natte covergisting met WKK 67,5 kton/jaar;
- Franico V.O.F. Hoogwoud.

Uit een publicatie van VROM-inspectie (VROM, 2010) bevonden zich eind 2009 ca. 180 co-vergistingsinstallaties in Nederland. Dit getal is mede gebaseerd op aangevraagde milieuvergunningen. Nog niet alle 180 installaties waren op dat moment operationeel; voor ca. 20 van de 180 installaties is wel een Wm-vergunning verleend, maar was de vergister nog niet gerealiseerd, of er is alleen pas sprake van een initiatief in de vergunningaanvraagfase. Het aantal initiatieven neemt nog steeds toe.

In Bijlage VII is een overzicht opgenomen van de in onderliggend WUR onderzoek gevonden vergisters op boerderijen en bij andere instanties. Deze lijst is nog niet uitputtend, maar geeft toch een beeld van de verspreiding van vergisters over Nederland. In Tabel 15 is dit overzicht samengevat per provincie met als indicatie van de grootte het WKK vermogen en CO₂ productie.

Tabel 15. Verdeling vergisters en rioolwaterzuiveringsinstallaties (RWZI) met slib vergisters over Nederland, aantal en WKK vermogen en CO₂ productie (bij 45 % CO₂ in biogas).

	Aantal vergisters	Totaal ¹⁾ vermogen WKK mW _{el}	CO ₂ in ¹⁾ biogas kton/jaar	Aantal RWZI vergisters	CO ₂ in biogas kton/jaar
Drenthe	8	9,5	33,7	3	1,2
Friesland	7	12,0	45,8	4	1,2
Flevoland	20	4,3	17,4	0	
Gelderland	8	4,1	15,8	4	3,1
Groningen	14	14,7	52,3	1	0,3
Limburg	6	11,0	38,5	1	0,7
Noord Brabant	13	54,7	167,8	3	2,9
Noord Holland	5	3,0	8,2	0	
Overijssel	7	6,6	16,2	7	4,9
Utrecht	0			2	4,3
Zuid Holland	2	0,6	2,1	2	12,4
Zeeland	1	0,3	0,9	3	3,0
Nederland	91	121	399	30	34,0

¹⁾ Van een deel van de bedrijven zijn deze gegevens niet bekend

Naast deze vergisters op bedrijfsniveau wordt ook op een groot aantal rioolwaterzuiveringsinstallaties (RWZI) slib vergist. In 2007 is een inventarisatie geweest bij 30 installaties die slib vergisten (Mulder, 2007). In Tabel 15 is de verdeling van deze 30 installaties over Nederland weergegeven, met een geschatte totale biogas productie van 40 miljoen m³ per jaar, die bij 45% CO₂ in biogas neerkomt op een CO₂ productie van 34 kton per jaar voor Nederland als totaal. In Bijlage VIII is deze inschatting weergegeven. Onderzoek uit 2009 geeft 86 RWZI's (24% van het totaal aantal RWZI's (386)) die samen ruim 95 miljoen m³ biogas produceren per jaar, wat neer komt op ruim 75 kton CO₂ (Tabel 16) (Nieuwenhuijzen, 2009). Een groot deel van dit biogas (65 miljoen m³) wordt gebruikt in WKK's ter plekke.

Tabel 16. Aantal rioolwaterzuiveringsinstallaties met vergisting per waterschap. Bron: Nieuwenhuijzen, 2009.

waterschap	Aantal RWZI met vergisting
Aa en Maas	3
Brabantse Delta	4
Delfland	3
Dommel	2
Fryslân	4
Groot Salland	4
Hollands Noorderkwartier	5
Hollandse Delta	1
Hunze en Aa's	3
Limburg	9
Noorderzijlvest	1
Reest en Wieden	3
Regge en Dinkel	4
Rijn en IJssel	4
Rijnland	6
Rivierenland	3
Schieland en Krimpenerwaard	1
Stichtse Rijnlanden	3
Vallei en Eem	6
Velt en Vecht	1
Veluwe	4
Waternet	7
Zeeuws Vlaanderen	1
Zeeuwse Eilanden	2
Zuiderzeeland	2
Totaal	86

Verspreid over Nederland komen verder veel kleine vergisters voor op boerderijen en op een 90-tal plaatsen bij RWZI's. Door de geringe hoeveelheden per vergister is echter CO₂ benutting alleen goed mogelijk als de vergister binnen enkele honderden meters van een glastuinbouwbedrijf ligt. Alleen de grote vergisters hebben een kans. De RWZI Harnaspolder is een potentiële grote leverancier van biogas en CO₂ voor de tuinbouw. Voor de kleinere vergisters is bundeling, zoals in Friesland en Flevoland wordt overwogen, via een biogasleiding een optie voor koppeling aan de tuinbouw.

4.1.4 Stortgas

Stortgas hoort niet helemaal in deze reeks, maar is wel gerelateerd aan het verwerken van afvalstromen. In Nederland wordt op verschillende plaatsen afval gestort. Op een aantal van deze plaatsen zijn voorzieningen getroffen om het gas dat op de stortplaatsen vrijkomt, op te vangen en te benutten. Dit stortgas ontstaat op een vergelijkbare wijze als het gas uit ingewerkt compost en bij vergisten. Het bevat zowel methaan als CO₂. Bekende locaties zijn o.a. Wijster, Barneveld en Bavel. Bij de laatste locatie is het stortgas benut door een glastuinbouwbedrijf. Voor stortgas geldt in principe hetzelfde als voor biogas.

4.1.5 Verbranding

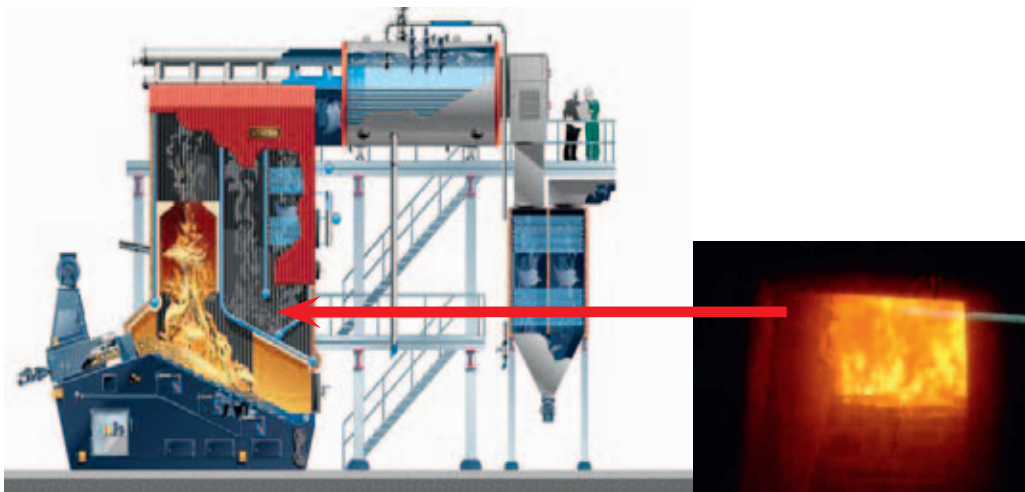
Er zijn diverse technieken voor de verbranding van biomassa. Een daarvan betreft het verbranden van biomassa in een inrichting die eigenlijk een ander primair doel heeft, zoals kolencentrales, afvalverbrandingsinstallaties. Een voorbeeld is de Amercentrale, waarvan aangesloten tuinbouwbedrijven alleen warmte afnemen. Bij Sita in Roosendaal wordt uit de afvalverbrandingsinstallatie warmte geleverd aan een glastuinbouwbedrijf. Een tweede techniek is het verstoken van biomassa, zoals zaagsel, briketten, snippers, bio-oliën of gedroogde en bewerkte mest, in een daartoe bestemde installatie.

4.1.5.1 Hout verstoken

Deze vorm van stoken is na de hoge gasprijzen in 2008 toegenomen. Een van de eerste houtstookketels is de installatie van houtfabriek van De Lange in Stompeteren, die sinds de jaren '80 een houtketel met stoomturbine heeft staan bij het potplantenbedrijf Rijnplant in De Lier. Recentere voorbeelden zijn de ketel bij de paprikateiler Vink Sion in Beetgum en de perkgoedkwekers Baas en Wouters in Ens.



Figuur 11. Impressie van de houtstookinstallatie en CO₂ scheiding bij Vink Sion B.V.



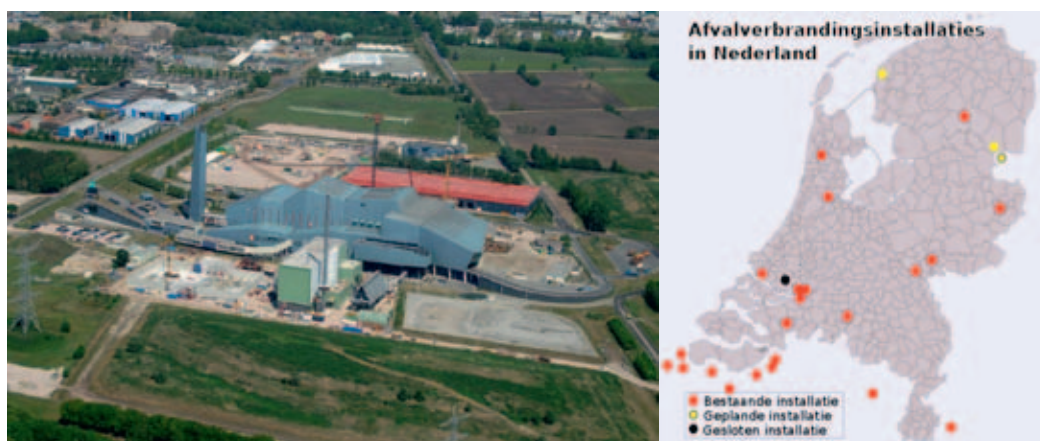
Figuur 12. Schematische weergave van de houtstookinstallatie Vink Sion B.V.

Bij Vink Sion staat een absorptie kolom voor de scheiding van CO₂ uit de rookgassen. Deze proefopstelling toont aan dat het procedé werkt, maar dat er nog onvoldoende CO₂ te scheiden is. Op dit moment is 100-150 kg per uur te scheiden op een installatie voor ruim 7 ha. Dit is slechts 5–10 % van de noodzakelijke hoeveelheid.

Zolang het CO₂ afscheidingsproces nog onvoldoende volume levert, is houtstook alleen op de momenten dat er weinig CO₂ vraag is en bij gewassen die weinig CO₂ vragen een optie om als warmtebron op een tuinbouwbedrijf in gezet te worden. Tenzij er goedkoop CO₂ gekocht kan worden. In Bijlage IX is een overzicht gegeven van tuinbouwbedrijven die houtstook hebben of overwegen. Verder wordt lokaal door bedrijven gebruik gemaakt van kleine houtstookketels tot 500 kWth.

4.1.5.2 Afvalverbranding

Op diverse plaatsen in Nederland wordt afval verbrand. Hierbij komen warmte en CO₂ vrij. De warmte wordt veelal gebruikt voor de opwekking van stroom en op enkele plaatsen voor stadsverwarming. De CO₂ gaat veelal de lucht in.



Onderzoek van Vroonhof (2006) geeft dat er in 2004 ruim 2 miljoen ton CO₂ vrijkwam bij de verbranding van afval en dat dit is gestegen ten opzichte van 1990 (zie Tabel 17).

Tabel 17. Directe CO₂-emissie afvalverbranding in 1990 en 2004.

	Verbrand afval kton	Directe emissie totaal CO ₂ kton
1990	2.943	707
2004	5.362	2.054

Als deze CO₂ voldoende schoon is, dan is dit een potentiële bron voor de glastuinbouw. Op dit moment worden de rookgassen al gecontroleerd op stof, HCl, SO₂, NO_x, CO, C_xH_y, NH₃, HF, kwik en dioxinen. Deze stoffen mogen niet aanwezig zijn om schadelijke effecten in het gewas te voorkomen. De grote afvalverbranders staan in de omgeving van grote steden, zoals de AVR in de Rijnmond, de oven in Amsterdam en bij Nijmegen. Afvang van de CO₂ zorgt voor een schoon product dat opgeslagen en verhandeld kan worden. De logistieke kosten dalen als tuinbouw in de omgeving van deze afvalverbranders gebruik kunnen maken van deze CO₂. In Bijlage X staat een overzicht met afvalverbrandingsinstallaties verdeeld over Nederland, waaruit blijkt dat de hoeveelheid verbrand afval toeneemt tot 6.333 kton in 2009.

4.1.6 Pyrolyse

De volgende generatie van opwaarderen van biomassa is pyrolyse. Pyrolyse van biomassa is een proces van zuurstof-arme verhitting waarmee lokaal beschikbare organische afvalsoorten (biomassa) ontleed worden in brandstoffen. In dit proces worden de moleculen van een organisch materiaal, onder invloed van een verhoogde temperatuur en bij gebrek aan zuurstof zodat er geen verbranding kan optreden, gekraakt. Daarbij vallen de moleculen uiteen in kleinere moleculen en vormen gassen, condenseerbare dampen (teren en oliën) en vaste kool. Afhankelijk van de omstandigheden van de chemische reacties (zoals druk, temperatuur en snelheid) ontstaan eindproducten van verschillende samenstelling. Meer uitleg over hoe het proces van pyrolyse gaat, is te vinden in het rapport "Pyrolyse in Groningen" (Siemons, 2005). Pyrolyse is geschikt voor de productie van:

- nieuw gas voor de auto brandstof markt
- gasvormige energiedragers
- pyrolyse-olie (bio-olie)
- waterstof uit biomassa
- duurzaam syngas

Interessante biomassasoorten zijn bermgras, pluimveemest, gedroogd rioolwaterzuiveringsslib, GFT en afvalhout. Biomassa wordt dus omgezet in een onder meer duurzame olie (bio-olie), die vervolgens weer als hernieuwbare grondstof en brandstof kan worden ingezet (Siemons, 2005). Ook komt er kool en gas, waaronder 'groene CO₂' bij dit proces vrij. De CO₂ uit dit proces lijkt schoon genoeg te zijn voor de glastuinbouw. Vooralsnog zijn er geen grote pyrolyse fabrieken bekend. In de omgeving van Kampen zijn de eerste plannen voor de bouw van een pyrolyse fabriek. Als deze gerealiseerd wordt, is afvang van de CO₂ een optie die in overweging moet worden genomen.

4.1.7 Bruikbaarheid CO₂ voor de glastuinbouw

Het inbrengen van organische stof in de kas zorgt tijdens het verteringsproces voor een constante aanvoer van CO₂. De hoeveelheid hangt af van de hoeveelheid, temperatuur, inbreng diepte, grondbewerkingen en vochtigheid. Er kunnen bij de vertering ook kleine hoeveelheden methaan en lachgas vrijkomen.

Op een groot aantal plaatsen in Nederland wordt organisch materiaal gecomposteerd. Deels vindt dit proces plaats in de open lucht en deels in gesloten ruimten. Hierbij komt volgens schattingen jaarlijks 620 kton CO₂ vrij. Afvang en transport via een leiding kan lokaal mogelijk een oplossing zijn voor een glastuinbouw bedrijf. Ook hier moet er op gelet worden dat er kleine hoeveelheden methaan en lachgas vrijkomen.

In Nederland zijn er 80 – 100 vergisters op kleine bedrijven gekoppeld aan een WKK, die op biogas draaien. Daarnaast zijn er 86 rioolwaterzuiveringsinstallaties die het slib vergisten. Er zijn nog geen voorbeelden van operationele vergisters op glastuinbouwbedrijven. Wel zijn in het noorden van het land initiatieven gaande om de vergisters te koppelen en het biogas op te werken. Er wordt onder andere gedacht aan een biogasleiding, waarop alle vergisters kunnen worden aangesloten en het biogas naar een gebruiker gebracht wordt die de warmte die bij de WKK vrijkomt en in het geval van de tuinbouw ook de CO₂ kan gebruiken. Het vrijkomende gas kan ook worden opgewerkt waarbij de CO₂ wordt afgescheiden en geschikt lijkt voor de glastuinbouw. Voor kleine vergisters is opwerking bijna niet financieel haalbaar; bundeling zoals in Friesland en Flevoland wordt overwogen, is dan mogelijk een oplossing. Een andere optie is om de vergister in nabijheid van een glastuinbouwbedrijf te plaatsen.

Er zijn op dit moment naar schatting 10 – 20 glastuinbouw bedrijven die voor het verwarmen van de kas houtketels gebruiken. Een aantal wekt met de warmte ook elektriciteit op. Zoals de pilot bij Vink Sion aangetoond heeft is het wel mogelijk de rookgassen van de houtketel te reinigen, maar dit proces levert (nog) te weinig CO₂ op in verhouding met het bijbehorende kasoppervlak en de daaraan gerelateerde CO₂ behoefte. Bij de grote afvalverbrandingsinstallaties komt veel CO₂ vrij. In de afgassen zitten echter ook andere gassen, die voor een deel al wel uitgewassen worden. Een rendabele en schone afvang, levert ruim 2.000 kton CO₂ die voor de glastuinbouw geschikt is.

4.1.8 Knelpunten en aanbevelingen

De kleine lokale installaties geven onvoldoende CO₂ om grote investeringen in afvang en reiniging van CO₂ interessant te maken. Hiervoor moeten eenvoudig installaties ontworpen worden vergelijkbaar met een rookgasreiniger voor de WKK. Clustering van een aantal dicht bij elkaar gelegen installaties is een andere optie.

4.2 CO₂ uit grootschalige bronnen

4.2.1 Elektriciteitscentrales

In Nederland kunnen de elektriciteitscentrales in twee groepen verdeeld worden, namelijk de kolen- en de gasgestookte centrales. De capaciteit van kolencentrales is over het algemeen het grootste en heeft een hogere CO₂ emissie. Elektriciteitscentrales gebruiken grote hoeveelheden fossiele brandstof voor de productie van elektriciteit (en warmte). Hierbij komen grote hoeveelheden CO₂ vrij. De CO₂ emissie van deze centrales is met respectievelijk 12.000 en 18.000 kton CO₂ uit gas- en kolencentrales groter dan de CO₂ vraag van het gewas, 1.300 – 1.500 kton, en de totale vraag vanuit de tuinbouw (2.5 – 9.7 mton per jaar).

Tabel 18. Specificatie van de grote elektriciteit productie-eenheden in Nederland.

Nr.	Naam centrale	Brandstof	(mW _{el})	CO ₂ emissie (kton/jaar)	eigenaar
1	Eemscentrale	Aardgas	2.400	3.300	Electrabel
2	Centrale Bergum	Aardgas	664	602 ¹	Electrabel
3	Centrale Harculo	Aardgas	350	193 ¹	Electrabel
4	Flevocentrale	Aardgas	124	19 ¹	Electrabel
5	WK centrale Almere	Aardgas	118	312 ¹	Electrabel
6	Centrale Gelderland	Kolen + biomassa	602	2.000	Electrabel
7	Lage Weide	Aardgas	247	553 ¹	NUON
8	Merwedekanaal	Aardgas	416	545 ¹	NUON
9	Velsen + IJmond	Aard + Hoogovengas	1.004	1.810 ¹	NUON
10	Hemweg	Aardgas	599	326 ¹	NUON
10b	Hemweg	Kolen	630	2.900	NUON
11	Diemen	Aardgas	249	51 ¹	NUON
12	Purmerend	Aardgas	69	160	NUON
13	Leiden	Aardgas	81	116 ¹	E.on
14	Den Haag	Aardgas	78	138 ¹	E.on
15	Delft	Aardgas	93	133 ¹	E.on
16	Rotterdam Galilei	Aardgas	209	450 ¹	E.on

Nr.	Naam centrale	Brandstof	(mW _{el})	CO ₂ emissie (kton/jaar)	eigenaar
17	RoCa ₃	Aardgas	269	682 ¹	E.on
18	Maasvlakte	Kolen + biomassa	1.040	4.900	E.on
19	Amercentrale	Kolen + biomassa	1.245	5.000	Essent
20	Dongecentrale	Aardgas	121	73 ¹	Essent
21	Moerdijk	Aardgas + warmte	339	58 ¹	Essent
22a	Borselle	Aardgas	18	100	EPZ
22b	Borselle	Kolen + biomassa	406	1.700	EPZ
22c	Borselle	Kern	482	-	EPZ
23	Clauscentrale	Aardgas	1.280	1.036 ¹	Essent
24	Swentibold	Aardgas	233	-	Essent
25	Buggenum	Kolenvergassing + biomassa	253	645 ¹	Nuon
26	Air Products	Aardgas	43	3671	Electrabel
27	Rijnmond	Aardgas	800	1.575 ¹	Intergen
	Nederland	Aardgas + ..	9.103	11.726	
		Kolen + ..	13.980	18.018	
		Kern	482		

¹ Dit is een schatting gebaseerd op de toegekende CO₂ emissierechten aan deze centrale.



Figuur 13. Grote elektriciteit productie-eenheden.

In Figuur 13 is de ligging van 28 grote elektriciteitsproductie locaties in Nederland weergegeven. Zie Tabel 18 voor de namen van de verschillende centrales en hun (geschatte) jaarlijkse CO₂ emissie.

De rookgassen van kolencentrales bevatten na reiniging van de gassen nog steeds spoorelementen (metalen, organische en zwavelverbindingen), zwavel en stikstofoxiden, die ongewenst zijn voor toepassing in de glastuinbouw. Voor de verdere reiniging van de rookgassen zijn uitvoerige reinigingsstappen noodzakelijk. De kolencentrales in Nederland zijn allemaal voorzien van een uitgebreide rookgasreiniging voor NO_x, SO_x en stoffilters. De rookgassen van aardgasgestookte centrales bevatten veel minder spoorelementen in de rookgassen, maar een hoge concentratie van stikstofoxiden. Voor transport naar de tuinbouw kan vervolgens de CO₂ door absorptie worden afgevangen uit deze rookgassen zodat het in een zeer geconcentreerde vorm kan worden aangeboden. Voor elektriciteitscentrales is het interessant om de tuinbouw als afnemer van CO₂ te benutten, om zo te kunnen voldoen aan de eisen voor CO₂ emissie. Een voorbeeld van een groot-schalig project is het ROCA3 project van EON/Eneco en glastuinbouwbedrijven in Lansingerland.

4.2.2 CO₂ uit industrie

In diverse typen industrieën komt CO₂ vrij als niet-primaire productstroom. Veelal komt de CO₂ vrij als gevolg van energie- of van procesactiviteiten. Het gaat hier om bedrijven in de chemie, papier- of keramische industrie of bij tuinders zelf. Een overzicht van toegekende CO₂ emissierechten per bedrijf voor 2008 – 2012 geeft een goed zicht op waar in Nederland CO₂ vrijkomt. Deze lijst is integraal terug te vinden in Bijlage IV. In Tabel 19 is dit overzicht samengevat naar CO₂ productie per provincie en is een splitsing naar “sector” gemaakt. De glastuinbouw is weg gelaten uit het overzicht.

Zoals in paragraaf 4.2.1 al genoemd is, zijn de elektriciteitscentrales grote CO₂ producten. In dit overzicht ontbreken de veelal kleinere HWC en WKC. In de provincies waar geen chemische industrie is, zijn dat de grootste CO₂ producenten. De veelal gasgestookte centrales leveren een schoon rookgas vergelijkbaar met de WKK op de glastuinbouwbedrijven. Hier liggen kansen voor combinatie met glastuinbouwbedrijven.

Tabel 19. Toegekende CO₂ emissierechten per jaar per provincie exclusief glastuinbouw en het areaal glastuinbouw gesplitst naar “sector”.

provincie	sector	CO ₂ emissierechten (kton/jaar)	
		sector	totaal
Drenthe	100 – 199	539	1.037
	200 - 299	23	
	400 - 499	474	
Friesland	100 – 199	202	1.053
	200 - 299	250	
	400 - 499	601	
Flevoland	100 – 199	7	338
	400 - 499	331	
Gelderland	100 – 199	38	5.817
	200 - 263	1.431	
	264	389	
	400 - 499	3.912	
	overig	46.4	
Groningen	100 – 199	256	3.915
	211	288	
	400 - 499	3.301	
	overig	71	
Limburg	100 - 199	17	6.557
	211	456	
	200 - 263	3532	
	264	111	
	265	716	
	400 - 499	1.702	
	overig	9	
Noord Brabant	100 - 199	634	4.418
	211	103	
	212 - 263	2.575	
	264	14	
	300 – 399	42	
	400 - 499	1.038	

provincie	sector	CO ₂ emissierechten (kton/jaar)	
		sector	totaal
Noord Holland	100 - 199	276	16.994
	200 -270	264	
	271	10.627	
	400 -499	5.705	
	overig	162	
Overijssel	100 - 199	83	478
	200 - 299	27	
	400 - 499	362	
Utrecht	100 - 199	18	1.258
	200 - 299	40	
	400 - 499	1.120	
	overig	81	
Zuid Holland	100 - 199	601	21.281
	200 - 299	11.804	
	400 - 499	8.794	
	overig	50	
Zeeland	100 - 199	298	7.651
	200 - 299	4.089	
	400 - 499	3.253	
Nederland			70.786

Ruwweg zijn er de volgende groepen bedrijven:

- 100 – 199: natuurlijk materiaal verwerken
- 200 – 299: chemische producten verwerken
- 400 – 499: elektriciteitscentrales en warmtecentrales voor bijv. stadsverwarming
- 211 papierfabrieken
- 264 steenfabrieken
- 265 ENCI
- 271 Hoogovens

In het rivierengebied zijn de steenfabrieken lokale kansen als CO₂ bron voor de glastuinbouw. In Groningen, Gelderland en Limburg zijn de papierfabrieken belangrijke CO₂ producenten.

In Limburg, Noord Brabant en Zuid Holland is de (petro)chemische industrie een belangrijke potentiële CO₂ bron. In Noord Holland valt Hoogovens op als CO₂ bron.

De groep verwerkers van natuurlijk materiaal (zoals melk, aardappelmeel, frites en suiker fabrieken) zijn in vergelijking kleinere CO₂ producenten.

4.2.3 Bruikbaarheid CO₂ voor de glastuinbouw

Voor de (biologische) glastuinbouw zijn de gezuiverde rookgassen van gasgestookte elektriciteitscentrales een interessante bron van CO₂. De rookgassen van kolengestookte elektriciteitscentrales moeten eerst een reiniging krijgen op zwavel- en stikstofoxiden, fijn stof en schadelijke spoorelementen, om geschikt te zijn voor de glastuinbouw. Het CO₂ gehalte in de rookgassen van elektriciteitscentrales ligt onder de 10 %. Dit maakt transport van deze rookgassen als CO₂ bron voor de glastuinbouw moeilijk; er is veel volume nodig en er is weinig inhoud. Het enige voorbeeld van een op deze manier grootschalig CO₂-leverend project is het ROCA3 project van E.on/Eneco en glastuinbouwbedrijven in Lansingerland, 130 kton per jaar. De rookgassen worden gereinigd via een naverbrander. Bij het warmtenet van de Amercentrale is gekozen voor levering van zuivere CO₂, vanwege de verontreiniging in de rookgassen en vanwege het lage CO₂ gehalte.

Hetzelfde gold voor de centrale die warmte leverde in Erica en Klazienaveen.

Door de invoering van emissierechten voor CO₂ zijn steeds meer grote CO₂ emitterende bedrijven op zoek naar afvang en reinigingsmethoden. Electrabel heeft in 2009 – 2010 een haalbaarheidsonderzoek gedaan naar het afvangen van CO₂ van de nieuwe Maxima centrale in Lelystad en diverse transportvormen om het naar de tuinbouw in de omgeving te krijgen (Groen, 2010). De conclusies is dat afvang goed mogelijk is, maar dat transport via een leiding naar Luttelgeest, Ens en de koekoekspolder bij IJsselmuiden nooit rendabel te krijgen is. De investeringen en proceskosten zijn te hoog voor de hoeveelheid. Afvang en shipping lijkt bij een goede markt voor CO₂ wel kansen te hebben. Deze afvang heeft wel consequenties voor het rendement van de centrale. De CO₂ vanuit de procesindustrie kenmerkt zich door de zeer geconcentreerde en schone vorm waarin het beschikbaar komt. Al enkele jaren wordt CO₂ in zuivere vorm afkomstig uit de procesindustrie aan glastuinbouwbedrijven geleverd. Een deel wordt als vloeibare CO₂ in tankwagens naar de glastuinders gereden en opgeslagen in een korte termijn opslag.

Er zijn twee projecten met centrale levering via een pijpleiding. Een daarvan is het OCAP-initiatief van Shell en Linde gas en glastuinbouwbedrijven in Zuidwest-Zuid-Holland, 300 kton per jaar. Daarin wordt sinds 2006 CO₂ geleverd afkomstig van de petrochemische industrie uit het Rijnmondgebied. Er zijn plannen om nog twee fabrieken hierop aan te sluiten, waardoor de beschikbaarheid en leveringszekerheid toeneemt.

Het tweede project is het project WarmCO₂ waarin Zeeland Seaports, Yara, Visser & Smit Hanab en de glastuinbouwondernemers in het nieuwe tuinbouwgebied van Terneuzen. Zowel warmte als CO₂ van de kunstmestfabriek van Yara worden hier gebruikt door de glastuinbouw. Binnen dit project wordt ook vergisting als toekomstige optie overwogen. Rosendaal Energy en Nedalco overwegen pyrolyse naar respectievelijk biodiesel en alcohol (Transforum, onbekend).

Deze twee voorbeelden geven aan dat er mogelijkheden zijn. In beide gebieden kunnen nieuwe CO₂ producerende bedrijven aangesloten worden op het bestaande pijpleiding netwerk. Dit biedt kansen voor aansluiting van meer (nieuwe) tuinbouwbedrijven in het leveringsgebied.

Bij de categorie natuurlijke producten verwerkende industrie komt het merendeel van de CO₂ vrij bij verwarming van de producten tijdens het bereidingsproces. Bij gasgestookte ketels zal het gas een vergelijkbare kwaliteit hebben als een tuinbouwketel of WKK en met bestaande technieken gereinigd kunnen worden. Lokaal kan dit mogelijkheden bieden voor vestiging of aansluiting van tuinbouwbedrijven in de omgeving van een dergelijke fabriek.

In Tabel 20 is berekend hoeveel CO₂ gemiddeld afgenomen wordt op bedrijfsniveau bij de twee grote CO₂ leveranciers, OCAP en RoCa₃. Hierbij is er vanuit gegaan dat er gemiddeld van een na zonsopkomst tot een uur voor zonsondergang gedoseerd wordt, gemiddeld 10 uur per dag 340 dagen per jaar. De gemiddelde uur gebruiken liggen bij de RoCa₃ op 116 kg CO₂ per uur wat redelijk overeenkomt met het leidingenontwerp destijds en bij de OCAP op 68 kg. Dit betekent de bij RoCa₃ als basisvoorziening op 39 kg CO₂ per m² per jaar afgenomen wordt en bij de OCAP veelal als aanvullende 23 kg CO₂ per m² per jaar.

Tabel 20. Berekening van aanvullend CO₂ gebruik OCAP en RoCa₃.

		OCAP	RoCa ₃
CO ₂ levering	kton/jaar	300	130
bedrijven		500	140
oppervlakte	ha	1.300	3301
verbruik	kg/m ² /jaar	23	39
doseren	uren /jaar	3.400	3.400
	kg/uur	68	116

Bronnen:

http://ocap.media-factory.nl/files/Media/Projectbeschrijving%20OCAP/Factsheet_NL.pdf

<http://www.eon-benelux.com/eonwww/publishing.nsf/Content/Centrale+RoCa3>

4.2.4 Knelpunten en aanbevelingen

De lage concentratie CO₂ en de verontreinigingen zijn een belemmering voor gebruik in de glastuinbouw van CO₂ in rookgassen van elektriciteitscentrales.

Het probleem van de afstand van transport van lage concentraties CO₂ kan opgelost worden door tuinbouwvestigingen te combineren met grootschalige elektriciteitscentrales.

CCS biedt mogelijkheden voor een ruimer aanbod van geschikte CO₂ voor de andere tuinbouwgebieden. De transportkosten zullen hier een belangrijk deel van de kosten uitmaken.

Op veel plaatsen in de procesindustrie komt bijna zuivere CO₂ vrij. Voor een deel wordt dit al geleverd aan de tuinbouw en andere CO₂ gebruikers. Dit gebeurt zowel per tankauto als per pijpleiding. Voor de glastuinbouw als grote potentiële gebruiker is het belangrijk dat initiatieven die de procesindustrie aansluiten op bestaande of aan te leggen CO₂ transportleidingen gestimuleerd en ondersteund worden. De OCAP is daar een goed voorbeeld van. Het is daarbij belangrijk dat de CO₂ producenten overtuigd worden van de noodzaak van gebruik van de CO₂ door andere partijen, ook als het hoofdproces daar hinder van ondervindt.

In dit kader is het belangrijk dat aangesloten wordt bij initiatieven om CO₂ op te slaan en een aansluiting aan transportleidingen te maken voor de tuinbouw.

Wettelijke regelingen over emissierechten zullen voor deze vorm van hergebruik van CO₂ aangepast moeten worden.

5 CO₂ productie, scheiding en opslag

Wereldwijd is er voldoende CO₂ beschikbaar voor alle gebruiksdoelen. Op mondiaal niveau is een van de werkgroepen van het 'Intergovernmental Panel on Climate Change' (IPCC) actief geweest met Carbon Dioxide Capture and Storage. Dit heeft geresulteerd tot een Special Report met daarin informatie voor beleid, wetenschap en techniek rondom klimaatverandering en CO₂ emissie. Het rapport beschrijft bronnen, afvangst, transport en opslagvormen voor CO₂. Ook gaat het in op kosten, haalbaarheid en maatschappelijke discussies van CCS, inclusief publieke opinie en regelgeving (IPCC, 2005). Het voornaamste knelpunt is dat de gebruiksdoelen niet gekoppeld zijn aan de productielocaties van CO₂ en dat voor de glastuinbouw de CO₂ alleen overdag nuttig is in te zetten. Bijlage XII is afkomstig uit genoemd IPCC rapport en geven de CO₂ concentraties van verschillende bronnen weer.

Naast aardgas zijn er steeds meer bronnen waaruit gassen komen die vergelijkbaar zijn met aardgas. Bij verbranding komt hier CO₂ vrij en in een aantal gevallen ook bij de productie. In Bijlage XIV is een overzicht gegeven van deze gassen.

5.1 CO₂ productie en afvang

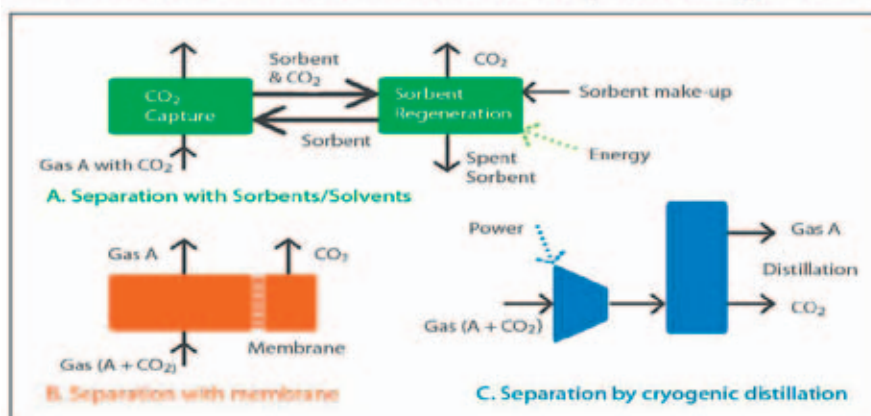
Zowel op het niveau van het tuinbouwbedrijf als bij andere klein- of grootschalige CO₂ producenten is CO₂ af te vangen of scheiden en daarna op te slaan, zodat de CO₂ op de juiste plaats en tijd ingezet kan worden. De afstand tussen productie en gebruik van CO₂ bepaalt samen met de noodzakelijke hoeveelheid de wijze van opslag en transport en de kosten die daar uit voortvloeien.

Voor de afvangst (capture) van CO₂ zijn drie mogelijkheden:

- post combustion route: CO₂ wordt na verbranding afgevangen;
- pre combustion route: CO₂ wordt vóór verbranding afgevangen. Deze methode vindt vooral plaats bij steenkoolvergassing.;
- stikstof loze verbranding: verbranding met zuivere zuurstof en recirculatie van CO₂. Energiebedrijf Vattenfall gaat een dergelijke centrale bouwen bij Scharze Pumpe in Duitsland.

Voor de afvang noemen Huibers et al (2009) de drie technieken van absorptie, membraan technologie en cryogene destillatie (zie Figuur 14). Absorptie is daarvan de meest kansrijke.

Three basic methods to separate gases



Figuur 14. Drie methodes om CO₂ te winnen uit (rook-)gassen: (A) absorbers en adsorbers, (B) membraan technologie en (C) cryogene destillatie.

5.1.1 Absorptie technologie

Een van de mogelijkheden voor reiniging en concentratie van CO₂ uit rookgassen is absorptie technologie. Er zijn twee actuele voorbeelden van deze technologie.

Een werkende CO₂ afvangstinstallatie is in bedrijf bij paprikateler Vink Sion in Beetgum. Daar wordt een door HoSt en Imtech – Vonk ontwikkelde CO₂ afvangst installatie gedemonstreerd, welke is aangesloten op een hout gestookte WKK. Er is gekozen voor absorbers als CO₂-afvangsttechnologie voor dit commerciële product omdat deze techniek het verst ontwikkeld is richting toepassing in de praktijk. Zoals al eerder beschreven werkt deze installatie, maar is een vele malen grotere installatie nodig om alle beschikbare CO₂ die bij de houtketel vrijkomt te kunnen scheiden.

Het bedrijf Knook Energy Solutions heeft in samenwerking met TNO de ECOO Box ontwikkeld. De Knook ECOO box bestaat uit een wastoren die achter een rookgasreiniger wordt geplaatst. De vloeistof in de toren absorbeert CO₂ uit het rookgas. In een tweede toren kan de CO₂ in geconcentreerde zuivere vorm weer worden teruggewonnen (regeneratie) Beide technieken worden kansrijk genoemd (Huibers et al, 2009), maar moeten nog verder uitgewerkt worden.

5.1.2 HotCO₂

Naast afvangst is ont koppeling van CO₂ en warmte productie is een geheel andere werkwijze om de CO₂ apart beschikbaar te krijgen. TNO heeft hiervoor een nieuw soort tuinbouwketel gepatenteerd: de HotCO₂. Het principe achter deze ketel is dat onafhankelijk warmte en CO₂ worden geleverd bij verbranding van aardgas of biogas.

Het verbrandingsproces is opgesplitst in twee stappen, één waarbij CO₂ wordt gevormd, één waarbij enkel warmte vrijkomt. Door deze ont koppeling van warmte en CO₂ kan efficiënt gebruik gemaakt worden van zowel warme als CO₂ op het moment dat dat nodig is. Een bijkomend voordeel is nog dat er geen emissies zijn van NO_x en koolwaterstoffen. Ook is het mogelijk om biogas ipv aardgas te gebruiken. Het biogas dient dan eerst te zijn ontzwaveld. In Bijlage XI staat een uitgebreidere beschrijving van beide verbrandingsstappen.

Uit onderzoek van TNO blijkt dat deze techniek perspectief biedt voor toepassing in de tuinbouw. TNO heeft modelberekeningen gemaakt voor verschillende situaties. Hieruit bleek dat rentabiliteit van het HotCO₂-systeem afhangt van veel factoren, zoals de grootte van de kas, de gewenste hoeveelheid warmte en CO₂ gedurende het jaar, de gasprijs en het aantal dagen dat de teler alleen CO₂ of alleen warmte nodig heeft. Een demonstratiemodel van het HotCO₂-systeem zou meer uitsluitsel moeten geven (Geerdink, 2010; Huibers et al, 2009).

5.2 Opslag: Carbon Capture & Storage

De introductie van emissierechten als antwoord op de milieu en opwarmingsproblematiek van de aarde heeft het onderzoek naar afvang en opslag van CO₂ een nieuwe impuls gegeven. Carbon Capture & Storage (CO₂-afvangst en –opslag), afgekort tot CCS, is een manier voor bedrijven met CO₂ emissie om deze emissie te reduceren cq een hoge kwaliteit CO₂ van de rookgassen te produceren. Vosbeek en Warmenhoven (2007) noemen opslag een belangrijke pijler van de energie politiek voor de komende 10 jaar, om de emissie terug te dringen.

CCS is zowel voor CO₂ emitterende bedrijven interessant als voor bedrijven die juist behoefte hebben aan zuivere of schone CO₂. Het lijkt interessant voor de grootschalige elektriciteitscentrales en de procesindustrie, maar ook voor de productie van cement-, kunstmest- of staal, processen waarbij ook CO₂ vrijkomt.

5.2.1 Grootschalige CO₂ bronnen

Opslag in de ondergrond is een veel besproken methode voor grootschalige CO₂ emitterende bedrijven. Er zijn momenteel nog veel onduidelijkheden en moeilijkheden verbonden aan geologische opslag (Huibers et al, 2009). Deze beperken de mogelijkheden om op deze wijze bij te dragen aan de CO₂ voorziening van de glastuinbouw:

- het gaat om permanente opslag (CCS), niet om tijdelijk opslag met geplande herwinning. Over het eerste type opslag is al weinig bekend, over het tweede nog minder;
- geologische opslag is waarschijnlijk zeer afhankelijk van het lokaal voorkomen van bepaalde geologische formaties, en dus niet overal beschikbaar. Ook kan de prijs van benodigde boringen een hoge drempel vormen. Over dit alles is momenteel onvoldoende informatie beschikbaar;
- indien in een gasveld opgeslagen wordt, zal er een niet te verwaarlozen hoeveelheid methaan in de teruggewonnen CO₂ terechtkomen, wat ongewenst is;
- vergunningen en wetgeving kunnen een struikelblok zijn, bijvoorbeeld met betrekking tot eigendom van de opslagformatie en de verantwoordelijkheid bij eventuele ongelukken en schades;
- kooldioxide is een verstikkend gas, waardoor plotseling vrijkomen van opgeslagen gas ernstige gevolgen kan hebben (iets wat met natuurlijk voorkomend (Nyosmeer en Monounmeer in Kameroen, 1984 resp. 1986) en kunstmatig (Mönc-hengladbach in Duitsland, 2008) CO₂ al is voorgekomen).

Voor de opslag in de ondergrond moet de CO₂ zuiver zijn. Veelal moet de CO₂ van de productielocaties naar de opslaglocatie getransporteerd worden. Hierdoor ontstaat een geheel nieuwe situatie, waarbij nagenoeg zuivere CO₂ in grote hoeveelheden beschikbaar komt en er een transportinfrastructuur ontstaat. Het is een logische stap deze CO₂ dan aan te wenden op plaatsen waar deze nuttig in gezet kan worden.

Voor de benutting van de afgevangen CO₂ uit grootschalige bronnen zal een nieuwe infrastructuur ontwikkeld worden. Er zijn hier parallellen te trekken met de OCAP-leiding die de glastuinbouw concentratiegebieden al voor een aanzienlijk deel van CO₂ voorziet. Voor de kleinere tuinbouwgebieden zal naar een andere oplossing gekeken moeten worden als er geen CO₂ leiding in de buurt overwogen wordt. Zoeken naar een bron op lokaal niveau kan daar een oplossing bieden.

5.2.2 Kleinschalige, lokale CO₂ bronnen

Bij het ontbreken van een aansluitingsmogelijkheid op een netwerk van grote industriële bronnen in de buurt zou CO₂ ook op kleine schaal kunnen worden afgevangen, opgeslagen en getransporteerd. Dit is alleen bruikbaar wanneer deze CO₂ ook weer beschikbaar kan komen voor de CO₂-gift aan het gewas.

Huibers et al (2009) geven aan dat vanwege de zeer geringe dichtheid van gassen de opslag van grote hoeveelheden CO₂ bovengronds niet haalbaar is zonder een faseovergang naar vloeibare of vaste fase. Oplossen in een vloeistof lijkt een theoretische optie, maar toepassing daarvan in de praktijk wordt belemmerd door de benodigde grote hoeveelheid vloeistof, vaak opgeloste chemicaliën bevattend. Opslag ondergronds vereist geen faseovergang omdat grote opslagvolumes zoals watervoerende lagen en poreus gesteente wel beschikbaar kunnen zijn.

Een belangrijk aandachtspunt bij het beschouwen van opslagtechnieken, is dat het rechtstreeks opslaan van WKK rookgassen zeer waarschijnlijk onaantrekkelijk is; WKK-rookgassen bevatten circa 8% CO₂, waardoor directe opslag daarvan ten opzichte van zuivere CO₂ ruwweg 12,5 keer zo veel opslagruimte kost. Ter besparing van kosten en energie zal voorafgaande aan de opslag daarom eerst CO₂ afgevangen moet worden tot zuivere of sterk geconcentreerde CO₂, of kan beter een bron van zuivere CO₂ worden gebruikt zoals OCAP of inkoop vloeibare CO₂.

Compressie is een ver ontwikkelde techniek voor het opslaan van gassen in een klein volume. Door middel van een compressor wordt hier CO₂ uit rookgassen op druk gebracht en opgeslagen in een tank. Als voldoende hoge druk gebruikt wordt, dan ontstaat vloeibare CO₂.

5.2.3 Wet- en regelgeving bovengrondse opslag

Voor de bovengrondse opslag van rookgassen moet worden voldaan aan wet- en regelgeving. In de “Regeling algemene regels voor inrichtingen milieubeheer” zijn de geldende bepalingen voor gasopslag terug te vinden. Deze regeling, ondertekend door de minister van VROM, is terug te vinden op www.overheid.nl. Naast deze wetgeving zijn de keuringscriteria voor bovengrondse tankinstallaties van toepassing. Deze criteria zijn nu nog vastgelegd in “KC 111/01: Keuringscriteria voor de (her)classificatie van bovengrondse tankinstallaties (kunststof en staal)” van Kiwa N.V. Certificatie en Keuringen (versie december 2007). Deze criteria worden geïntegreerd in BRL K903.

5.3 Bruikbaarheid CO₂ voor de glastuinbouw

De interesse voor grootschalige afvang van CO₂ in verband met de komende afrekening van bedrijven voor CO₂-emissierechten geeft een impuls aan de markt van nagenoeg zuivere CO₂. De gasgestookte elektriciteitscentrales en de chemische industrie zijn de meest geschikte kandidaten voor afvang en daarmee beschikbaar komen van zuivere CO₂.

De beschikbaar komende en de benodigde hoeveelheid, de zuiverheid en de transport afstand zullen voor een groot deel bepalen op welke wijze en tegen welke kosten dit voor de tuinbouw beschikbaar komt. Onderzoek van KEMA geeft de in Bijlage XIII gebundelde resultaten over beschikbaarheid en kwaliteit van de verschillende CO₂ bronnen (Wolff, 2009).

Koppeling en bundeling van, lokale, distributie netwerken aan netwerken voor CO₂ opslag kan de beschikbaarheid zekerder maken. Hierdoor kan lokale productie van CO₂ door bijvoorbeeld verbranden van aardgas vermeden worden. Het scheiden, comprimeren en transport kosten ook energie. Logistieke optimalisatie zal moeten bepalen wat de beste optie is voor elk tuinbouwgebied afzonderlijk. Samenwerking tussen sectoren vergroot de kans op succes.

6 Voorbeelden van mogelijke lokale oplossingen

Voor twee van de geïnterviewde bedrijven zijn ideeën om op een andere manier aan CO₂ te komen, in dit hoofdstuk verder beschreven. Het gaat hier om de volgende cases:

- De tuin koppelen aan de nabijgelegen Phaleanopsis kweker;
- De tuin CO₂ laten gebruiken van Heet Water Centrale;
- De tuin CO₂ laten gebruiken van een vetverwerker;
- Mogelijkheid rookgassen op te slaan in omgebouwde warmtebuffer;
- Plannen tot de bouw van een centrale biovergister om gebied van energie te voorzien.

6.1 Voorbeeld 1: Gebruik CO₂ van WKK burens

Het voorbeeld bedrijf ligt op 1.200 meters afstand van Phaleanopsis kwekerij waarvan mogelijk de CO₂ van de WKK gebruikt kan worden. Dit betekent dat er een buis aangelegd zal moeten worden tussen de twee bedrijven, waardoor de CO₂ van de WKK van de Phaleanopsis kwekerij naar het voorbeeld bedrijf kan worden gebracht.



Figuur 15. Voorbeeld 1.

Op dit moment wordt de CO₂ behoefte op het bedrijf ingevuld door de CO₂ uit de ketel en de CO₂ die vrijkomt uit aan het begin van het teeltseizoen ingebrachte organische stof. Dit is in de zomermaanden onvoldoende. Er is een tekort van 200 ton CO₂ in de zomer.

De kernvraag is of deze hoeveelheid CO₂ op een voor beide partijen rendabele manier kan worden ingevuld door de overtollige CO₂ van de Phaleanopsis kwekerij. Hierbij moet aandacht worden besteed aan:

- de hoeveelheid en kwaliteit CO₂ die de Phaleanopsis kwekerij over heeft;
- mogelijkheden van aanleg en gebruik pijpleiding voor transport CO₂;
- locatie van de WKK: bij voorbeeld bedrijf of bij de Phaleanopsis kwekerij;
- de contractvorm;
- koppeling met andere burens.

6.2 Voorbeeld 2: Gebruik CO₂ van HWC

Het voorbeeld bedrijf ligt nabij een nieuwbouwwijk op naar schatting 1,5 km met een de Heet Water Centrale. Deze centrale verzorgt het warm water en de verwarming voor de wijk met een WKK. Op basis van de toegekende emissierechten (10.4 kton per jaar) is er ruim voldoende CO₂ voor 10 ha glastuinbouw. De rookgassen van deze WKK zouden met een rookgasreiniging geschikt zijn voor gebruik door het voorbeeld bedrijf.



Figuur 16. Voorbeeld 2.

Op dit moment wordt de CO₂ behoefte ingevuld door de CO₂ uit de WKK en de CO₂ die vrijkomt uit aan het begin van het teeltseizoen ingebrachte organische stof. Dit is in de zomermaanden onvoldoende.

De kernvraag is of dit tekort aan CO₂ in de zomer op een voor beide partijen rendabele manier kan worden ingevuld door de gereinigde CO₂ van HWC. Hierbij moet aandacht worden besteed aan:

- de hoeveelheid en kwaliteit CO₂ die HWC in de zomer beschikbaar heeft;
- noodzaak en mogelijkheden voor plaatsing rookgasreiniger bij HWC;
- mogelijkheden tot aanleg onder het kanaal en het gebruik van een pijpleiding voor transport CO₂;
- eigendom rookgasreiniger;
- de contractvorm.

6.3 Voorbeeld 3: Gebruik CO₂ van vet afval verwerkend bedrijf

Het bedrijf ligt op 100-200 m afstand van een bedrijf dat grote hoeveelheden vet, dat bij het reinigen riolen en vetvangers vrijkomt, verwerkt. Dit bedrijf is een mogelijke optie als CO₂ bron.

De kernvraag is of het tekort aan CO₂ in de zomer op dit bedrijf op een voor beide partijen rendabele manier kan worden ingevuld door CO₂ die bij de verwerking van vet-afval vrijkomt. Hierbij moet aandacht worden besteed aan:

- de mate en de kwaliteit CO₂ vrijkomt bij de huidige manier van verwerking;
- mogelijkheden vergisten van het vet en gebruik CO₂ en biogas;
- mogelijkheden CO₂ en biogasleiding tussen de twee bedrijven;
- de contractvorm.

6.4 Voorbeeld 4: Opslag CO₂ in oude warmtebuffer

In de winter en het vroege voorjaar is er meer dan voldoende CO₂ op het bedrijf vanuit de ketel. Verder gebruiken de burens weinig CO₂ in de perkplantenteelt en is er daar ook CO₂ over. Er wordt overwogen om een van de warmtebuffers van 150 of 200 m³ als opslag voor CO₂ te gaan gebruiken, om de overtollige CO₂ in de winter en voorjaar op te slaan en in de zomer weer te gebruiken. Een andere optie is opslag in tankcontainers op het erf.

De kernvraag is of het rendabel is om CO₂ uit de winter op te slaan in grote buffers op het bedrijf zelf om in de zomer weer te gebruiken. Hierbij moet aandacht worden besteed aan:

- de hoeveelheid CO₂ die tekort is in de zomer;
- de hoeveelheid CO₂ die in de winter of bij de burens over is;
- het buffer volume dat hiervoor nodig is;
- de eisen die aan deze buffer gesteld worden;
- het energieverbruik en de kosten van de opslag en het comprimeren.

6.5 Voorbeeld 5: Centrale vergister

Het bedrijf ligt aan een laan met twee perkgoedtelers en een aardbeienplantenkweker. Het bedrijf heeft daar een kas aan beide zijde van de laan. De kassen worden verwarmd met een ketel en als back-up is er een aansluiting op de warmteleiding van de buurman.



Figuur 17. Voorbeeld 5.

In het kader van de ontwikkeling van een Agropark is er een deskstudie gemaakt om te bekijken of het tuinbouwgebied van energie kan worden voorzien met behulp van een vergister. Het biogas dat daarbij vrijkomt, kan of worden gebruikt in een WKK of worden opgewerkt tot aardgaskwaliteit, waarbij de CO₂ afgescheiden wordt.

De deskstudie gaf aan dat er mogelijkheden zijn voor dit project. Het komt er op neer dat de energievraag van het bedrijf met een vergister kan worden ingevuld. De exploitatie moet door derden partij plaats vinden. Met een aantal potentiële exploitanten wordt dit plan verder uit gewerkt.

De kernvraag hier is of het rendabel is CO₂ uit biogas van deze vergister te halen en op het bedrijf te benutten. Hierbij moet aandacht besteed worden aan:

- op welke plek wordt biogas opgewerkt;
- hoeveelheid en zuiverheid van het biogas en de CO₂;
- plaats waar het opgewerkte gas gebruikt wordt;
- subsidie mogelijkheden en voorwaarden;
- eigendom vergister en opwerking en contractvorm.

6.6 Bruikbaarheid lokale oplossingen

Bovenstaande voorbeelden geven aan dat er in de omgeving van tuinbouwbedrijven CO₂ bronnen van buiten de glastuinbouw aanwezig zijn. Van een aantal bronnen is redelijk te voorspellen welke kwaliteit de CO₂ heeft, zoals bij de WKK van de burens en de HWC. Voor andere bronnen zal dit eerst moeten worden bekeken.

Elk plan is op zich zelf maatwerk. Meestal gaat het om een samenwerking tussen meerdere partijen met een investering in bijvoorbeeld scheiding, opslag of transport. Deze partijen moeten de wil hebben samen een haalbare business case te maken, waarin beide partijen hun investeringen en exploitatiekosten kunnen terugverdienen. In de fase waarin een haalbaarheidsstudie gemaakt wordt, kan een energiedeskundige met vaardigheden op het gebied van procesbegeleiding de samenwerking ondersteunen. Inzet van deze ondersteuning moet het kweken van onderling vertrouwen zijn en het samen in kaart brengen van de knelpunten en risico's van het gezamenlijke plan. Het resultaat van de samenwerking is, naast een economisch voordeel, ook het vermijden van productie van CO₂ op het eigen bedrijf terwijl het in de omgeving beschikbaar is.

7 Conclusies en aanbevelingen

7.1 Conclusies

CO₂ behoefte

De behoefte aan CO₂ op een tuinbouwbedrijf is van vele factoren afhankelijk. De opname door het gewas wordt bepaald door: Plantdichtheid en LAI, Lichtniveau en CO₂ concentratie. De opname door het varieert afhankelijk van het lichtniveau bij buitenlucht concentraties van 0 tot 50 kg per ha per uur. Als de CO₂ concentratie tot 700 ppm toeneemt kan bij voldoende licht, >500 W per m², dit oplopen tot 65 kg per uur per ha. Afhankelijk van het vochtgehalte van de vrucht geeft 1 gram CO₂ opname voor fotosynthese 4 tot 11 gram vrucht.

Door de gewasopname daalt de CO₂ concentratie in de kas. Zolang het CO₂ gehalte in de kas lager is dan buiten, zal de CO₂ concentratie in de kas aangevuld moeten worden met de gewasopname. Als een hogere CO₂ concentratie in de kas wordt aangehouden, om via een hogere gewasopname een productiestijging te realiseren, moet ook het CO₂ verlies door ventilatie aangevuld naast de gewasopname. De ventilatie is de winter gering en is in het voorjaar, zomer en vroege herfst een belangrijke factor. Met veel wind en grote raamopeningen kan de ventilatie hoog zijn. Waarden van 0 tot 100 m³/m²/uur zijn mogelijk. In de praktijk zullen bij veel wind de ramen gesloten worden en is 50 m³/m²/uur een reëel maximum ventilatie waarde. De CO₂ efficiëntie daalt als bij grote ventilatie een hoge CO₂ concentratie aangehouden wordt. In de zomer is met open ramen net aan 400 ppm, 50 ppm boven de buitenwaarde te realiseren in de kas. De helft van de CO₂ gaat dan door ventilatie verloren.

Voor handhaven van een realistisch CO₂ regime is 62 kg CO₂ per m² nodig, 0,62 kton CO₂ per ha. Als alle gewassen dit opnemen is dat 6,2 Mton CO₂ voor de hele Nederlandse glastuinbouw. Als alleen de CO₂ benut wordt, die voor warmte productie met de ketel of WKK gemaakt wordt, is 25 kg CO₂ nodig, wat neerkomt op 2,6 mton CO₂ voor de hele glastuinbouw. Bij het aanhouden van CO₂ gehaltes van 50 -100 ppm boven de buitenwaarde in de zomer loopt dit op tot 97 kg CO₂ per m² ofwel 10,2 mton voor de hele glastuinbouw.

Interne CO₂ bronnen

De rookgassen die vrijkomen bij het verwarmen van de kas met de ketel en WKK zijn de belangrijkste CO₂ bron voor de glastuinbouw. De warmtevraag is in de winter, het voorjaar en herfst voldoende om de CO₂ behoefte in te vullen. In de zomer is de warmtevraag onvoldoende om genoeg CO₂ uit de rookgassen te kunnen doseren. Er kan veelal slechts 50 ppm CO₂ boven de buitenwaarde, 350 – 370 ppm, gerealiseerd worden, terwijl de wens hoger ligt. Het gebruik van de WKK verdubbelt ruwweg de CO₂ productie per warmte eenheid en heeft daardoor een positief effect op de beschikbare hoeveelheid CO₂ om te doseren.

Doordat bij de teeltwisseling in de biologische teelt 40 en 120 ton per ha organische stof in de grond wordt gemengd, is er de eerste twee maanden van de teelt voldoende CO₂ beschikbaar. Vanaf het moment dat er geventileerd gaat worden, daalt het CO₂ gehalte en wordt er gebruik gemaakt van de CO₂ die uit de ketel of WKK afkomstig is. Voor een betere benutting van de vrijkomende CO₂ zou verspreid over het jaar inbrengen een goede optie zijn. In de winter is voldoende CO₂ beschikbaar van de ketel en WKK. In de praktijk gebeurt dit nauwelijks omdat het arbeid technisch lastig is en veel rommel geeft in de oogstperiode. De hoeveelheid organische mest wordt bepaald door de mestwetgeving. Inbrengen van organische mest met een hoge C/N verhouding zoals stro kan ook een optie zijn.

Het nieuwe telen leidt zowel in de winter als in de zomer, door een lager fossiel brandstof gebruik tot minder CO₂, maar ook tot een geringere ventilatie waardoor de ventilatie verliezen dalen. In de zomer wordt hiervan een positief effect verwacht op de beschikbare CO₂ en het te realiseren CO₂ gehalte.

Andere niet fossiele energiebronnen leiden direct tot minder beschikbare CO₂ op het bedrijf. Dit moet aangevuld worden om het productieniveau op peil te houden.

Aanvullende CO₂

Kortweg, met de gangbare energievoorziening is er net genoeg CO₂ beschikbaar en is er in de zomer de wens naar meer. Wordt overgestapt naar duurzamere energiebronnen, dan is er nadrukkelijk behoefte aan CO₂. Bij gebruik van aardwarmte moet de CO₂ behoefte nadrukkelijk ingevuld worden.

Kwaliteit

Verontreiniging in rookgassen of CO₂ kan leiden tot schade aan het gewas. Er zijn verschillen in gevoeligheid tussen de gewassen en rassen. Schadelijke stoffen mogen niet in de rookgassen of de CO₂ voorkomen. Nieuwe bronnen moet op de aanwezigheid van schadelijke stoffen getest worden

De Gasunie en het PTG, de voorganger van Wageningen UR Glastuinbouw, hebben in 1989 schadegrenzen vastgesteld voor een aantal componenten die vrijkomen bij verbranding van fossiele brandstoffen. Voor veel andere stoffen is de kans op gewasschade nog niet onderzocht. Voor de industrie zijn de EIGA regels een garantie van de zuiverheid van CO₂.

Veel CO₂ scheidingsmethoden leveren een hoge kwaliteit zuivere CO₂ af.

Externe CO₂ bronnen

Er zijn drie grote groepen CO₂ producerende bronnen:

- Biomassa verwerkers
- Elektriciteitscentrales
- Procesindustrie

In grootte zijn de elektriciteitscentrales de grootste bronnen, goed voor bijna 30 Mton CO₂ per jaar. De gas gestookte centrales leveren de schoonste CO₂. Ruim voldoende om de totale gewasopname van de glastuinbouw in te vullen. De enige centrale waarvan op dit moment CO₂ aan de glastuinbouw geleverd wordt, is de ROCA3. Zij leveren circa 39 kg CO₂ per m² per jaar

De procesindustrie levert vaak zuivere CO₂. De OCAP levert al CO₂ van de Shell raffinaderij via een pijpleiding aan een belangrijk deel van de glastuinbouw in Zuid Holland. Zij leveren circa 23 kg CO₂ per m² per jaar
Yara levert CO₂ die vrijkomt bij de kunstmest productie in vloeibare vorm aan tuinders.

Deze bronnen liggen vaak niet in de buurt van glastuinbouw gebieden.

Verspreid over het land liggen wel de verwerkers van biomassa. Het gaat hier om inrichtingen waar biomassa wordt gecomposteerd, vergist of verbrand. Tijdens het compostingsproces komt veel CO₂ vrij. Dit afvangen, reinigen en opslaan is een potentiële bron voor de tuinbouw. Daarnaast komt bij de vertering van compost in kas CO₂ vrij.

Het biogas dat ontstaat bij vergisting bevat ruim 40 % CO₂. Er zijn twee wegen om dit in de tuinbouw te gebruiken. De eerste is dit biogas op het tuinbouwbedrijf verbranden in een WKK en de rookgassen doseren. Bij voldoende biogas is het rendabel dit op te werken naar aardgas kwaliteit en de CO₂ af te scheiden en op te vangen. Deze CO₂ is bruikbaar in de tuinbouw op de momenten dat er een tekort is. Het gas kan dan als brandstof voor de ketel of WKK gebruikt worden.

Verbranden van hout of ander organisch materiaal geeft ook CO₂. De rookgassen zijn niet zuiver genoeg om direct te kunnen doseren in kas. Scheiding en daarmee reiniging via absorptie lukt bij de houtketel van Vink Sion, maar vraagt een grote installatie om de CO₂ uit alle rookgassen te halen. De CO₂ vraag kan met de huidige installatie niet uit de warmte en elektriciteit productie van het bedrijf gehaald worden.

Afvalverbrandingsinstallaties zijn grote CO₂ producten. Na reiniging is de CO₂ uit de rookgassen geschikt voor de tuinbouw. Kleinere lokale producten zijn papier, steen en glasfabrieken en fabrieken die voedingsstoffen produceren zoals suiker, melk, frites en aardappelmeel.

Tuinbouw toepassing

Er is op veel plaatsen CO₂ beschikbaar. Voor toepassing in de glastuinbouw moeten de volgende knelpunten opgelost worden:

- Veelal lage concentratie waarin CO₂ beschikbaar komt;
- Verwijderen mogelijke verontreinigingen;
- Het seizoen patroon in de CO₂ vraag;
- Afstemming vraag en aanbod CO₂;
- De afstand tussen producent van CO₂ en tuinbouwbedrijven;
- Transportwijze en buffering.

7.2 Aanbevelingen

Voorkomen van CO₂ tekort loopt, analoog aan de trias-energetica, volgens de volgende 3 stappen:

1. Zorg vanuit de plant fysiologische optiek bezien voor optimale opname.
2. Doseer zo efficiënt mogelijk - of benut zo efficiënt mogelijk de natuurlijke CO₂ (buitenlucht)
3. Gebruik duurzame CO₂

Dus zorg voor een optimaal kasklimaat: licht, vochtgehalte watergift en temperatuur.

Voorkom onnodige ventilatie(verliezen).

Op het niveau van de grootschalige CO₂ producenten is het belangrijk dat de glastuinbouw aansluit bij de initiatieven van afvang scheiding en opslag (CCS). De op deze manier gescheiden CO₂ is geschikt voor de glastuinbouw. Koppeling van de glastuinbouw aan pijpleidingen die naar opslag locaties gaan geeft de sector de beschikking over een grote hoeveelheid geschikte CO₂. Hierdoor kan worden voorkomen dat gas verbrand moet worden uitsluitend voor CO₂ productie. De OCAP bewijst dit.

In de kleinere tuinbouwgebieden zijn er mogelijkheden om aan te sluiten bij lokale CO₂ bronnen, als vergisters, afvalverbranders en composteer bedrijven. Elk plan is op zich zelf maatwerk. Meestal gaat het om een samenwerking tussen meerdere partijen met een investering in bijvoorbeeld scheiding, opslag of transport. Deze partijen moeten de wil hebben samen een haalbare business case te maken, waarin beide partijen hun investeringen en exploitatiekosten kunnen terugverdienen. In de fase, waarin een haalbaarheidsstudie gemaakt wordt, kan een energiedeskundige met vaardigheden op het gebied van procesbegeleiding de samenwerking ondersteunen. Inzet van deze ondersteuning moet het kweken van onderling vertrouwen zijn en het samen in kaart brengen van de knelpunten en risico's van het gezamenlijke plan. Het resultaat van de samenwerking is, naast een economisch voordeel, ook het vermijden van productie van CO₂ op het eigen bedrijf terwijl het in de omgeving beschikbaar is.

Nieuwe vestiging van tuinbouw en CO₂ producenten kunnen dicht bij elkaar geplaatst worden.

Om lokaal CO₂ af te vangen moeten initiatieven voor kleinschalig afvang en reiniging ondersteund worden. De zuiverheid van de CO₂ moet niet ter discussie staan.

In het tuinbouw productieproces wordt CO₂ een steeds belangrijkere productiefactor. Loskoppeling van de energieproductie is belangrijk om CO₂ optimaal in te kunnen zetten. Het is aan te bevelen in nieuwe en bestaande tuinbouwgebieden een CO₂ netwerk aan te leggen.

Voor het gebruik van CO₂ als belangrijk productiemiddel moeten ook de emissierechten in rekening gebracht worden. Bij het gebruik van door derden geproduceerde CO₂ zal de besparing op emissierechten in de prijs doorgerekend moeten worden. Gebruik van CO₂ van derden bespaart de tuinder gas voor CO₂ productie en verlaagt daardoor de totale emissie van CO₂.

8 Discussie

N Bemesting met organisch materiaal met een hoog C/N verhouding als CO₂ bron

Volgens de huidige regelgeving mag 170 kg N per ha worden gegeven in de vorm van dierlijke mest. De behoefte ligt tussen 700 en 1500 kg N per ha afhankelijk van het gewas, de teeltduur en productie. De EKO regels geven een maximum van 1000 kg N per ha (Janmaat 2009). Het idee leeft om verdeeld over het jaar heen vijf tot tien keer organische materiaal in de kas te brengen met een hoge C/N verhouding zoals stro, boomschors of bladeren. Op deze manier kan een regelmatige N en CO₂ gift gerealiseerd worden en een bijdrage worden geleverd aan het bodemleven. Te grote hoeveelheden organisch materiaal met een hoge C/N verhouding te gelijk in de kas brengen verlaagd tijdens het verteren tijdelijk de beschikbaarheid van N. Een regelmatige kleine gift zorgt enerzijds voor het vastleggen van N en daarmee voorkomen van uitspoeling en anderzijds voor een regelmatige afgifte van de N in het verdere verloop van de vertering. Om de CO₂ opname van het gewas te compenseren is overdag tot 50 kg CO₂ per uur per ha nodig. In de wintermaanden komt voldoende CO₂ vrij bij de verwarmingsketel of WKK en uit de organische mest die rond de teeltwisseling is ingebracht. In het voorjaar tot aan de herfst leveren deze bronnen onvoldoende CO₂. Uitgaande van 10 tot 14 uur met CO₂ tekort per dag is er tussen de 400 en 500 kg aanvullend CO₂ per ha per dag nodig. Als dit aangevuld wordt door regelmatig stro, 69 % organische stof (Dekker, 2003) en 0,25 % N (Darwinkel, 2000), in de kas te brengen, komt in het totaal dit neer op 20 tot 25 kg stro per m² per jaar. De N gift hieruit is 500 – 625 kg per ha. Voor andere organische stoffen met een hoge C/N verhouding gelden gelijksoortige getallen.

Aandachtspunten voor deze vorm van CO₂ doseren zijn: hygiëne, doseersystemen, arbeidsbehoefte en planning, beheersbaarheid en sturing N en CO₂ afgifte in relatie tot plant behoefte en biologische oorsprong. Deze stro gift heeft invloed op mesthuishouding, bodemleven, bodemweerbaarheid, organische stof gehalte, CO₂ gehalte, vocht huishouding en luchtvochtigheid.

Deze vorm van CO₂ doseren kan voorkomen dat er in de zomermaanden gas verstookt wordt uitsluitend om CO₂ te produceren.

Een deel van de tuinders geven in een eerste reactie aan dat vorm van CO₂ doseren en bemesting het qua hygiëne, volume en arbeid lastig is tijdens de teelt.

CO₂ als productiefactor ontkoppelen van warmte productie

CO₂ wordt een steeds belangrijkere productiefactor om de teelt te sturen. Het merendeel van de bij de ketel en WKK vrijkomende CO₂ wordt gebruikt om het CO₂ niveau in de kas te verhogen. De warmte buffer is de eerste stap geweest om warmte en CO₂ productie van elkaar los te koppelen. Het gebruik van de WKK met rookgasreiniger heeft voor bijna een verdubbeling van de hoeveelheid CO₂ bij dezelfde warmte productie gezorgd. Dit heeft zijn weerslag gevonden in een stijging van de zomerproductie bij de vruchtgroenten.

Door het toepassen van energiebesparende maatregelen is het gebruik van gas als warmtebron in de tuinbouw afgenomen. Deze afname ligt door het gebruik van schermen voor een groot deel in de winter, wanneer de CO₂ behoefte van het gewas laag is door de lage lichtintensiteit en nauwelijks tot CO₂ tekorten leiden. In het voorjaar en de herfst zorgt de buitenlucht aanzuiging op de momenten dat de condensatie tegen het dek onvoldoende is, voor beheersing van de ventilatie. Dit geeft in de herfst en het voorjaar energiebesparing en minder beschikbare CO₂ en minder CO₂ ventilatieverlies. Richting zomer zal de lagere productie niet meer gecompenseerd worden door de lagere CO₂ ventilatieverliezen, waardoor er tekorten aan CO₂ ontstaan.

De komst van CO₂ levering door de RoCa₃ en OCAP leiding biedt de mogelijkheid om extra CO₂ te doseren los van de warmte productie. De afname contracten variëren van 100 – 250 kg CO₂ per ha per uur. Hiermee heeft een nieuwe CO₂ bron en emissiefactor zijn intrede gedaan op het tuinbouwbedrijf.

De inzet van de diverse CO₂ bronnen: ketel, WKK en leiding, zal een economische afweging zijn. Gasprijs, prijs CO₂, terugleverprijs elektriciteit, warmtebenutting WKK warmte, verkoopprijs verwachtingen en emissierechten zijn de factoren die in deze economische afweging een rol gaan spelen.

Als alle WKK bedrijven alle doseeruren in de zomerweekenden, dit is circa 500 uur per jaar, 100 tot 250 kg per uur per ha zuivere CO₂ gaan doseren, komt er op 6.000 ha glastuinbouw met WKK 300 tot 750 Kton CO₂ vrij bovenop de emissie van de WKK en ketel. Bij lage weekend prijzen voor het terug leveren van elektriciteit is dit een reële optie.

In de zomer draait de WKK veelal tijdens de plateau uren hoofdzakelijk voor de CO₂. Wat neer komt op 140 m³ aardgas

per ha per uur en 250 kg CO₂ per ha per uur.

Bij lage elektriciteit prijzen zal de inzet van de WKK teruglopen op de momenten dat er onvoldoende warmte vraag is. Tuinders zullen toch de 200 – 250 kg CO₂ per ha per uur willen handhaven. De OCAP stapt in dit gat.

Emissierechten

Om bedrijven waar CO₂ vrijkomt bij hun productieproces te stimuleren aansluiting te zoeken bij CO₂ netwerken voor de tuinbouw, zullen ze de CO₂ emissierechten moeten kunnen overdragen of kwijt gescholden krijgen. Deze overdracht of kwijtschelding moet in de CO₂ prijs worden meegenomen. Het doorrekenen van de emissierechten aan tuinders voorkomt een overmatig gebruik van CO₂. Het gemiddelde OCAP gebruikt ligt nu op 23 kg per m² per jaar en is veelal aanvullend op ketel en WKK CO₂ en bij RoCa₃ is dat 39 kg per m² per jaar en is veelal het totaalverbruik.

9 Literatuur

- Agentschap Nederland, 2010.
Afalverwerking in Nederland, Gegevens 2009, Werkgroep Afvalregistratie, Utrecht: Agentschap NL, ISBN 978-90-5748-081-2
- Bokma, S., Veldhuis, J. en Emmens, E., 2009.
Kunstmestvervangers Biogreen Salland. Animal Sciences Group, Wageningen UR, Lelystad. Rapport 202.
- Darwinkel, A. en H.H.H. Titulaer, 2000.
Stikstof in hoog-productieve wintertarwe Effecten van hoge stikstofgiften op de stikstoftoestand in gewas en bodem. Kennisakker.nl Praktijkonderzoek Plant & omgeving BV AGV, Lelystad
- Dekker. P.H.M., 2003.
Kennis en keuzes bij organische stofbeheer. Kennisakker.nl Praktijkonderzoek Plant & omgeving BV AGV, Lelystad
- Elferink, Emiel en Laurens Vlaar, 2010.
Compost, Carbon en Credits. Een verkennende discussienota. CLM Onderzoek en Advies BV. Culemborg, januari 2010. CLM 720 – 2010
- Geerdink, Peter, 2010.
HotCO₂ biedt perspectief voor de tuinbouw. TNO Delft, maart 2010.
- Huibers, M., Groen, B. in 't, Geerdink, P. en Linders, M., 2009.
Winning en opslag van CO₂ uit WKK rookgassen. KEMA en TNO, Arnhem, 24 juni 2009.
- IPCC, 2005.
Carbon Dioxide Capture and Storage. Bert Metz, Ogunlade Davidson, Heleen de Coninck, Manuela Loos and Leo Meyer (Eds.) Prepared by Working Group III of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, UK. pp 431.
- Janmaat, Leen en Bart Willems, 2009.
Biologisch telen doe je in de grond. Handleiding voor een vruchtbare kasbodem. Louis Bolk Instituut, Driebergen.
- Groen, Dennis in 't, 201.
Quick scan. CO₂ Transport Lelystad, Grontmij, de Bilt. I&M-1015226-DG/hh
- Kiel, A, E.M. Nederhoff en T. Rijdsijk, 1989.
Berekening toegestane concentratie schadelijke gassen in rookgas t.b.v CO₂ bemesting in de glastuinbouw. PTG en Gasunie
- Kiel, ir. A., 1989.
Schade aan het gewas bij CO₂ bemesting. Gas nummer 12 december 1989
- Melkert, 1995.
Rookgasbehandeling voor CO₂-bemesting bij warmte/kracht-koppeling in de glastuinbouw, Novem
- Mulder, Arnold, 2007.
Inventarisatie van omvang en kenmerken van schuimvorming in de slibgisting. STOWA, Utrecht. Rapportnummer 2007-W07
- Nederhoff, Elly M., 1994.
Effects of CO₂ concentration on photosynthesis, transpiration and production of greenhouse fruit vegetable crops. Dissertation Wageningen ISBN 90-5485-318-2
- Nieuwenhuijzen, A.F. van, 2009.
Inventarisatie biogas rwzi's. Witteveen + Bos, Deventer, UT580
- Raaphorst, Marcel e.a., 2005.
Biologische en overige grondgebonden teelten in een (semi) gesloten kas.Praktijkonderzoek Plant & Omgeving. Busines Unit Glastuinbouw. Naaldwijk
- Senternovem, onbekend.
Vol gas vooruit! De rol van groen gas in de nederlandse energiehuishouding. Senternovem, Platform Nieuw Gas, Werkgroep Groen Gas

Senternovem, 2008.

Paprikakweker maakt warmte en groene stroom van houtsnippers. Senternovem, donderdag 31 januari 2008.
Via <http://www.energieportal.nl/Nieuws/Bio-energie/Paprikakweker-maakt-warmte-en-groene-stroom-van-houtsnippers-2785.html>

Siemons, R.V., 2005.

Pyrolyse in Groningen. Onderzoek naar de haalbaarheid van een transitiecoalitie. Eindrapport (Novem-project 5005-03-20-01-003). MARGE-Nederland b.v., 15 januari 2005.

Smit, P.X., 2010.

CO₂-voorziening glastuinbouw 2008-2020. Vooruitblik bij toepassing 20% duurzame energie. LEI, Wageningen UR, Den Haag, April 2010. LEI-nota 10-034. Projectcode 4090900.

Transforum, onbekend.

Biopark Terneuzen: succesvolle samenwerking tussen glastuinbouw en chemische industrie in industrieel agropark

Van Dijk, C.J., Th.A. Dueck en W. Burgers, 2009.

Risico'evaluatie toepassing Groen Gas in de Nederlandse Glastuinbouw. Plant Research International B.V., Wageningen, Januari 2009. Projectnummer: DENB086711

Vosbeek, M. en H. Warmenhoven, 2007.

Making large-scale Carbon Capture and Storage CCS in the Netherlands work. An agenda for 2009-2020. Policy, technology and organisation. Ecofys en Spinconsult.

VROM, 2010.

Co-vergisting van mest in Nederland. Beperking van risico's voor de leefomgeving. VROM-Inspectie, Publicatienummer: 0005.

Vroonhof, J.T.W. (Jan), H.J. (Harry) Croezen, 2006.

Afvalverwerking en CO₂ : Quickscan van de broeikasgasemissies van de afval-verwerkingssector in Nederland 1990 – 2004. Delft, CE, 2006. Publicatienummer: 06.6112.12

Wolff, J.J. de, 2009.

Inventarisatie beschikbaarheid en kwaliteit van CO₂-stromen voor de glastuinbouw. Kema, Arnhem, 2009.

Geraadpleegde websites:

Nationaal toewijzingsbesluit broeikasgasemissierechten 2008-2012 van november 2008 DGM/BREM2008101603, via: http://www.senternovem.nl/mmfiles/PL%2008006%20NTB%202008-2012%20-%2017%20nov%202008%20_2_.doc_tcm24-293946.pdf

www.CO2-cato.nl

www.CO2afvangenopslag.nl

www.k12-b.nl

www.infopuntCO2opslag.nl

www.CO2opslaglimburg.nl

http://www.kiwa.nl/uploadedFiles/Netherlands/Publications/News/news_archive_2011/Kiwa_BRL_K903-08_nl.pdf

http://ocap.media-factory.nl/files/Media/Projectbeschrijving%20OCAP/Factsheet_NL.pdf

<http://www.eon-benelux.com/eonwww/publishing.nsf/Content/Centrale+RoCa3>

Bijlage I Gespreksverslagen telers inventarisatie

1.1 Gespreksverslag bedrijf 1, 3-2-2011

Bedrijf met 2 locaties 2,5 ha en 1,2 ha groot. Paprika, cherry en tomaten en komkommers. Biologisch.

WKK 1.5 mW_e

Beweegbaar scherm en folie.

Paprika planten week 51 tot begin november

Tomaat planten week 1 tot begin november

Organische stofinbreng: Geitenmest: 40 tot 60 ton per ha, compost 60 tot 80 ton per ha tijdens teeltwisseling in december. Vanwege de regelgeving dat er slechts 170 kg dierlijke N per ha per jaar aangevoerd mag worden kan er niet voor het gehele bedrijf geitenmest gebruikt worden. Daarom is het meestal zo dat in de tomaten afdeling geitenmest wordt gereden en bij de paprika's compost Kwaliteit en status grond is leidend voor de organische stof dosering. Tijdens de teelt toedienen is geen optie.

Aanvullende bemesting: Monterra (vnl. 9-1-4), patentkali, Agro Biosol, kalk. Tijdens teelt af en toe EcoFeed, bitterzout met beregeningswater en strooien met vnl. Monterra

Huidige en toekomstige CO₂ behoefte en invulling:

De WKK is de CO₂ leverancier.

Tijdens de eerste weken van de teelt komt er ruim voldoende CO₂ vrij uit de organische stof.

Er wordt geventileerd om de RV onder het folie niet te hoog op te laten lopen. Het CO₂ gehalte komt tussen de 700 - 1000 ppm in het begin van de teelt. Eind januari al licht aanvullen.

Vanaf maart wordt in toenemende mate geventileerd en ontstaat er structureel behoefte aan aanvullende CO₂ doseren.

De WKK wordt op warmte aangestuurd.

De WKK draait in het voorjaar en najaar van 7 tot 23 uur en dit loopt terug in de zomer tot van 8 tot 16 uur. CO₂ is geen echt probleem.

Er wordt geen vloeibaar CO₂ meer gedoseerd.

Duurzaam telen:

Aardwarmte is voor 2,5 ha geen optie.

HNT ontvochten is een te grote investering en vraagt te veel stroom. De grote hoeveelheid vocht is een probleem. Bij de start worden de jonge planten op schotels gezet. Hierdoor worden de planten weerbaarder, minder vegetatief, hebben een hoger droge stof gehalte en zijn houtiger. Inzet is eerst teelttechniek in te zetten en daarna pas techniek. Onderstammen zijn daar een onderdeel van. Paprika mogen niet te koud gestookt worden om geen binnen rot te krijgen. Er zijn duidelijk verschillen tussen de rassen.

Het bedrijf heeft een houtstookketel. Het is tot op heden nog niet mogelijk om CO₂ uit hout gestookte installaties te doseren. Deze techniek bevindt zich nog in de experimentele fase. Vanwege de beperkte omvang van de installatie is het ook onwaarschijnlijk dat dit in de toekomst in te passen is.

Vanwege de sterk gestegen prijs van hout draait de houtketel nog slechts in de wintermaanden. Het grootste deel van het jaar staat de ketel uit.

Potentiële CO₂ bronnen in de directe omgeving:

In de omgeving heeft mestrijder plannen voor de bouw van een vergister. Er zijn enkele installaties gerealiseerd, daarnaast zijn er wel wat plannen op grote of kleine schaal. Momenteel kijken mogelijke initiatieven meer naar alleen gas produceren voor levering aan het net. Dus geen stroom opwekken. Heeft principiële bezwaren tegen covergisting van voedingsgewassen. Gaat voor het sluiten van kringlopen. Mestregelgeving klopt niet, er wordt meer afgevoerd dan aangevoerd wordt.

1.2 Gespreksverslag bedrijf 2, 1-2-2011

3 bedrijven 8,5 ha met paprika en diverse tomatensoorten
WKK 3,5 mW_e vermogen met rookgasreiniger (RGR)
Deels dubbel beweegbaar scherm en ventilatoren
Deels vast folie en beweegbaar scherm

Tomaat planten week 1 tot circa 2^{de} week november
Paprika planten week 2 tot circa 3^{de} week november
Trostomaat planten week 3 tot circa 4^{de} week november

Organische stofinbreng: compost 150 m³ / ha tijdens teeltwisseling in december. Inbrengen gedurende teelt geen optie, te arbeidsintensief en teveel rommel.

Aanvullende bemesting: Monterra malt, eenmaal per maand of twee maanden afhankelijk gewas en behoefte

Huidige en toekomstige CO₂ behoefte en invulling:

Tijdens de eerste weken van de teelt komt er ruim voldoende CO₂ vrij uit de organische stof. Doordat er nauwelijks geventileerd wordt blijft het CO₂ gehalte rond of boven de 2000 ppm, de maximum te meten waarde met de computer.

Vanaf maart wordt in toenemende mate geventileerd en ontstaat er behoefte aan aanvullende CO₂ doseren. De WKK en RGR voorzien hierin. Bij ventilatie worden er geen problemen verwacht met WKK CO₂. Eventueel te veel aan warmte overdag wordt gebufferd tot de nacht en ochtend. Het CO₂ gehalte ligt dan tussen 800 – 1500 ppm

In de zomer wordt circa bij warm weer 0,3 m³ aardgas / m² / week met de WKK gedraaid voor CO₂ de warmte wordt gebruikt bij de opstart in de ochtend dit kan oplopen tot 0,6 m³/week bij minder warm weer.

In de paprika wordt tot april niet aanvullend gedoseerd, om de luis onder controle te houden. Parasiteren door galmug lijkt bij aanvullende dosering mogelijk niet goed te werken.

Door de WKK en RGR is CO₂ nu geen echt probleem. Er is ruim 200 kg CO₂ /h/ha beschikbaar. In de zomer is 50 ppm boven de buitenwaarde redelijk te handhaven. De inzet van de WKK is wel afhankelijk van de verhouding gas en elektriciteit prijs. Deze verhouding wordt steeds ongunstiger.

Duurzaam telen:

Ontvochtigen via LBK en slurven is geen optie. Geen plek voorslurven zonder lichtverlies en meer vocht door grondteelt ipv substraat. Het effect in de biologische teelt is nog onduidelijk. Kosten zijn te hoog en rendement dubieus.

Bij meer duidelijkheid in de toekomst een mogelijke optie.

Potentiële CO₂ bronnen in de directe omgeving:

- OCAP, nog niet in deze regio.
- Doet niet mee aan aardwarmte project.
- CO₂ vloeibaar inkopen: discussie of dit wel mag in biologisch
- Levering stroom aan burens waar groente gesneden gewassen bij 2 °C en verpakt wordt. Hierdoor zou WKK langer kunnen draaien. Misschien is ook vergisting van afval een optie.

1.3 Gespreksverslag bedrijf 3, 2-2-2011

Bedrijf met 2 locaties samen 8 ha groot. Paprika rood en geel en tomatomaat. Biologisch. Afzet via Eosta
Alleen ketels en aansluiting op warmwatertransportleiding buurman.
Dubbel beweegbaar scherm en ventilatoren

Tomatomaat planten week 51 tot begin november

Paprika planten week 1 tot begin november

Organische stofinbreng: groen compost 100-150 m³ paprika en tomaat tijdens teeltwisseling in december. Kwaliteit en status grond is leidend voor de organische stof dosering. Tijdens de teelt toedienen is geen optie.

Aanvullende bemesting: Monterra, eco-feed EC-fertilizer, agrifeed

Huidige en toekomstige CO₂ behoefte en invulling:

De ketel is de CO₂ leverancier.

Tijdens de eerste weken van de teelt komt er ruim voldoende CO₂ vrij uit de organische stof.

Er wordt geventileerd om de RV niet te hoog op te laten lopen. Het CO₂ gehalte komt tussen de 2000-3000 ppm in het begin van de teelt.

Vanaf maart wordt in toenemende mate geventileerd en ontstaat er behoefte aan aanvullende CO₂ doseren. De ketel wordt dan ook op CO₂ aangestuurd.

In de zomer is 50 ppm boven de buitenwaarde moeilijk te handhaven.

Er is van april tot oktober nadrukkelijk behoefte aan extra CO₂. Nu wordt 0.5-0.6 m³ aardgas/m²/week verstoekt die hoofdzakelijk voor CO₂ is.

Duurzaam telen:

Het bedrijf heeft dit seizoen een vereenvoudigd systeem van HNT, aangelegd. Er wordt uitsluitend buitenlucht gemengd met kaslucht. De mix wordt bepaald door de rv en temperatuur binnen en buiten. De lucht wordt in de kas gebracht door slurven boven in de kas. De eerste resultaten lijken goed. Hij rekent erop 10 m³ gas/m²/jaar te besparen.

Potentiële CO₂ bronnen in de directe omgeving:

- Zijn warmteopslag tanks om te bouwen tot CO₂ tanks? Bedrijf heeft resp. tank van 150 en 200 m³. Wat is hier voor nodig?
 - Nagaan regels "gaswet"
 - Waarschijnlijk certificaat nodig KiWA
- Is het mogelijk om transportcontainertanks te vullen met CO₂ en deze op voorraad bij het bedrijf te plaatsen? Wat is hier voor nodig?
- Gebruik CO₂ uit houtketels burens?

Toekomst:

- Mogelijkheden tot uitbreiding verder op de laan
- Uitzoeken wat de mogelijkheden zijn om warm water van 700 – 800 meter diep uit de grond te benutten via een warmtepomp.
- Er is een onderzoek naar de mogelijkheid het glastuinbouwgebied via een vergister van biogas te voorzien. Zijn de rookgassen van dit gas al dan niet via een WKK met RGR te gebruiken voor CO₂ doseren?

1.4 Gespreksverslag bedrijf 4, 2-2-2011

Bedrijf met 2 naast elkaar gelegen locaties samen 7.8 ha groot. Paprika rood 2 ha, 2.4 ha tomatomaat, 1 ha cherry tomaat en 2.4 ha komkommers. Biologisch.

WKK, 1,2 mW_e en ketel, WKK draait op biogas vanuit naburige vergister.

Dubbel beweegbaar scherm en ventilatoren

Tros en cherry tomaat planten week 51 tot begin november

Paprika planten week 2-3 tot begin november

Komkommer 3x planten week 4 tot begin november

Organische stofinbreng: groen compost 150 m³ / ha bij komkommer en paprika en 100 m³ / ha bij tomaat tijdens teeltwisseling in nov/dec. Kwaliteit en status grond is leidend voor de organische stof dosering. Tijdens de teelt toedienen is geen optie.

Aanvullende bemesting: eco-feed EC-fertilizer, agrifeed

Huidige en toekomstige CO₂ behoefte en invulling:

De ketel is de CO₂ leverancier. Geen CO₂ uit WKK.

Tijdens de eerste weken van de teelt komt er ruim voldoende CO₂ vrij uit de organische stof.

Er wordt geventileerd om de RV niet te hoog op te laten lopen. Het CO₂ gehalte komt tussen de 700 -1000 ppm in het begin van de teelt.

Vanaf maart wordt in toenemende mate geventileerd en ontstaat er behoefte aan aanvullende CO₂ doseren. De ketel wordt dan ook op CO₂ aangestuurd.

In de zomer is 50 ppm boven de buitenwaarde redelijk te handhaven. De vergister van de nabij gelegen frite fabriek van Lamb Weston draait niet continu en de samenstelling en hoeveelheid van het biogas wisselt. Hierdoor draait de WKK alleen als er voldoende biogas is. De warmte wordt zo nodig in de buffer opgeslagen. Er wordt nog geen rookgas van de bio WKK gedoseerd. Daardoor concurreert biogas via de WKK met CO₂ uit de ketel. De samenstelling is te onzeker.

Bij het doseren staat de kwaliteit altijd voorop. De productie moet richting 100 % 1ste kwaliteit. Liever minder productie van goede kwaliteit dan meer kg's van een mindere kwaliteit.

Er is wel behoefte aan extra CO₂.

Duurzaam telen:

HNT, ontvochtigen via LBK en slurven is nog niet bekeken voor het bedrijf.

De teelt gaat nu goed qua regeling vocht en CO₂. Daarom nog geen plannen voor HNT. Men is bang voor schimmelproblemen in o.a. de tomaat. De teelt in klei geeft veel extra vocht in de kas. Gaat wel proef bij Ruud volgen.

Legt prioriteit bij afzet 1ste kwaliteit ten koste van kwantiteit.

Het nabij gelegen project Waddenglas heeft concessie aardwarmte. Doen ze nog niet aan mee met biologische teelt. Gangbare hoofdvestiging in Sexbierum heeft voor uitbreiding wel concessie voor aardwarmte.

Potentiële CO₂ bronnen in de directe omgeving:

- Status vergister:
 - Het bedrijf heeft geen invloed op beheer en voeding
 - Fabriek draait 7 dagen 24 uur en heeft elke twee weken schoonmaak stop.
 - Invoer voeding vergister is onregelmatig zowel qua hoeveelheid als samenstelling
 - onregelmatige vergisting
 - onregelmatige gasproductie zowel qua hoeveelheid als samenstelling
 - CO₂ niet betrouwbaar
 - WKK niet in te plannen, draait bij voldoende biogas → warmte in buffer
 - Concurreert met ketel voor CO₂ → extra warmte productie ketel bij CO₂ vraag.
 - Digestaat wordt niet door het bedrijf gebruikt.

Toekomst:

Buren afgelopen jaar gekocht
Nieuwbouw oude deel en uitbreiding. Hierin energieschermen.

1.5 Gespreksverslag bedrijf 5, 3-2-2011

Het bedrijf heeft 3 gescheiden afdelingen van 1,8 en 2 x 3 ha. Paprika, tomaat en komkommer. Biologisch
4 WKK's: 2*2 mW_e op 3 ha, 1 mW_e op 1,8 ha en 1,8 mW_e op 3 ha.
Dubbel scherm

Tomaat planten week 51 tot begin november
Paprika planten week 1 tot begin november
Komkommer 3x week 1 tot november

Organische stofinbreng:

Composteren zelf: houtsnippers gewasafval en gras. 175 -180 m³

Brengen driemaal in het jaar 800 m³ compost in de kas, tijdens wisseling, begin zomer en herfst.

Vorig jaar 900 m³ extra ingebracht omdat de vruchtbaarheid achteruit ging.

Huidige en toekomstige CO₂ behoefte en invulling:

Na de teeltwisseling is er voldoende CO₂ in de kas uit de compost 2000 ppm kan gehaald worden. Er wordt in die tijd licht gelucht omdat de samenstelling van de CO₂ uit de grond niet duidelijk is en om het vocht kwijt te raken. Zodra er meer gelucht wordt vanaf maart april is dit geen probleem meer.

In het voorjaar, de zomer en herfst zorgen de WKK's voor CO₂. In de paprika wordt 0.4 m³ aardgas/m²/week met de WKK verstoekt en in de tomaat en komkommer 0.5 m³ aardgas/m²/week. Er is behoefte aan CO₂ in de zomer.

Duurzaam telen:

Er wordt gedacht aan de aanleg van ontvochtigen volgens HNT. Overdruk vermindert de temperatuurverschillen als gevolg van de wind. Gedacht wordt aan 3 slurven per 8 meter kap. Door 4,5 pad per kap is hier ruimte voor. De RV meter moet ter hoogte van de snijplekken van het blad snijden komen. Daar is het vochtgehalte het meest kritisch. Om die reden is ook de groeipijp het hoofdverwarmingsnet en buisrail het lage temperatuur net.

Door HNT zakt de warmtevraag en daarmee de pijptemperatuur weg. Het gewas heeft de warmte het meest nodig.

Omdat de WKK's redelijk nieuw zijn nu nog geen plannen voor aardwarmte. Zijn wel benieuwd naar de plannen van Wijnen om te kijken wat de aardwarmte mogelijkheden in Limburg zijn.

Potentiële CO₂ bronnen in de directe omgeving

- Ze hebben zowel naar houtketels als naar vergisting gekeken, maar de zwakke ontsluiting geeft weerstand van de burens tegen het vele vrachtverkeer dat hierdoor ontstaat.
- Bekijken compensatie van CO₂ emissie door medewerking in vergister elders.

De houtstook ketelbouwer Vincke is in Canada een procédé van Procede Gas treating BV aan het testen om de CO₂ uit houtketels te kunnen doseren.

- Tijdens de INES excursie bij Theo Germes bleek hij plannen te hebben om met de rookgassen van zijn KIV houtstookketel te gaan CO₂ doseren.
 - Bekijken wat er nu bekend is.

1.6 Gespreksverslag bedrijf 6, 1-2-2011

bedrijf met 2 locaties 2,1 ha en 1,9 ha. Zoete puntpaprika en tomatomaat. Met aubergine gestopt. Biologisch.

Een bedrijf WKK 1,1 mW_e vermogen met rookgasreiniger (RGR) op ander bedrijf alleen ketel

Dubbel beweegbaar scherm en ventilatoren

Tomaat planten week 1 tot half november

Paprika planten week 1 tot eind november

Organische stofinbreng: compost 50-60 ton / ha tijdens teeltwisseling in december.

Aanvullende bemesting: Monterra, ecomix

Huidige en toekomstige CO₂ behoefte en invulling:

Tijdens de eerste weken van de teelt komt er ruim voldoende CO₂ vrij uit de organische stof.

Er wordt geventileerd om het CO₂ gehalte tussen de 700-1000 ppm te houden.

Vanaf maart wordt in toenemende mate geventileerd en ontstaat er behoefte aan aanvullende CO₂ doseren. De WKK en RGR voorzien hierin in Schalkwijk. Bij ventilatie worden er geen problemen of gewasschade verwacht met WKK CO₂. Eventueel te veel aan warmte overdag wordt gebufferd tot de nacht en ochtend. Het CO₂ gehalte ligt dan tussen 800 – 900 ppm en is afhankelijk gewenst temperatuur en ventilatie. In Andel is behoefte aan 200 ton aanvullend vloeibaar CO₂. In de zomer wordt met de WKK gedraaid voor CO₂ de warmte wordt gebruikt bij de opstart in de ochtend.

Door de WKK en RGR is CO₂ nu geen echt probleem in Schalkwijk. Hij draait in het voorjaar en herfst 5 dagen per week van 7-23 uur. Met circa 300m³ aardgas per uur is er voldoende CO₂, 260 kg/h/ha. In de zomer is 50 ppm boven de buitenwaarde redelijk te handhaven. De inzet van de WKK is wel afhankelijk van de verhouding gas en elektriciteit prijs. Deze verhouding wordt steeds ongunstiger. In Andel is behoefte aan aanvullende CO₂.

Duurzaam telen:

Ontvochtigen via LBK en slurven is nog niet bekeken voor het bedrijf. Legt prioriteit bij veranderde afzet. Gaat zich wel oriënteren op HNT. Geen plek voorslurven zonder lichtverlies en meer vocht door grondteelt ipv substraat. HNT moet zich nog bewijzen in de biologische teelt. Verwacht negatief effect in de biologische teelt. Vindt de stap van Ruud te gewaagd. Kosten zijn te hoog en rendement dubieus.

Aardwarmte is bij deze bedrijfsgrootte geen optie.

Potentiële CO₂ bronnen in de directe omgeving:

- Op 200 meter afstand zit een bedrijf dat die afvalvetten uit riolen verwerkt. Onderzoek naar mogelijkheid vergisting met is optie.
- Op 1 – 1,5 km de warmte kracht centrale van de stadsverwarming. Hier is de vraag of er een rookgasleiding gelegd kan worden. De WKC heeft emissierechten voor 10.4 kton CO₂ per jaar in periode 2008 – 2012.
- Op 1200 meter afstand een 3 ha groot Phaleanopsis kwekerij. Is het interessant om een CO₂ leiding tussen dit bedrijf en het eigen bedrijf aan te leggen.

Vanuit het ministerie EZ&I zijn er dit jaar geen innovatie vouchers.

Bekeken moet worden of er vanuit de provincie subsidies te verwachten zijn.

1.7 Gespreksverslag bedrijf 7, 1-2-2011

1 bedrijf met 3 afdelingen van elk 1 ha met paprika, rood en geel en tomaten los en tros en komkommer. Biologisch dynamisch. Demeter.

WKK 1,5 mW_e vermogen met rookgasreiniger (RGR)

Dubbel beweegbaar scherm en ventilatoren

Tomaat planten week 1 tot november

Paprika planten week 51-52 tot november

Komkommer planten week 1 tot november

Organische stofinbreng:

compost 120 ton / ha tijdens teeltwisseling in december/ januari.

Wormenmest/compost

Heeft 6 ha klavergrasland waarvan gras en klaver of als voer dient voor de buurman en waarna mest gebruikt wordt of gecomposteerd wordt. Inbrengen gedurende teelt geen optie, te arbeidsintensief.

De bemesting wordt aangevuld met biologische preparaten.

Tussen de buisrail worden houtsnippers ingebracht.

Resetten van de bodem is in de BD geen optie, omdat alle bodemleven dan sterft. Ziet meer toekomst in het gebruik van geënte planten om schade door bodemziekte te voorkomen en zo evenwicht in het bodemleven op te bouwen.

De teelt is een natuurlijk proces en iedereen komt een keer aan de beurt met gewasschade door bv luizen plaag.

Aanvullende bemesting: maandelijks Monterra, ecomix en preparaten

Huidige en toekomstige CO₂ behoefte en invulling:

Tijdens de eerste weken van de teelt komt er ruim voldoende CO₂ vrij uit de organische stof. Doordat er nauwelijks geventileerd wordt blijft het CO₂ gehalte boven de 2000 ppm.

Vanaf maart wordt in toenemende mate geventileerd en ontstaat er behoefte aan aanvullende CO₂ doseren. De WKK en RGR voorzien hierin. Bij ventilatie worden er geen problemen of gewasschade verwacht met WKK CO₂. Eventueel te veel aan warmte overdag wordt gebufferd tot de nacht en ochtend. Het CO₂ gehalte ligt dan tussen 800 – 900 ppm en is afhankelijk gewenst temperatuur en ventilatie.

In de zomer wordt met de WKK gedraaid voor CO₂ de warmte wordt gebruikt bij de opstart in de ochtend.

Door de WKK en RGR is CO₂ nu geen echt probleem. Hij draait 7 dagen per week van 8-20 uur. Met circa 400m³ aardgas per uur is er voldoende CO₂, 240 kg/h/ha. In de zomer is 50 ppm boven de buitenwaarde redelijk te handhaven. De inzet van de WKK is wel afhankelijk van de verhouding gas en elektriciteit prijs. Deze verhouding wordt steeds ongunstiger.

Duurzaam telen:

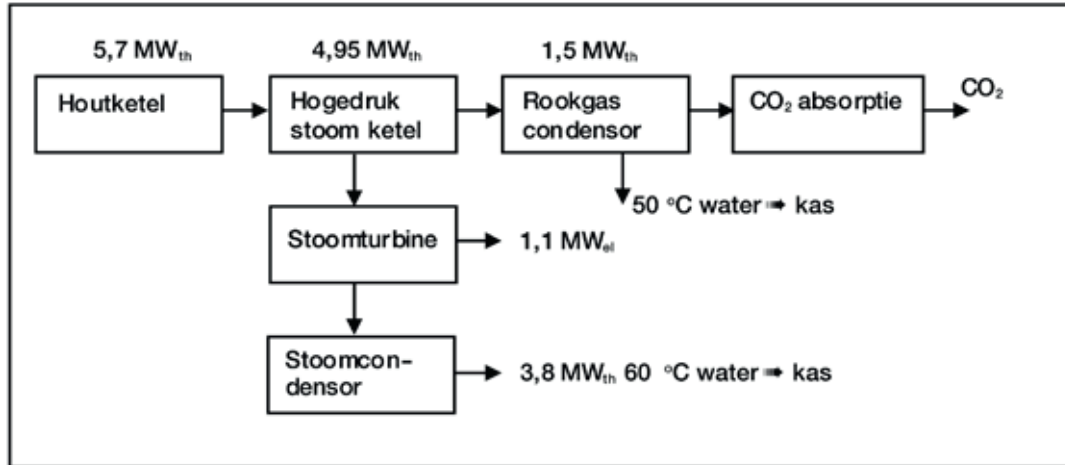
Ontvochtigen via LBK en slurven is geen optie. Bij de bouw van de nieuwe kassen was HNT nog niet aan de orde. Geen plek voor slurven zonder lichtverlies en meer vocht door grondteelt ipv substraat. HNT moet zich nog bewijzen in de biologische teelt. Het effect in de biologische teelt is nog onduidelijk. Kosten zijn te hoog en rendement dubieus. Bij meer duidelijkheid in de toekomst een mogelijke optie, maar eerst de WKK benutten is nu drie jaar oud.

Potentiële CO₂ bronnen in de directe omgeving:

- Onderzoekt mogelijkheid mestvergisting met buurman veehouder.
- Doet niet mee aan aardwarmte project.

1.8 Gespreksverslag Jaap Vink, 21-2-2011, Beetgum

Het bedrijf van Jaap Vink, Vink Sion, verwarmt 7.5 ha paprika en de overgenomen recent de buurman met 3.5 ha geheel met een houtketel van Host met een vermogen van 5 MW_{th} met daarachter een condensor en een stoomturbine van $1,1 \text{ MW}_{\text{el}}$.



De rookgassen van de houtketel worden via een absorptiekolom terug gewonnen. De verwachting was dat de huidige installatie $300 - 450 \text{ kg CO}_2$ per uur zou opleveren, maar dit hangt nu rond de 100 kg per uur. Dit is onvoldoende om de CO_2 vraag van het gewas in te vullen. Er moet minimaal 100 kg CO_2 per ha beschikbaar vanuit de verbrander zijn om de vergelijking met WKK te kunnen doorstaan.

Op dit moment koopt hij nog CO_2 van de buurman die nu nog CO_2 over heeft van de WKK. Na de geplande uitbreiding heeft deze buurman niets meer over.

Om voldoende capaciteit te realiseren, moet er een nieuwe adsorptiekolom geplaatst worden met een $10x$ grotere capaciteit en moet het gebouw hieraan worden aangepast. Het is niet duidelijk of er dan voldoende CO_2 kan worden afgevangen om 11 ha te voorzien van CO_2 . De investeringskosten van een grotere scheider zijn nu te hoog in relatie tot de hoeveelheid CO_2 die vrijkomt. De exploitatie is niet rendabel. De ontwikkelkosten voor een verbeterde versie zijn met de kleine markt voor houtstook door de tuinder en producent niet op te brengen. Het project staat hierdoor in een patstelling. Mogelijk dat de proeven van Procede in Canada nieuwe perspectieven bieden.

De houtstook zal naar het er nu naar uit ziet wel gedurende de hele MEP subsidie periode draaien. CO_2 is dan een probleem. De bedoeling in 2007 was minder afhankelijk te zijn van gas.

Bijlage II Inventarisatie gebruik organische meststoffen

Vraag 1: Welke organische stoffen breng je in de kas: hoeveelheid (ton/ha), gewas, periode in jaar, bewerking (opbrengen, onderspitten tot diepte, etc.) en doel (mest, structuur, organische stof gehalte, bodemleven, etc.?).

Organische stof	Ton/ha	Gewas	Periode	Bewerking	Doel(en)
Bedrijf 1					
Geitenpotstalmest	gem. 60 - 80	vnl. tomaat	december	Frezen, dan ca. 25 cm diep spitten	Bemesting, andere zaken worden vanzelfsprekend hierdoor ook onderhouden
Groencompost	60 - 100	vnl. paprika	december	idem	idem,
Monterra 9-1-4	ca. 5	alle	december	idem	Bemesting
Monterra 9-1-4	ca 6	tomaat	april-sept.	Strooien, geen bewerking	Bemesting
Monterra 9-1-4	ca 4	paprika	april-sept.	idem	Bemesting
andere bijmest stoffen worden ook wel gebruikt maar dat verschil is maar marginaal, zoals monterra 5-1-5 ipv 9-1-4 of Agro Biosol. Het blijft totaal over een paar ton gaan					

Bedrijf 3					
Geitenmest	40	Tomaat	December	Doorspitten	Bemesting / bodemleven
Natuurcompost	100	Tomaat/paprika	December	Doorspitten	Bemesting / bodemleven
Agrobiosol	2,5	Tomaat/paprika	December	Doorspitten	Bemesting / bodemleven
Monterra malt	4	Idem	Juni	Strooien	Bemesting
Geen vloeibare meststoffen gebruikt					

Bedrijf 8					
Stalmest, runder	80	Paprika- paksoi- komkommer- paksoi	Toediening tussen dec en maart	spitten	Basis
Monterra malt 5-1-5	5 * 0,7	idem	Maandelijks tussen april-sept	-	Bijmest
Teeltschema is zomers een kas met komkommer 1 april- 20 aug. De andere kas Paprika / peper van half feb – half nov. De winter periode paksoi over de hele oppervlakte.					

Bedrijf 5						
jaar	ton/ha compost					som /ha
	gift 1	gift 2	gift 3	gift 4	gift 5	
1999	160	0	0	0	0	160
2000	20	20	40	0	0	80
2001	20	20	40	40	40	160
2002	5	44	11	60	40	160
2003	48	48	72	0	0	168
2004	40	20	0	0	0	60
2005	44	20	0	0	0	64
2006	40	28	0	0	0	68
2007	40	40	0	0	0	80
2008	40	40	40	744 ¹	0	864
2009	53	53	53	0	0	160
som	511	333	256	844	80	2024
gem	46	30	23	77	7	184

¹ Orgapower compost

Ik heb hier een tabel van de compost die we in een afdeling toegevoegd hebben vanaf 2000. Zoals je ziet zijn dit enorme verschillen. De kleinere hoeveelheden strooien we door het jaar op de grond en met de teeltwisseling kunnen we het onder spitten. De grotere hoeveelheden die hebben we met de teeltwisseling er ingebracht en ondergespit. De gewassen zijn paprika afgewisseld met tomaat geweest.

Vraag 2: Hoe is, rekening houdend met de mestregelgeving, door een ander materiaal met een C/N verhouding, andere manier of tijdstip van inbrengen de CO₂ afgifte op een geschikter moment te realiseren?

Bedrijf 1

- De enige manier om dat te doen is om tijdens de teelt fijne compost met een buisrail verdeelkar in te brengen. Bij Verbeek hebben ze zo'n kar. Ik denk echter dat de verschillen marginaal of zelfs niet meetbaar zijn.
- De enige écht interessante manier is om tijdens de voorjaar- en zomerperiode door koelen de ramen veel verder dicht te houden. Dit is ook moeilijk omdat de ramen dus echt praktisch dicht moeten zijn. Momenteel is gesloten telen niet interessant, te duur.

Bedrijf 3

- Ik denk dat deze stoffen gestrooid worden voor bemesting en niet voor CO₂. Als je de geitenmest tijdens de teelt gaat strooien lijkt mijn onmogelijk. Wordt een bende met plantenbreuk en hygiëne.

Bedrijf 5

- Als dit zoveel CO₂ kan geven dat we geen CO₂ op een andere manier hoeven te geven is dit het te onderzoeken waard. Maar als de ramen open zijn is het waarschijnlijk te weinig en als de ramen dicht zijn loopt de CO₂ te snel te hoog op, en meestal is dit dan 's nachts. Ook in de winter en herfst periode kun je er dan last van hebben.

Bedrijf 8

- Ik heb eigenlijk geen mogelijkheden om anders te bemesten omdat ik volgens Demeter normen teel. Wij mogen daarom geen slachtafval gebruiken zoals verenmeel, bloedmeel etc.
- De gebruikte stalmest komt langzaam vrij en daardoor ook de CO₂ (denk ik).

Bijlage III Berekening toegestane concentratieschadelijke gassen in rookgas

Berekening toegestane concentratie schadelijke gassen in rookgas t.b.v. CO₂ bemesting in de glastuinbouw. (1989) door: A. Kiel (N.V. Nederlandse Gasunie) i.s.m. Mw E.M. Nederhoff en T. Rijdsijk (Proefstation voor Tuinbouw onder Glas te Naaldwijk)

In het onderstaande wordt berekend welke hoeveelheden van eventueel schadelijke gassen (NO, NO₂, C₂H₄, NH₃ en O₃) mogen voorkomen in rookgasen voor CO dosering in kassen. Uitgangspunt is hierbij dat de concentratie, waarbij vermoedelijk schade aan planten optreedt, in de kaslucht niet mag worden overschreden. Deze hoeveelheden staan in relatie tot de CO₂ concentratie in de onverdunde rookgasen en de in te stellen CO₂ concentratie in de kas.

De grenswaarde voor CO is gerelateerd aan een MAC waarde. Bij CV ketels vindt tijdens CO₂ bemesting een continue bewaking plaats van het CO gehalte in de onverdunde rookgasen. Deze bewaking is ingesteld op 30 ppm. Boven deze waarde schakelt de CO₂ ventilator af.

De gebruikte schadedrempels zijn indicaties, want onder andere omstandigheden leiden de gebruikte schadedrempels soms nog niet tot schade of soms is al bij lagere niveaus schade mogelijk. Schadelijke componenten kunnen bij gelijktijdige aanwezigheid soms al veel sneller tot schade aan het gewas leiden dan de afzonderlijke schadedrempels aangeven, dit wordt veroorzaakt door het zgn. cocktaileffect.

Aannames en gegevens:

1. CO₂-dosering in de kas is regelbaar op een bepaald CO₂ setpoint.
2. Er wordt uitgegaan van winterse omstandigheden, d.w.z. gesloten luchtramen en weinig fotosynthese. De berekeningen zijn voor overdag.
3. In de kas vinden twee processen plaats: luchtuitwisseling met buiten ('lek') en CO₂ opname door de planten (fotosynthese).
 - Opname van andere gassen door planten wordt verwaarloosd.
 - Er wordt geen rekening gehouden met afgifte van CO₂ door de planten 's nachts (respiratie), dus ook niet met CO₂ ophoping uit de nacht.
4. Voor fotosynthese wordt aangenomen 0.5 gram/m².h. CO₂ opname. (in de winter varieert dit tussen ca. 0.1 en 2 gram/m².h.)
5. Het ventilatievoud wordt gesteld op 0.5 h⁻¹. Dit is redelijk bij gemiddelde windsnelheid en gesloten lucht ramen.
6. Kashoogte wordt gesteld op 4m (gemiddeld).
7. Voor de concentratie van de schadelijke gassen in de kaslucht, zijn de schadedrempels aangehouden zoals die zijn vermeld door T. Rijdsijk (P.T.G.). De waarden voor een blootstellingsduur van 10 dagen worden hierbij gelijk gesteld aan de waarden die gelden bij chronische blootstelling, m.a.w. 10 dagen = chronische blootstelling.
8. De concentraties in de kaslucht waarmee gerekend is, zijn dus:

CO ₂ :	in kas variabel;	buiten 350 ppm
NO:	in kas 250 ppb;	buiten 20 ppb
NO ₂ :	in kas 132 ppb;	buiten 10 ppb
C ₂ H ₄ :	in kas 8 ppb;	buiten 0 ppb
O ₃ :	in kas 28 ppb;	buiten 22 ppb (bron: RIVM)
NH ₃ :	in kas 197 ppb;	buiten 0 ppb (bron: RIVM)
9. Verondersteld is dat er evenwicht in de kas heerst, d.w.z. dat de concentratie van een gas niet daalt of stijgt. Dan is de instroom (via dosering) gelijk aan wat verdwijnt (door lek en CO₂ opname). In werkelijkheid is dit alleen zo als er gedurende langere tijd (uren) geen verandering in omstandigheden is opgetreden (d.w.z. in dosering, windsnelheid, raamopening, fotosynthese enz.).
10. De soortelijke gewichten van deze gassen zijn (bij 20 °C en 1 atm.): CO₂: 1.83; NO: 1.24; NO₂: 1.91; C₂H₄: 1.17; NH₃: 0.71; O₃: 2.00 gram/liter.
11. De molgewichten zijn: CO₂: 44; NO: 30; NO₂: 46; C₂H₄: 28; NH₃: 17; O₃: 48 g/mol.
12. De calorische onderwaarde van aardgas: H₀ = 31.7 MJ/m³.

Berekeningswijze:

De maximaal toegestane concentraties van de rookgascomponenten bij een gegeven CO₂ percentage (of luchtfactor) en een gegeven (in te stellen) CO₂ concentratie in de kas worden berekend via de volgende relaties:

$$\text{NO: } [\text{NO}]_{\text{max}} = 190 \cdot X / (0.083 \cdot (Y-350) + 11.36) \text{ ppm (=Z1) = .. (1)}$$

$$Z1 \cdot (0.33 + 0.36 \cdot (n-1)) \text{ g/GJ}$$

$$\text{NO}_2: [\text{NO}_2]_{\text{max}} = 102 \cdot X / (0.083 \cdot (Y-350) + 11.36) \text{ ppm (=Z2) = .. (2)}$$

$$Z2 \cdot (0.50 + 0.55 \cdot (n-1)) \text{ g/GJ}$$

$$\text{C}_2\text{H}_4: [\text{C}_2\text{H}_4]_{\text{max}} = 4.85 \cdot X / (0.083 \cdot (Y-350) + 11.36) \text{ ppm (=Z3) = .. (3)}$$

$$Z3 \cdot (0.30 + 0.33 \cdot (n-1)) \text{ g/GJ}$$

$$\text{NH}_3: [\text{NH}_3]_{\text{max}} = 165 \cdot X / (0.083 \cdot (Y-350) + 11.36) \text{ ppm (=Z4) = .. (4)}$$

$$Z4 \cdot (0.18 + 0.2 \cdot (n-1)) \text{ g/GJ}$$

$$\text{O}_3: [\text{O}_3]_{\text{max}} = 5 \cdot X / (0.083 \cdot (Y-350) + 11.36) \text{ ppm (=Z5) = .. (5)}$$

$$Z5 \cdot (0.52 + 0.57 \cdot (n-1)) \text{ g/GJ}$$

Met: X = percentage CO₂ in onverdunde rookgassen (%)
 Y = ingestelde CO₂ concentratie in de kas (ppm)
 N = lucht factor (-)

Verder geldt: $n = 1 + (10.6716 - 0.9140 \cdot X) / (X - 0.0296) \dots (7)$

Ofwel: $X = (0.9 + (n-1) \cdot 0.0025) \cdot 100\% / (7.7086 + (n-1) \cdot 8.4336) \dots (8)$

Met formule 7 kan dus de luchtfactor worden berekend indien het CO₂ percentage in de onverdunde rookgassen bekend is. Omgekeerd kan met formule 8 het CO₂ percentage in de onverdunde rookgassen worden berekend indien de lucht factor bekend is. Met behulp van de formules 1 t/m 6 kunnen vervolgens de grenswaarde concentraties worden bepaald zowel in ppm als in g/GJ. Hierbij geldt dat de grenswaarde uitgedrukt in g/GJ onafhankelijk is van n en dus ook van X.

Ter illustratie zijn in de onderstaande twee tabellen de grenswaarde concentraties weergegeven bij luchtfactor n=1 en n=1.55 resp. 11.68% CO₂ en 7.30 % CO₂ voor vier verschillende kasluchtconcentraties CO₂.

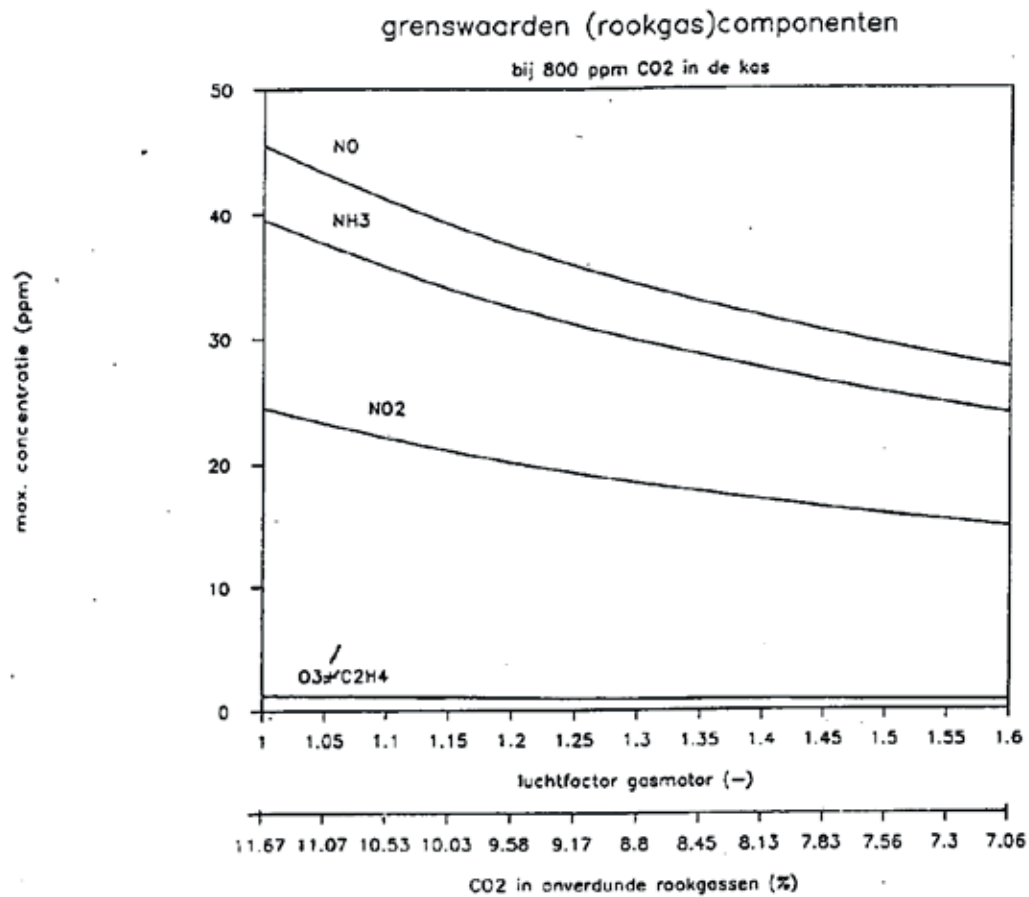
Tabel 1. Toegestane concentratie van (rookgas)componenten bij n=1 (11.68% CO₂).

CO ₂ in kas (ppm)	350		600		800	
	ppm	g/GJ	ppm	g/GJ	ppm	g/GJ
NO	195.4	64.5	69.1	22.8	45.6	15.0
NO ₂	104.9	52.4	37.1	18.6	24.5	12.2
O ₃	5.1	2.7	1.8	0.95	1.2	0.62
C ₂ H ₄	5.0	1.5	1.7	0.53	1.2	0.35
NH ₃	169.6	30.5	60.0	10.8	39.6	7.1

Tabel 2. Toegestane concentratie van (rookgas)componenten bij $n=1.55$ (7.3%CO₂).

CO ₂ in kas (ppm)	350		600		800	
	ppm	g/GJ	ppm	g/GJ	ppm	g/GJ
NO	123.0	64.5	43.2	22.8	28.5	15.0
NO ₂	65.5	52.6	23.2	18.6	15.3	12.3
O ₃	3.2	2.7	1.1	0.95	0.75	0.62
C ₂ H ₄	3.1	1.5	1.1	0.53	0.73	0.35
NH ₃	106.0	30.7	37.5	10.9	24.7	7.2

In Figuur 18. zijn de grenswaarden weergegeven die gelden bij een CO₂ concentratie van 800 ppm in de kas. De maximale concentratie aan schadelijke componenten is hierin uitgezet tegen de luchtfactor en het CO₂ percentage in de onverdunde rookgassen.



Figuur 18. Grenswaarden van de verschillende rookgascomponenten bij 800 ppm CO₂ in de kas.

Bijlage IV Organisaties met toewijzing CO₂ emissierechten (provincie + sector)

Bron: http://www.senternovem.nl/mmfiles/PL%2008006%20NTB%202008-2012%20-%2017%20nov%202008%20_2_.doc_tcm²4-293946.pdf

Friesland

Nummer	Bedrijfsnaam	Plaats	kton/jaar
155-050	Friesland Foods	Dronrijp	9,8
155-070	Friesland Foods	Workum	15,2
155-090	Friesland Foods	Bedum	17,4
155-100	Friesland Foods	Leeuwarden	68,0
156-155	Lamb Weston Meijer VOF	Oosterbierum	21,7
156-240	Aviko Rixona BV	Oostrum	26,1
157-060	Sonac Burgum BV	Sumar (Suameer)	35,3
159-100	Koninklijke Douwe Egberts BV	Joure	8,4
211-060	Huhtamaki Nederland BV	Franeker	15,4
241-010	Frisia Zout BV	Harlingen	128,2
246-020	Kollo Silicon Carbide BV	Farmsum	106,7
400-050	Centrale Bergum	Bergum	601,3
Totaal			1.053,5

Groningen

Nummer	Bedrijfsnaam	Plaats	kton/jaar
158-010	Suiker Unie	Groningen	147,0
158-040	Suiker Unie	Groningen	108,8
211-040	Heinzel Paperboard De Eendracht	Appingedam	76,7
211-070	Smurfit Kappa Solid Board BV KM4	OudePekela	24,5
211-080	Smurfit Kappa Solid Board BV KM1	OudePekela	14,4
211-090	Eska Graphic Board BV	Hoogezand	74,3
211-100	Eska Graphic Board BV	Sappemeer	34,9
211-130	Smurfit Kappa Solid Board BV	Nieuweschans	38,1
211-230	Smurfit Kappa Solid Board BV	Groningen	25,0
261-070	PPG Industries Fiber Glass BV	Westerbroek	47,2
400-080	Eemscentrale	Eemshaven	3.300,7
851-010	Academisch Ziekenhuis Groningen	Groningen	23,9
Totaal			3.915,5

Drenthe

Nummer	Bedrijfsnaam	Plaats	kton/jaar
111-140	NAM, Emmen GZI	Assen	59,0
111-190	NAM, F03-FB-1	Assen	79,8
155-020	Friesland Foods, Beilen	Beilen	45,6
155-040	DOC Kaas Hoogeveen (Zuivelpark)	Hoogeveen	31,8
155-160	Friesland Foods Kievit	Meppel	14,6
156-020	AVEBE UA	Veendam	14,8
156-040	AVEBE UA	Gasselternijveen	90,9
156-050	AVEBE UA	Ter Apelkanaal	175,0
173-020	Ten Cate Advanced Textiles BV	Nijverdal	20,4
173-030	Ten Cate Technical Fabrics BV	Nijverdal	7,4
211-120	Smurfit Kappa Solid Board BV	Coevorden	23,2
400-280	WKC Erica	Erica	92,9
400-310	WKC Klazienaveen	Klazienaveen	89,6
400-540	Emmtec Services BV	Emmen	283,3
400-600	Energie Bedrijf Rundedal BV	Bargercompascuum	8,4
Totaal			1.036,6

Flevoland

Nummer	Bedrijfsnaam	Plaats	kton/jaar
156-180	McCain Foods Holland BV	Lelystad	7,0
400-090	Flevocentrale	Lelystad	19,2
400-100	WKC Almere	Almere	311,1
400-105	ENECO HWC Almere	Almere	0,9
Totaal			338,2

Overijssel

Nummer	Bedrijfsnaam	Plaats	kton/jaar
155-010	Friesland Foods Domo	Borculo	83,2
244-020	Abbott Laboratories	Zwolle	9,0
250-010	Vredestein Banden BV	Enschede	17,8
300-040	Koninklijke Machinefabriek Stork	Hengelo	5,4
400-070	Centrale Harculo	Zwolle	192,7
400-270	WKC Enschede	Enschede	134,1
400-363	Ketelhuis Helmerhoek	Enschede	3,2
400-620	BB-energy BV	IJsselmuiden	18,2
400-630	Bergmont BV	IJsselmuiden	14,0
Totaal			477,6

Gelderland

Nummer	Bedrijfsnaam	Plaats	kton/jaar
155-080	Friesland Foods	Lochem	22,6
159-040	De Grolsche Bierbrouwerij Nederland BV	Enschede	15,6
211-010	Stora Enso Berghuizer Papierfabriek NV	Wapenveld	252,2
211-160	Papierfabriek Doetinchem BV	Doetinchem	31,8
211-170	Favini Apeldoorn BV	Apeldoorn	19,8
211-180	Norske Skog Parenco BV	Renkum	235,9
211-200	Sappi Nijmegen BV	Nijmegen	90,7
211-220	SCA De Hoop Energie BV	Eerbeek	238,9
211-240	Solidpack BV	Loenen(Gld)	11,6
241-070	Akzo Nobel Chemicals	Hengelo	418,6
241-380	WKC AkzoNobel Energie BV	Arnhem	29,9
261-050	AGC Flatglass Nederland BV	Tiel	101,8
264-010	Rodruza, Steenfabriek Rossum BV	Rossum	15,3
264-170	Steenfabriek de Nijverheid BV	Arewijn	19,2
264-180	Steenfabriek De Rijswaard BV	Aalst	28,6
264-190	Steenfabriek de Vlijt BV	Winterswijk	9,5
264-200	Kleiwarenfabriek De Waalwaard BV	Dodewaard	9,1
264-220	BV Steenfabriek Huissenswaard	Angeren	20,8
264-270	Rodruza, Steenfabriek De Zandberg BV	Gendt	26,8
264-280	Steenfabriek Schipperswaard BV	Echteld	10,1
264-290	Steenfabriek Spijk BV	Spijk	31,1
264-310	Steenfabriek Zennewijnen BV	Zennewijnen	13,3
264-330	Steenindustrie Strating BV	Oude Pekela	6,9
264-350	Kleiwarenfabriek De Bylandt BV	Tolkamer	31,6
264-360	Steenfabriek Heteren	Heteren	9,9
264-370	Steenfabriek Erlecom	Erlecom	16,8
264-380	Steenfabriek Bemmelen	Haalderen	9,0
264-400	Steenfabriek Haaften	Haaften	18,1
264-410	Steenfabriek Kijfwaard	Oost Pannerden	14,6
264-420	Steenfabriek Kijfwaard	West Pannerden	31,0
264-430	Steenfabriek Nuance	Afferden	6,7
264-460	Steenfabriek Daams	Spijk	8,5
264-490	Steenfabriek Timmermans	Elst	13,0
264-510	Steenfabriek Doorwerth	Doorwerth	13,0
264-520	Steenfabriek de Roodvoet	Rijswijk	9,4
264-550	Steenfabriek de Wolfswaard	Opheusden	16,8
315-022	NXP Semiconductors Netherlands BV	Nijmegen	13,8
400-060	Centrale Gelderland	Nijmegen	2.022,2
400-380	Minnewit BV, Berkelcentrale	Borculo	92,5
400-416	HWC Duiven - Westervoort	Westervoort	0,5
400-520	De Kleef BV	Arnhem	123,1
400-570	EnergieCombinatie Bergerden BV	Huissen	32,0
401-530	Delesto BV	Farmsum	1.641,6
851-060	Stichting Katholieke Universiteit Nijmegen	Nijmegen	32,6
Totaal			5.816,9

Utrecht

Nummer	Bedrijfsnaam	Plaats	kton/jaar
155-120	Promelca BV	Gorinchem	17,8
241-270	PURAC biochem BV	Gorinchem	40,2
400-460	Nuon Power Generation MK10	Utrecht	544,3
400-461	Nuon Power Generation HWC Kanaleneiland	Utrecht	0,6
400-462	Nuon Power Generation HWC Nic Beetstraat	Utrecht	0,8
400-463	Nuon Power Generation HWC Nieuwegein	Nieuwegein	2,3
400-464	Nuon Power Generation HWC Overvecht	Utrecht	0,5
400-467	Nuon Power Generation LW06	Utrecht	552,5
400-901	ENECO WKC Vijfwal	Houten	10,4
400-914	ENECO WKC Vathorst	Hooglanderveen	8,4
803-010	Universiteit Utrecht	Utrecht	58,6
851-040	UMC Utrecht	Utrecht	21,9
Totaal			1.258,4

Limburg

Nummer	Bedrijfsnaam	Plaats	kton/jaar
156-130	Aviko BV	Lomm	17,5
211-110	Smurfit Kappa Roermond Papier BV	Roermond	158,8
211-150	Favini Meerssen BV	Meerssen	17,7
211-190	Sappi Maastricht BV	Maastricht	254,9
211-260	Van Houtum Papier BV	Swalmen	25,0
241-100	Chemelot	Sittard-Geleen	3.246,4
241-210	INEOS Silicas Netherlands BV	Eijsden	19,7
241-450	Johnson Matthey BV	Maastricht	3,3
261-020	O-I Manufacturing Netherlands BV	Maastricht	104,5
262-200	Rockwool Lapinus Productie BV	Roermond	141,2
262-230	Koninklijke Mosa BV, Wandtegels	Maastricht	17,1
264-030	Steenfabriek Engels Oeffelt	Oeffelt	8,2
264-080	Kleiwarenfabriek Buggenum BV	Buggenum	5,5
264-090	Kleiwarenfabriek Facade Beek BV	Beek	8,0
264-100	Kleiwarenfabriek Joosten Kessel BV	Kessel	11,3
264-110	Kleiwarenfabriek Joosten Wessems	Wessems	7,6
264-210	Steenfabriek Gebroeders Klinkers BV	Maastricht	9,6
264-230	Steenfabriek Engels Helden BV	Panningen	15,5
264-240	Steenfabriek Linssen BV	Kerkrade	4,3
264-250	Steenfabriek Nievelsteen BV	Eygelshoven	5,4
264-260	Steenfabriek Nuth BV	Nuth	9,7
264-450	Steenfabriek Poriso	Brunssum	22,5
264-470	Steenfabriek Milsbeek	Milsbeek	3,8
264-500	Steenfabriek Thorn	Thorn	12,3
265-020	ENCI BV,, Maastricht	Maastricht	715,9
300-010	NedCar BV	Born	9,4
400-340	Clauscentrale	Maasbracht	1.035,8
400-360	WKC Swentibold	Geleen	0,0
400-370	Facilities Wetering BV	Weert	22,1
400-390	Nuon Power Generation Buggenum	Haalen	644,3
Totaal			6.557,3

Noord Brabant

Nummer	Bedrijfsnaam	Plaats	kton/jaar
155-030	DMV International BV	Veghel	134,8
156-060	Aviko BV	Steenderen	66,2
156-210	Sensus	Roosendaal	18,1
156-100	Cerestar a Cargill BV Company	Bergen op Zoom	61,7
156-110	Lamb Weston Meijer VOF	Bergen op Zoom	22,0
157-070	Rendac Son BV	Son	37,7
158-020	Suiker Unie	Breda	3,1
158-030	Suiker Unie	Dinteloord	129,2
158-050	Suiker Unie	Puttershoek	0,1
159-010	Bavaria NV	Lieshout	55,1
159-050	Heineken Nederland BV	's Hertogenbosch	15,0
159-080	Koninklijke Nedalco	Bergen op Zoom	33,9
159-110	Unilever Nederland BV	Oss	15,9
159-120	Masterfoods Veghel BV	Veghel	11,8
160-010	Philip Morris Holland BV	Bergen op Zoom	7,4
173-010	Vlisco Helmond BV	Helmond	22,1
211-020	WA Sanders Papierfabriek ColDen Hove BV	Eerbeek	13,7
211-050	Georgia-Pacific Nederland BV	Cuijk	19,0
211-140	Mayer Melnhof Eerbeek BV	Eerbeek	70,7
241-200	SABIC Innovative Plastics	Bergen op Zoom	425,4
241-290	Shell Nederland Chemie BV	Moerdijk	1.941,4
244-010	NV Lamb Weston Meijer VOF	Oss	2,8
246-030	FUJIFILM Manufacturing Europe BV	Tilburg	49,7
261-060	Ardagh Glass	Moerdijk	28,8
261-080	Ardagh Glass	Dongen	75,4
261-090	Saint-Gobain Isover Benelux BV	Etten-Leur	51,3
264-340	Steenfabriek Hedikhuizen BV	Hedikhuizen	7,8
264-390	Steenfabriek Esbeek	Esbeek	6,2
274-070	Nyrstar Budel	Budel-Dorplein	9,0
315-020	Philips Lighting BV	Roosendaal	23,5
341-010	DAF TrucksNV	Eindhoven	9,4
400-240	BEC Cuijk	Cuijk	54,4
400-290	WKC Helmond 12	Helmond	101,5
400-300	WKC Helmond 3	Helmond	6,4
400-320	WKC Moerdijk	Moerdijk	57,8
400-330	Amercentrale	Geertruidenberg	499,9
400-350	Dongecentrale	Geertruidenberg	72,3
400-361	Pompstation Breda	Breda	4,7
400-362	Pompstation Tilburg	Tilburg	7,3
400-364	Hulpketel de la Reijweg	Breda	1,3
401-230	WKC Bergen op Zoom (Philip Morris)	Bergen op Zoom	76,9
401-250	WKC s`Hertogenbosch (Heineken)	's-Hertogenbosch	78,9
401-260	WKC Eindhoven	Eindhoven	76,7
851-090	Nuon Centrale Catharina Ziekenhuis	Eindhoven	12,1
Totaal			4.418,5

Noord Holland

Nummer	Bedrijfsnaam	Plaats	kton/jaar
154-015	ADM Cocoa	Koog aan de Zaan	37,7
154-020	Cargill Multiseed	Amsterdam	32,4
154-030	Loders Croklaan BV	Wormerveer	30,1
156-010	Tate & Lyle Netherlands BV	KoogaandeZaan	7,3
156-030	AVEBE UA	Foxhol	57,1
156-070	Cargill sojafabrieken	Amsterdam	70,8
211-030	Crown Van Gelder NV	Velsen-Noord	147,9
241-110	Sonneborn Refined Products BV	Amsterdam	21,2
241-135	DSM AGRO	Velsen-Noord	10,0
241-320	Solvay Pharmaceuticals	Weesp	18,8
241-400	Installaties Cindu Chemicals BV en Nevcin Polymers BV	Uithoorn	14,2
241-490	Quest International	Naarden	9,6
246-010	Albemarle Catalysts BV	Amsterdam	13,4
265-010	ENCI BV IJmuiden	Velsen-Noord	29,2
271-010	Corus Staal BV	Velsen	10.627,0
366-010	Forbo Flooring BV	Assendelft	10,1
400-412	HWC Arena - Holterbergweg	Amsterdam Zuidoost	0,7
400-414	HWC Boris Pasternak	Amsterdam Zuidoost	0,3
400-420	Nuon Power Generation	Diemen	505,8
400-430	Nuon Power Generation Installatie HW07	Amsterdam	3.225,7
400-440	Nuon Power Generation	Velsen	418,3
400-450	Nuon Power Generation	Purmerend	159,7
400-470	Nuon Power Generation Installatie VN24	Velsen	1.388,3
400-480	Nuon Power Generation, HWC Purmerend	Purmerend	6,3
620-010	Schiphol Nederland BV	Schiphol	28,5
620-020	KLM Engineering + Maintenance BV	Schiphol-Oost	12,3
748-020	Flora Holland,, Aalsmeer	Aalsmeer	8,4
752-010	Ministerie van Defensie, Nieuwe Haven terrein	Den Helder	14,5
851-030	Academisch Medisch Centrum	Amsterdam	48,2
851-080	Vereniging VU-Windesheim	Amsterdam	39,8
Totaal			16.993,6

Zuid Holland

Nummer	Bedrijfsnaam	Plaats	kton/jaar
111-040	Wintershall Noordzee BV, lokatie Kotter K18	Den Haag	32,1
111-099	Gasunie LNG Maasvlakte	Maasvlakte	1,4
111-300	Petro-Canada, lokatie F2-A-Hanze	Den Haag	34,9
111-302	Petro Canada, lokatie P11-B-De Ruyter	Den Haag	65,9
111-390	,Q1 Hoorn	Voorburg	15,5
154-010	ADM Europoort BV	Europoort	278,0
154-050	UNIMILLS BV	Zwijndrecht	51,4
156-080	Cargill BV Refined Oils Europe	Botlek-Rotterdam	30,0

156-140	FarmFrites BV	OuDen Hoorn	41,7
159-060	Heineken Nederland BV, brouwerij Zoeterwoude	Zoeterwoude	73,5
159-122	Masterfoods CV	Oud Beijerland	8,7
232-010	Esso Nederland BV Afdeling Raffinaderij	Botlek-Rotterdam	2.322,4
232-020	Kuwait Petroleum Europoort BV	Europoort-Rotterdam	523,6
232-030	BP Refinery Rotterdam BV (Nerefco)	Europoort-Rotterdam	1.956,2
232-040	Shell Nederland Raffinaderij BV	Rotterdam	5.176,6
232-070	Koch HC Partnership BV	Europoort-Rotterdam	97,3
232-080	Vopak Terminal botlek BV	Rotterdam	14,8
232-090	Koole Tankstorage Pernis BV	Vondelingenplaat-Rotterdam	8,8
232-100	Vopak Oil Rotterdam	Europoort-Rotterdam	14,6
241-040	Air Products Nederland BV,,Botlek	Botlek-Rotterdam	366,8
241-060	Akzo Nobel Energy BV	Rotterdam	184,8
241-080	Cabot BV	Botlek-Rotterdam	220,9
241-130	DSM Gist	Delft	132,5
241-150	DSM Special Products BV	Botlek-Rotterdam	99,4
241-160	Du Pont de Nemours (Nederland) BV	Dordrecht	211,0
241-190	ExxonMobil Chemical Holland BV ROP	Europoort-Rotterdam	31,2
241-340	Uniqema Nederland BV	Gouda	51,5
241-420	Evonik Carbon Black Nederland	Botlek-Rotterdam	142,2
246-040	Hercules BV Zwijndrecht	Zwijndrecht	21,1
261-010	O-I Manufacturing Netherlands BV	Leerdam	107,2
261-030	O-I Manufacturing Netherlands BV	Schiedam	64,1
261-040	Ferro (Holland) BV	Rotterdam	0,7
262-010	NV Gouda Vuurvast	Gouda	8,6
271-040	Ruigenhil Vastgoed BV (Nedstaal)	Alblasserdam	47,4
400-010	Technische Universiteit Delft	Delft	15,2
400-130	ENECO WKC Ypenburg	Den Haag	35,0
400-140	Centrale Delft	Delft	11,6
400-150	Centrale Leiden	Leiden	115,8
400-160	Centrale Den Haag	Den Haag	137,8
400-170	Centrale RoCa ₃	Rotterdam	681,1
400-180	Centrale Galileistraat	Rotterdam	449,8
400-190	HWC Delftse Vaart	Rotterdam	3,9
400-200	Centrale Maasvlakte	Maasvlakte	4.868,2
400-211	HWC BezuiDen Hout West	Den Haag	19,0
400-213	HWC Stevenshof	Leiden	4,1
400-214	HWC Blekershof	Rotterdam	0,0
400-215	Kop van Zuid	Rotterdam	4,3
400-490	Rijnmond Energie CV Vondelingenplaat	Rotterdam	1.574,1
400-590	AKw Energy BV	Waddinxveen	16,3
400-610	Hasselt Energy BV	Moerkapelle	21,0
400-904	ENECO WKC Oosterheem	Zoetermeer	11,2
400-907	ENECO WKC Vaanpark	Barendrecht	6,2
400-910	ENECO WKC Wateringse veld	Den Haag	9,7
400-912	ENECO HWC Ypenburg	Den Haag	18,8
401-550	Enecal Energy VOF	Botlek Rotterdam	221,9
401-560	Eurogen CV	Botlek-Rotterdam	461,4
401-565	Europoort Utility Partners VOF	Europoort-Rotterdam	107,9
631-010	Vopak Terminal Vlaardingen	Vlaardingen	26,4
631-040	Odfjell Terminals (Rotterdam) BV	Botlek-Rotterdam	16,5
748-010	Flora Holland, Naaldwijk	Honselersdijk (gemeente Westland)	6,9
Totaal			21.280,9

Zeeland

Nummer	Bedrijfsnaam	Plaats	kton/jaar
156-090	Cerestar Benelux BV	Sas van Gent	201,3
156-150	WKC Kruiningen	Kruiningen	84,4
156-160	McCain Foods Holland BV,Lewedorp	Lewedorp(Zld)	12,1
232-060	Total Raffinaderij Nederland NV	Nieuwdorp	1.501,3
241-120	Dow Benelux BV	Hoek	2.352,8
241-170	Eastman Chemical Middelburg BV	Middelburg	22,5
246-050	Yara Sluiskil BV	Sluiskil	212,3
400-040	DELTIUS BV	Ritthem	29,5
400-220	NV EPZ	Borssele	1.681,9
401-110	Elsta BV & Co CV	Hoek	1.542,0
	Totaal		7.640,0

Bijlage V Composteerbedrijven

Het Agentschap NI geeft het volgende overzicht van composteerbedrijven (Agentschap NL, 2010)

Provincie	Installatie	Hoeveelheid gecomposteerd gft afval (kton)					Type ¹
		2005	2006	2007	2008	2009	
Groningen	Oost-Groningen Afval Recycling (OGAR)	24	23	24	26	31	
	Composteerinrichting Usquert	9	9	9	9	11	
Friesland	Orgaworld compostering Drachten	30	32	34	62	68	G
Drenthe	Attero Noord BV Wijster	318	314	32	266	146	G
Overijssel	Twence compostering	63	60	68	60	68	
Gelderland	AVR Afvalverwerking BV Duiven	34	34	38	36	14	
	VAR biogeen afd. composteren Wilp	144	135	137	136	154	
Flevoland	Orgaworld Compostering Lelystad B.V.	3	1	2	21	34	T
	Orgaworld vergisting Biocel						
Noord-Holland	HCV compostering Middenmeer	55	53	49	47	55	
	De Meerlanden compostering B.V.	29	27	26	25	26	
	HVC compostering Purmerend	70	67	65	61	71	
Zuid-Holland	AVRAM	203	196	203	196	18972	
	GFT Compostering Bergschenhoek	82	75	76	72	0	G
	GFT Compostering Europoort	50	58	50	50	71	G
	GFT Compostering Alphen aan den Rijn	51	49	43	44	58	G
Zeeland	GFT Compostering Vlissingen-Oost	22	41	42	44	52	
Noord-Brabant	Attero Zuid, Moerdijk	96	90	78	61	84	O
	Van Kaathoven Compostering Bladel B.V.	24	12	11	17	11	
	Van Kaathoven Compostering St Oedenrode B.V.	29	26	24	27	26	
	Attero Zuid, locatie Deurne	33	38	43	42	48	T
	Essent Milieu Zuid Acht	23					
Limburg	Attero Zuid, Maastricht	72	69	69	64	76	T
	Attero Zuid, Venlo	49	61	71	69	66	T
Totaal gft-afval gecomposteerd		1.326	1.291	1.312	1.258	1.178	
Totaal gecomposteerd		1.631	1.627	1.575	1.440	1.374	

¹ G = gesloten, T = tunnel en O = open

Andere bronnen geven nog de volgende composteerbedrijven aan:

Bedrijfsnaam	Plaats	kton/jaar	Type
--------------	--------	-----------	------

Friesland

Donkergroen BV	Sneek		
Fa. Wassenaar	Beetgumermolen		
Westra Groenrecycling BV	Harlingen		

Groningen

Over Milieu BV	Stadskanaal		Open
Jaap Dam (Groen)	Zuidbroek		
Recycling B.V. Vagroen: Top Gaarkeuken	Oldekerk		
Stainkoeln	Groningen		
J.P. van der Wal VOF	Blijham	15	open

Drenthe

Over Milieu BV	Gieterzandvoort		Open
Koers Handel BV	Hoogersmilde		
Meringa Compostering BV	Dalerveen		
Groenrecycling compostering Assen:			
Zuidema Groep, Nova Terra	Hoogeveen		
BMS Ormira BV i.o.	Smilde		
Groenrecycling Verhoeven Z.O. Drenthe	Nieuw Dordrecht		
Biogas International Projecten BV	Klazienaveen		
Tim's Houtrecycling	Buinerveen		

Flevoland

Den Ouden Groenrecycling BV	Lelystad		
-----------------------------	----------	--	--

Overijssel

Bruins & Kwast Biomass Management/Groen-Recycling Twente BV	Goor		
Bruins & Kwast Biomass Management/Betuwse Groen Recycling	Neerijnen		
Groenrecycling BV/Van Lenthe	Dalfsen		
Van Werven Groep	Hattermerbroek		
Groenrecycling Rouveen	Rouveen		
Groenrecycling Wolfshagen BV /Van der Weerd Grafhorst BV	Hasselt		

Gelderland

Hoymans Compost BV	Kerkdriel		
Veluvenkamp Bedrijven	Hatterm		
Bruins & Kwast Biomass Management/Gelderse Reststoffen Recycling	Duijven		
RECOM Ede BV	Ede		
Gelderse Groen Recycling BV/Gebr. Hermsen	Westervoort		Open

Utrecht

Groenrecycling Nieuwegein	Nieuwegein		
Groen Recycling Utrecht BV	Utrecht		
Groenrecycling Verhoef BV	Mijdrecht	20	
Smink Afvalverwerking BV	Hoogland		
Limburg			
Afvalzorg Grondstromen Limburg	Brunssum		
Muysers Potgrond & Groenrecycling BV	Reuver		
Reijnders Groenrecycling B.V.	Reuver/Kelpen		Open

Noord-Brabant

Attero	Tilburg		
Den Ouden Groenrecycling BV: Land van Cuijk	Haps		
Vlagheide	Schijndel		
Maasland	Rosmalen		
West Brabant	Zegge		
Den Ouden Groenrecycling BV	Helmond		
Gemeente Overhout	Overhout		
Van Iersel Biezenmortel BV	Biezenmortel		
Van Berkel Biomassa & Bodemproducten	Uden		
Groencompostering Steenbergen BV	Steenbergen		
J. Bierings Groencompostering BV	Veldhoven		
Composteerinrichting Altena BV	Almkerk		
Orgaworld BV	Beek en Donk	35	Tunnel.
Groenrecycling Achtmaal	Achtmaal		

Noord-Holland

Den Ouden Groenrecycling BV			
Composteerinrichting Escapade			
Groenrecycling De Breehoorn BV/J. & C.J. Baars Hoofddorp BV			
Sortiva BV			
Sortiva BV			
Stoop Groenrecycling			

Zuid-Holland

DELTA Milieu	Dordrecht		Gesloten
DELTA Milieu	Nieuwddorp		Gesloten
DELTA Milieu	Rijpwetering		Open
DELTA Milieu	Voorschoten		Open
DELTA Milieu	Rotterdam Botlek		Open
Van Vliet Recycling BV	Hoek van Holland		
WAGRO BV Groenrecycling	Waddinxveen		
AVR – Van Gansewinkel	Rotterdam-Botlek		
Recept Compostering BV	Europoort Rotterdam		Gesloten
Stercompost BV	Alphen ad Rijn		
Kruiswijk Recycling	Rijpwetering		
Meeuwnoord recycling	Noordwijkerhout		
Groen Recycling Combinatie BV	Voorschoten		

Zeeland

DELTA Milieu	Bleskensgraaf		Open
DELTA Milieu	Zierikzee		Open
DELTA Milieu	Nieuwddorp		Open

Bijlage VI Vergisting

Natte biovergisting

Hier wordt biogas geproduceerd door nat organisch materiaal, onder afsluiting van lucht, een tot enkele weken aan anaerobe bacteriën blootstellen. Deze bacteriën breken de biomassa gedeeltelijk af en zetten deze om naar biogas, een gas dat bestaat uit ca. 45-65% methaan (CH₄) en 55-35% CO₂, met nog lage concentraties verontreinigingen. Vaak is het vergisten organisch materiaal een samenstelling van dierlijke meest met andere agrarische residuen, organisch afval of energiegewassen, maar dit kunnen ook reststoffen uit de voedings- en genotmiddelenindustrie, reststoffen uit afvalverwerking en waterzuivering zijn. Het niet-vergiste deel is het vergistingsproces, fermentaat of digestaat genoemd, kan worden gebruikt als meststof in de landbouw als de voeding van de vergister bestaat uit producten die op de zogenaamde witte lijst staan. (Senternovem, onbekend.).

In Nederland wordt (naar voorbeeld van Denemarken en Duitsland) steeds vaker gedacht aan coöperatieve vormen van co-vergisting. Door deze samenwerking is grootschalige biogasproductie van meer dan 1000 m³/u per mogelijk. Deze schaalvergroting maakt het aantrekkelijk om nadenken over inpassing van biogas in het gastransport- of distributienetwerk. Op enkele plaatsen wordt al groen gas geproduceerd en in het aardgasdistributienet ingevoerd (Senternovem, onbekend.) Een andere optie is het gas na scheiding in een regionaal netwerk stoppen en zo naar lokale gebruikers brengen. Om opwaardering mogelijk maken is het ook mogelijk om lokaal een ringleiding langs de vergisters aanleggen en op deze manier biogas bundelen, met als voordeel dat de leveringszekerheid groter wordt en door de schaalvergroting opwaarderen eerder realiseerbaar is. De keuze zit in optimalisatie van transport van voedingsstoffen voor de vergister en kosten van de ringleiding.

Biogreen Salland, een voorbeeld van natte biovergisting

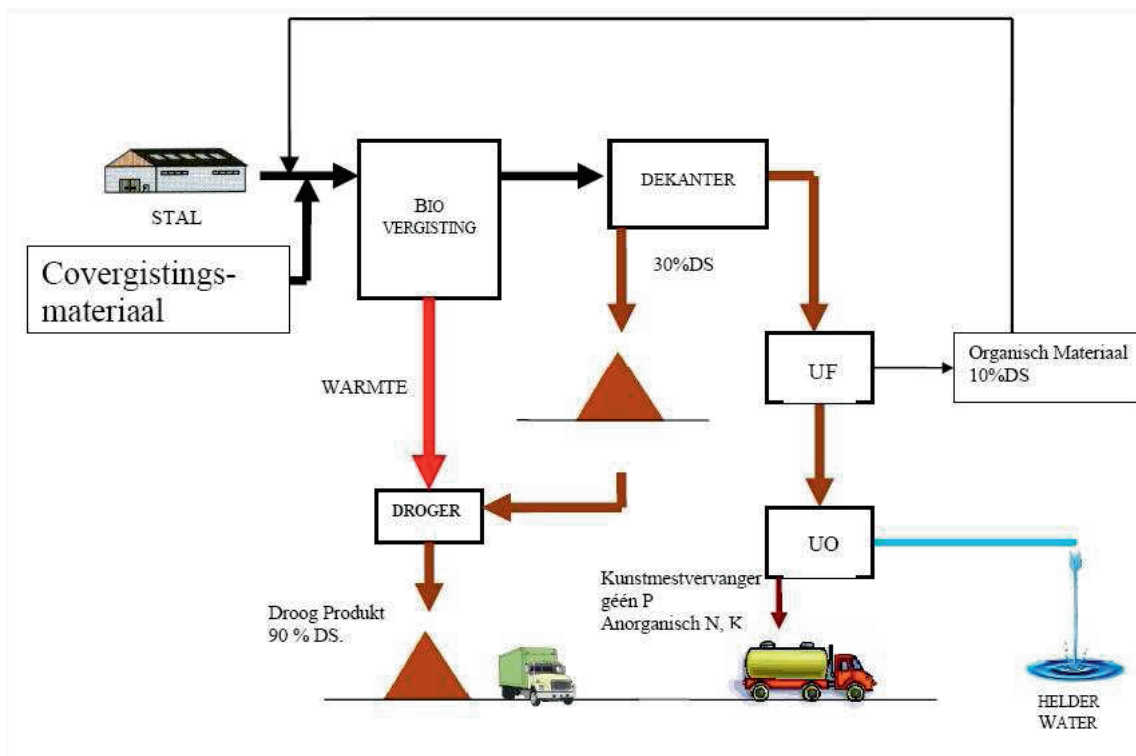
Biogreen Salland¹ is een coöperatie van ca. 50 Sallandse varkenshouders die in 2007 een vergistings+ en nabewerkingsinstallatie heeft gebouwd in Heeten (gemeente Raalte). De installatie heeft een capaciteit voor het verwerken van ca. 67.500 ton mest met covergistingsmateriaal op jaarbasis, waarmee elektriciteit en warmte worden geproduceerd. De digestaat wordt door scheiding, ultrafiltratie en omgekeerde osmose verwerkt tot een schone, waterige fractie die op het riool wordt geloosd en een aantal concentraten van verschillende samenstelling.

De covergisting+ en verwerking van Biogreen Salland is opgebouwd uit een aantal hoofdcomponenten (zie Figuur 19):

- De vergistingstallatie, bestaande uit een voorvergister (waarin mest en covergistingsmaterialen worden gemengd en met behulp van restwarmte op temperatuur worden gebracht) en 5 (hoofd/na)vergisters (grote vergistingssilo's die batch gewijs worden gevuld en gelegegd)
- De verwerkingsinstallatie, bestaande uit:
 - een decanteercentrifuge t.b.v. scheiden van de digestaat in een dikke en dunne fractie
 - een voor- en nadroger waar de dikke fractie van de mestscheiding met behulp van restwarmte uit de WKK wordt ingedroogd tot een product met 80 + 90% ds.
 - een microfiltratie- (UF) en een omgekeerde osmose (OO) installatie waarin de dunne fractie uit mestscheiding wordt bewerkt tot mineralenconcentraten (UF en OO) en tot een schoon en loosbaar effluent.

Daarnaast zijn er 3 grote opslagsilo's, elk met een capaciteit van 1400 m³, voor opslag van vloeibare producten uit de verwerkingsinstallatie en een ruime betonplaat voorzien van keerwanden voor opslag van droge covergistingsproducten. Eventueel aangevoerde stapelbare mest wordt in de afgesloten opslaghal gelost en van daaruit naar de voorvergister gevoerd. De verwerkingscapaciteit van de installatie bedraagt 67.500 ton per jaar (Bokma, et al., 2009).

1 Na faillissement in juli 2010 is de Biogreen Salland doorgestart onder de naam Biomassa Energie Central Salland BV, kortweg BMEC



Figuur 19. Processchema van de technische installatie van Biogreen Salland.

Droge biovergisting

Naast natte vergisting in silo's wordt er in Nederland ook op beperkte schaal droog vergist. Dit gebeurt door organisch materiaal in een luchtdichte ruimte, een biocel, op slaan. In de Biocel worden organische reststromen met behulp van bacteriën in een zuurstofloze omgeving (anaëroob) omgezet in biogas, warmte en compost. Dit is een batchproces, wat betekent dat het proces geheel moet worden doorlopen voordat de biocel opnieuw gebruikt kan worden. Gedurende het vergistingsproces loopt het methaan gehalte in het biogas productie op naar een hoog niveau om daarna aan het eind van het vergistingsproces weer teruglopen. De samenstelling van het biogas wisselt sterk gedurende dit proces. Aan het eind van het proces moet de biocel weer leeg gehaald worden. Het restproduct ligt dicht tegen compost aan.

Om een WKK laten draaien op het biogas zijn meerdere biocellen nodig die in proces fase verschillen. Op deze manier kan een mengsel of alleen het gas uit de cel met het hoogste methaan gehalte worden gebruikt om een voldoende rijk biogas mengsels hebben. Een voorbeeld van deze vergistingswijze is de installatie van Orgaworld in Lelystad.

Bijlage VII Overzicht biomassa vergisters

Bron o.a: <http://www3.vwa.nl/EULijst%20Dierlijke%20Bijproducten-SECTION%20VI.pdf>

Groningen

Bedrijfsnaam	Plaats	WKK kWe	kton CO ₂
A.L., M.B. en D.H. ten Havemella	Beerta		
Rwzi Garmerwolde	Garmerwolde	300	1,1
Vagron Industrial VOF	Groningen		
Jansen Wijhe	Kiel-Windeweer	1.700	6,1
VOF Prins	Lellens	102	0,4
J. Westerhof	Lutjegast	340	1,2
J. v.d. Veen	Niebert	340	1,2
Bio-Energie Benelux Kooistra	Nieuwolda	2.000	7,1
Natuurenergie Onstwedde	Onstwedde	535	1,9
Biogasinstallatie Scheemda	Scheemda	2.100	7,5
Van Oosten/Ecos	Veendam		0,0
VOF Bio-Energie Veendam	Veendam	5.500	19,6
M.P.F.T. Swinkels	Vlagtwedde	530	1,9
Aviko/Rixona	Warffum		0,0
Eissen Biogas	Gasselternijveenschemond		
Jansen Wijhe Energy	Kiel-Windeweer		
B. Schuitema en H.G. Schuitema-Nieboer	Mussel	692	2,5
Mts. Vermue-Poelma	Winsum	530	1,9

Friesland

Bedrijfsnaam	Plaats	WKK kWe	kton CO ₂
T. Altenburg Biomassa Vergisting	Aldeboarn		
Mts. Reinders	Drogeham	340	1,2
Mts. Kuiper	Easterein	700	2,5
Energiepon	Feerwerd		
Van Valkenhof VOF	Ferwert	190	0,7
Nij Bosma Zathe	Goutum	731	2,6
Fam. Zijlstra/ Melkveebedrijf Kelstein	Hallum	536	1,9
Rundveebedrijf Wierda	Burdaard	380	1,4
Mts. Brouwer en Bakker	Cornwerd		
Postma-Wijmenga	Hurdegaryp	1.210	4,3
Ubbels	Jelsum	380	1,4
S. Hietkamp	Kollumerzwaag	190	0,7
SNO Energie	Makkinga		
P.A. de Vries	Sint Nicolaasga		
Melkveebedrijf Kelstein	Hallum		
Mts. M. van Oosten	Hantumhuizen	380	1,4
Transportbedrijf de Haan	Holwerd	1.209	4,3
Wad Stroom	Holwerd		

Waterschap Fryslân	Leeuwarden	310	1,1
S. Tamminga	Leeuwarden	530	1,9
Lamb Weston Meijer VOF	Oosterbierum		0,0
SNO Vergisting BV	Ooststellingwerf	200	0,7
OMRIN Ecopark De Wierde	Oudehaske	2.200	10,7
VOF De Betronpleats Westra	Oudemirdum	530	1,9
L. de Boer	Stiens	190	0,7
Schaap Bio Energie	Tirns	700	2,5
Jorritsma	Tzummarum	1.140	4,1

Drente

Bedrijfsnaam	Plaats	WKK kWe	kton CO ₂
Akkerbouwbedrijf Kloosterman	Nieuweroord		
Prozinger Biovergisting BV	Beilen	2.000	7,1
Dankers Bio Energy	Borgercompagnie		
Kimman Energie	Coevorden		
Mts. Hartlief-Lammers	Donderen	1.020	3,6
Industriepark met waterzuiveringsinstallatie	Emmen	150	0,5
L. Mennik	Emmen		
Biovergisting 't Haantje / Gebr. Hazelaar	't Haantje	3.125	11,1
Woagen	Tweede Exloermond		
Cremerhoeve	Tynaarlo	1.131	4,0
Bouwhuis Vergisting BV	Witteveen	1.000	3,6
GAM Hilhorst	Haulerwijk	340	1,2
V.O.F. Lammertink	Hooghalen		
Remmelink Duurzame Energie	Zuidvelde		
H.J. Bosma	Zuidvelde	685	2,4

Flevoland

Bedrijfsnaam	Plaats	WKK kWe	kton CO ₂
De Torenhoeve	Biddinghuizen	300	1,1
Nieuwenhuyzen	Biddinghuizen		
Rundveebedrijf Mts. Hotsma	Biddinghuizen		1,9
Orgaworld B.V.	Lelystad	1.250	4,5
Peters BioGas /Mts. Peters	Luttelgeest	692	2,5
Den Bork Erk Energy BV	Zeewolde	700	2,5
Van Beek Kalsbeek	Zeewolde	1.000	3,6
Van Beek Kalsbeek	Zeewolde	400	1,4
Mts. Van der Knaap	Zeewolde		
Timmer	Zeewolde		
Landbouwondern. A. v.d. Knijff BV	Zeewolde		

Overijssel

Bedrijfsnaam	Plaats	WKK kWe	kton CO ₂
Bieleveld	Anerveen	2.100	0,0
VOF Bio-Energie Benelux	Anerveen		
Biovergisting Regeling	Baarlo	835	3,0
Porkwatt	Fleringen		
BMEC Salland BV	Heeten	2.100	7,5
Rwzi Regge & Dinkel	Hengelo	150	0,5
Van der Kamp	Mastenbroek	300	1,1
De Scharlebelt	Nijverdal	700	2,5
Groot Zevert Vergisting	Beltrum	450	1,6
Natuurgas Overijssel B.V.	Zwolle		

Gelderland

Bedrijfsnaam	Plaats	WKK kWe	kton CO ₂
Waterschap Veluwe	Apeldoorn	1.432	5,1
A. van de Groep en Zonen	Bunschoten Spakenburg		
Industriewater Eerbeek	Eerbeek	380	2,7
Biologisch veebedrijf Bomers	Groenlo	530	1,9
Kraanswijk Biogas	Groenlo		
Schaarse Hoeve	Bergharen		
Praktijkcentrum De Marke	Hengelo	37	0,1
Biologische Industriële Reststoffenverwerking B.V. I + II	Lichtenvoorde	640	2,3
Loonbedrijf Dekker	Putten	346	1,2
Rozendaals Rosés/Eneco	Putten	692	2,5
Visverwerker Arie van der Groep	Spakenburg		0,0
Spiraloh BV	Putten		

Utrecht

Bedrijfsnaam	Plaats	WKK kWe	kton CO ₂
-			

Limburg

Bedrijfsnaam	Plaats	WKK kWe	kton CO ₂
Boerderij Hermans	Beringe	180	0,6
VOF van den Elsen-van Gennip	Eghel		
Jos Hagens Agro	Grubbenvorst		
Ashorst BV	Horst	2.400	8,6
Biovergisting IJsselsteyn	IJsselsteyn	2.100	7,5
Hermans	Maasbree	165	
Biopower Tongeren/NPG Energy	Tongeren	2.800	10,0
GFT centrale Attero	Venlo	813	2,9
VOF van Gennip VRredepeel	Vredepeel		
Holmel BV	Heythuysen		
Ecofuels BV	Well	2.500	8,9

Noord-Brabant

Bedrijfsnaam	Plaats	WKK kWe	kton CO ₂
Besterd Hoeve	Bakel		
Duurzaam Landleven	Bernheze		0,0
Orgaworld Vergisting Elsendorp BV	Elsendorp	338	1,2
Clean Minerals Bio Energie BV	Esbeek	1.400	5,0
SDLB Bernheze	Heeswijk-Dinther		
Broekland BV	Lierop	1.100	3,9
Greenlakesystems BV	Lierop	570	2,0
P.W. & W.C. Hilhorst	Noord-Sleen		0,0
Bio Energy Maasland	Oijen	1.250	4,5
Varkensbedrijf Rijnen Oischoot BV	Oirschot		
EcoSon BV	Son	5.350	
Praktijkcentrum Sterksel	Sterksel	690	2,5
Clearnergy	Wanroij		0,0
Coöperatieve Vereniging Agrokracht Wanroij UA	Wanroij		
Mts. Aben	Wanroij	3.300	11,8
Houbensteyn	Heide		
OMR Moerdijk	Moerdijk	36.000	120,3
Landgoed De Princepeel BV	Wilbertoord	4.700	16,7

Noord-Holland

Bedrijfsnaam	Plaats	WKK kWe	kton CO ₂
Meerlanden	Aalsmeer		0,0
Orgaworld Vergistings- en Waterzuiveringsinstallatie Amsterdam	Amsterdam		
De Groene Energiecentrale	Slootdorp	700	0,0
Pronk Bio Energie	Warmenhuizen	720	2,6
Biomassacentrale Waterpark Wieringerwerf	Wieringermeer	900	3,2
Mts. Groot-Karsten	Hoogwoud	680	2,4
Sepa Biovergisting Wieringerwerf	Wieringerwerf		

Zuid-Holland

Bedrijfsnaam	Plaats	WKK kWe	kton CO ₂
Gemengd bedrijf Van Dorp	Hazerswoude-Dorp	250	0,9
Ekodorp P.O.M. Rundveebedrijf van Dorp	Alphen aan de Rijn	340	1,2

Zeeland

Bedrijfsnaam	Plaats	WKK kWe	kton CO ₂
Lamb Weston Meijer VOF	Bergen op Zoom	250	0,9
Van Alphen Transport	Axel		
Goes on Green BV	Sluiskil		
Tuinbouwcollectief Terneuzen*	Terneuzen	80.000	

* Deze initiatieven zijn in vergevorderd stadium.

Bijlage VIII Overzicht van rioolzuiveringsinstallaties met vergisting

Bron: Mulder, Arnold, 2007, Inventarisatie van omvang en kenmerken van schuimvorming in de slibgisting.

Rioolwater zuivering installatie met vergisting					
RWZI		Vergister volume	biogas productie		aandeel CO ₂ biogas 45%
		m ³	m ³ /m ³ .d	m ³ /j	kton/j
Emmen	Drenthe	7.000	0.29	2.555.000	2,2
Beilen	Drenthe	1.900	0.37	693.500	0,6
Veendam	Drenthe	1.600	0.65	584.000	0,5
Leeuwarden	Friesland	9.400	0.24	3.431.000	2,9
Burgum-Sumar	Friesland	2.000	0.20	730.000	0,6
Drachten	Friesland	1.800	0.24	657.000	0,6
Franeker	Friesland	1.650	0.43	602.250	0,5
Apeldoorn	Gelderland	9.000	0.65	3.285.000	2,8
Elburg	Gelderland	3.250	0.88	1.186.250	1,0
Raalte	Gelderland	1.520	0.48	554.800	0,5
Terwolde	Gelderland	1.300	0.49	474.500	0,4
Scheemda	Groningen	2.950	0.33	1.076.750	0,9
Maastricht-Limmel	Limburg	4.800	0.46	1.752.000	1,5
Tilburg	Noord Brabant	8.880	0.71	3.241.200	2,7
Made Dongemond	Noord Brabant	4.030	0.58	1.470.950	1,2
Waalwijk	Noord Brabant	3.200	0.28	1.168.000	1,0
Hengelo	Overijssel	12.000	0.46	4.380.000	3,7
Enschede	Overijssel	11.010	0.41	4.018.650	3,4
Goor	Overijssel	6.600	0.06	2.409.000	2,0
Harderwijk	Overijssel	4.350	0.81	1.587.750	1,3
Oldenzaal	Overijssel	3.900	0.26	1.423.500	1,2
Steenwijk	Overijssel	2.220	0.23	810.300	0,7
Meppel	Overijssel	2.000	0.30	730.000	0,6
Utrecht	Utrecht	20.000	0.55	7.300.000	6,1
Nieuwegein	Utrecht	6.000	0.52	2.190.000	1,8
Bath	Zeeland	10.860	0.48	3.963.900	3,3
Walcheren	Zeeland	7.654	0.44	2.793.710	2,4
Kappelle Willem Annapolder	Zeeland	1.600	0.79	584.000	0,5
Den Haag Houtrust	Zuid Holland	19.500	1.58	7.117.500	6,0
Rotterdam Dokhaven	Zuid Holland	17.400	0.55	6.351.000	5,3
Nederland		189.374		40.438.189	34,0

Bijlage IX Overzicht houtketels

Hieronder volgt een (onvolledig) overzicht van houtstookinstallaties in Nederland.

Bedrijfsnaam	Plaats
Houtstookinstallatie De Lange RijnPlant	De Lier
Vink Sion	Beetgum
Biomassacentrale	Marum
Sportcentrum en zwembad De Koekoek	Vaassen
Houtenergiecentrale	Beemsterzwaag
Lutkepost	Achtkarspelen
Stam en Landman BV,	Heerhugowaard
EPON – Centrale Gelderland	Nijmegen
MZV	Oss
Varkensbedrijf Fam. Beerens	Nederweert Eind
Pallethandel Spruyt	Middelburg
Eclair-E Energie NV / Aldel	Delfzijl
NRE Energie verwarmen woonwijk	Eindhoven
Sport Zorgcentrum 'Het Ravijn' zwembad	Nijverdal
?	Delfzijl
Ecos Energy	Coevorden
Bio Energiecentrale Sittard	Sittard

Bijlage X Overzicht afvalverbrandingsinstallaties

Het agentschap Nederland geeft het volgende overzicht van afvalverbrandingsinstallaties (Agentschap NL 2010):

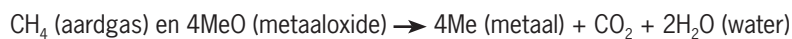
Provincie	Installatie	Hoeveelheid verbrand afval (kton)				
		2005	2006	2007	2008	2009
Groningen	E.ON Energy From Waste Delfzijl BV					
Drenthe	Attero Noord BV GAVI Wijster	550	547	594	625	609
Overijssel	Twence Afval en energie	311	289	293	282	493
Gelderland	ARN B.V.	264	257	244	273	268
	AVR Afvalverwerking BV	338	346	379	354	361
Noord-Holland	HVC afvalcentrale locatie Alkmaar	679	666	681	662	682
	Afval Energie Bedrijf A'dam	905	948	1.118	1.309	1.284
Zuid-Holland	HVC afvalcentrale locatie Dordrecht	203	196	203	196	189
	AVR Afvalverwerking Rotterdam	374	387	384	384	355
	AVR Afvalverwerking Rijnmond	1.164	1.172	1.174	1.195	1.168
	ZAVIN CV	8	8	7	7	8
Noord-Brabant	SITA ReEnergy	51	55	59	57	57
	AZN	656	671	652	709	859
Nederland		5.502	5.542	5.788	6.053	6.333

Bijlage XI Verbrandingsprocessen bij HotCO₂

Bij HotCO₂ is de productie van warmte en CO₂ losgekoppeld. Wanneer warmte nodig is, kan dit worden geproduceerd zonder CO₂ produceren en andersom. De CO₂ is zelfs direct bruikbaar in de kas, zonder zuivering. Door de lage verbrandingstemperatuur bij dit proces wordt namelijk geen NO_x gevormd. Doordat het verbrandingsproces laag is, wordt onvolledige verbranding voorkomen, waardoor geen CO en etheen ontstaan.

Het ontkoppelde verbrandingsproces

Het HotCO₂ proces is gebaseerd op "Chemical Looping Combustion" (CLC). Het is een manier om brandstof te verbranden in 2 stappen. Een vast materiaal (metaal) wordt gebruikt als intermediair tussen de 2 stappen. De eerste stap bestaat uit het reduceren van metaaloxide, de reductiereactie:



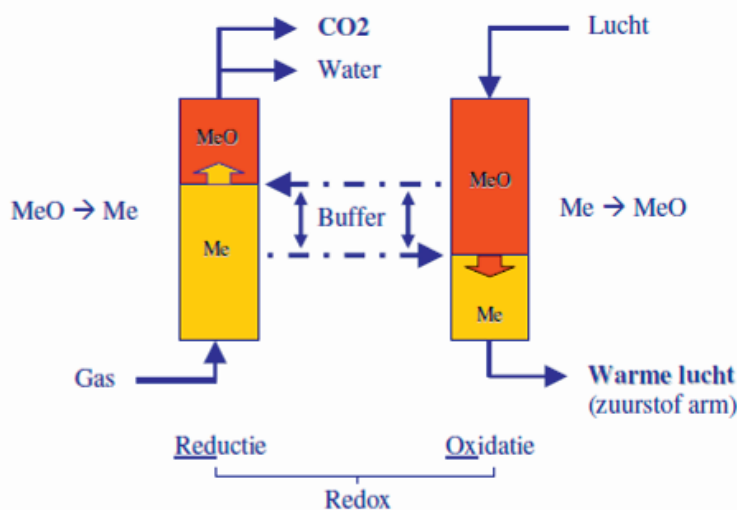
Het gebruikte metaal is een zogenaamd overgangsmateriaal: een metaal dat relatief eenvoudig van oxidatietoestand kan wijzigen. Voorbeelden zijn NiO/Ni, MoO₄/MoO₂ en Fe₂O₃/Fe₃O₄.

De uitgaande gasstroom kan eenvoudig door condensatie van water worden ontdaan, zodat zuivere CO₂ beschikbaar komt.

Stap 2 van het proces bestaat uit het oxideren (verbranden) van het metaal. Hierbij wordt metaaloxide gevormd, waardoor het materiaal weer gebruikt kan worden voor de eerste stap, de reductie van metaal. Tijdens het verbranden wordt lucht (een mengsel van stikstof en zuurstof), langs het materiaal geleid. Zuurstof uit de lucht reageert met het metaal, terwijl stikstof, dat inert is, niet reageert met het metaal en daardoor vrij door het metaalbed kan bewegen. De oxidatiereactie is als volgt:



Tijdens de oxidatiereactie komt warmte vrij. Het hele proces is schematisch weergegeven in onderstaande figuur:



Bijlage XII Profiel van wereldwijde grote CO₂ bronnen,

Profiel van wereldwijde CO₂ bronnen met een emissie groter dan 0,1 Mt CO₂ per jaar (Bron: IPCC, 2005)

Process	CO ₂ concentratie in gas stroom (% van volume)	Aantal bronnen	Emissies (Mt CO ₂)	% van totale CO ₂ emissie	Cumulatieve totale CO ₂ emissies (%)	Gemiddelde emissie/bron (Mt CO ₂)
CO ₂ van fossiele brandstoffen of mineralen						
Centrales						
Kolen	12-15	2.025	7.984	56,69	56,69	3,94
Aardgas	3	985	759	5,68	65,37	0,77
Aardgas	7-10	743	752	5,62	70,99	1,01
Stookolie	8	515	654	4,89	75,88	1,27
Stookolie	3	593	326	2,43	78,31	0,55
Overige brandstoffen ^a	NA	79	61	0,45	78,77	0,77
Waterstof	NA	2	3	0,02	78,79	1,27
Aardgas zuivering (Natural gas sweetening)						
	NA ^b	NA	50 ^c	0,37	79,16	
Cementproductie						
gecombineerd	20	1175	932	6,97	86,13	0,79
Raffinaderijen	3-13	638	798	5,97	92,09	1,25
IJzer en staalindustrie						
Geïntegreerde staal walsen	15	180	630 ^d	4,71	96,81	3,50
Overige processen	NA	89	16	0,12	96,92	0,17
Petrochemische industrie						
Ethyleen	12	240	258	1,93	98,85	1,08
Ammoniak: proces	100	194	113	0,84	99,70	0,58
Ammoniak: brandstof	8	19	5	0,04	99,73	0,26
Ethyleenoxide	100	17	3	0,02	99,75	0,15
Overige bronnen						
Niet gespecificeerd	NA	90	33	0,25	100,00	0,37
		7.584	13.375	100		1,76
CO ₂ uit biomassa ^e						
Bio energie	3-8	213	73			0,34
Fermentatie	100	90	17,6			0,2

a Overige gassoorten, olies, vergistingsgas, stortplaatsgas

b Een relatief klein deel van deze bronnen heeft een hoge concentratie van CO₂. In Canada hebben slechts twee fabrieken van de in totaal 24 een hoge CO₂ concentratie.

c Gebaseerd op een schatting dat ongeveer de helft van de jaarlijkse wereldwijde natuurlijke gas productie CO₂ bevat met een concentratie van ongeveer 4% mol en dat deze CO₂ inhoud normaal gesproken wordt gereduceerd tot 2% mol.

d Deze hoeveelheid komt overeen met de emissie van de afzonderlijke bronnen zoals die in de referentie database zijn gevonden. De wereldwijde CO₂ emissie, geschat met een top-down benadering, is groter dan deze hoeveelheid and overschrijdt 1 Gt

e Voor Noord-Amerika en Brazilië alleen. Alle aantallen gelden voor 2003, uitgezonderd van krachtcentrales op biomassa en afval in Noord-Amerika (welke geldt voor 2000).

Eigenschappen van potentiële gasstromen die kunnen worden gebruikt in een CO₂ opslag proces (Bron: IPCC, 2005)

Bron	CO ₂ concentratie % van volume (droog)	Druk van de gasstroom MPa ^a	CO ₂ partiële druk MPa
CO ₂ van brandstofcombustion			
Kracht centrale rookgas:			
Aardgas gestookte ketels	7-10	0,1	0,007-0,010
Gas turbines	3-4	0,1	0,003-0,004
Olie gestookte ketels	11-13	0,1	0,011-0,013
Kolen gestookte centrales	12-14	0,1	0,012-0,014
IGCC ^b : na combustion	12-14	0,1	0,012-0,014
Heaters op olieraffinaderijen en petrochemische fabrieken	8	0,1	0,008
CO ₂ van chemische transformaties en brandstof combustion			
Hoogovengas:			
Voor combustion ^c	20	0,2-0,3	0,040-0,060
Na combustion	27	0,1	0,27
Cement oven off-gas	14-33	0,1	0,014-0,033
CO ₂ van chemische transformaties voor combustion			
IGCC: syngas na vergassing	8-20	2-7	0,16-1,4

a 0,1 MPa = 1 bar

b IGCC: Integrated gasification combined cycle, dit is de technologie waarbij van kolen syngas wordt geproduceerd.

c hoogovengas bevat ook een significante hoeveelheid koolstofmonoxide dat kan worden omgezet in CO₂

Bijlage XIII Samenvatting bronneninventarisatie KEMA

Bronnen	Criteria						
	hoeveelheid	beschikbaar	locatie	status	CO ₂ -conc	[NO _x] ppm	special
1 Energieproductie grootschalig fossiel							
1.1 Kolengestookte eenheden							
1.1.1 rookgas (as it is)	heel hoog	vrijwel perm.	gebonden	bestaand	10-15%	38 ppm	Stof, SO _x
1.1.2 incl biomassa bij/mee-stoken	hoog	vrijwel perm.	gebonden	bestaand	10-15%	60 ppm	Stof, SO _x
1.1.3 incl advanced rookgasreiniging	hoog	vrijwel perm.	gebonden	bestaand	10-15%	-	-
1.1.4 CO ₂ afscheiding	hoog	vrijwel perm.	zeer beperkt	toekomst	>95%		?
1.2 Gasgestookte eenheden							
1.2.1 STEG rookgas (as it is)	hoog	vaak	algemener	bestaand	3.50%	25 ppm	Geen stof
1.2.2 Combi rookgas (as it is)	hoog	vaak	algemener	bestaand	8%	25 ppm	Stof, SO _x
1.2.3 CO ₂ afscheiding	hoog	vaak	zeer beperkt	Ver toekomst	>95%		?
Ter vergelijik:							
Kleine WKK zonder reiniging	op maat	vaak	bij GTB	bestaand	6-7%	150-300	
Kleine WKK met "Codinox"	op maat	vaak	bij GTB	bestaand	6-7%	20-60	
Gasketel zonder reiniging, wel low-NO _x brander	op maat	vaak	bij GTB	bestaand	8%	20-40	
2 Licht industrie duurzaam							
2.1 verbrandingsproces voor E-opwekking	hoog	wisselt	algemeen	bestaand	<10%		
2.2 NH ₃ en Kunstmest productie	hoog	vrijwel perm.	gebonden	bestaand	hoog		
2.3 ethanol fabriek	hoog	vrijwel perm.	gebonden	Bestaand+	hoog ??		
2.4 cement fabriek	hoog	vaak	gebonden	bestaand	20%	400-700	SO _x , Stof
2.5 OCAP-initiatief Shell bron	hoog	Buffer in pijp	transport	bestaand	+/-100%		
2.6 ROCA3	hoog	vaak	transport	bestaand	verrijkt		
2.7 Yara Sluiskil	hoog	gebufferd	gebonden	toekomst	>95%		
2.8 Vink Sion / Host	op maat	volgend	nabij	bestaand	>95%		?

Bronnen	Criteria						
	hoeveelheid	beschikbaar	locatie	status	CO ₂ -conc	[NO _x] ppm	special
3 Biomassa							
3.1 Vergisten Biomassa							
3.1.1 Stortplaats stortgas	minder	minder	gebonden	geweest	Hoog?		
3.1.2 RWZI / AWZI	hoog	vrijwel perm.	gebonden	bestaand	Hoog?		
3.1.3 Co-Vergisting	flexibel	vrijwel perm.	flexibel	bestaand	hoog?		
3.1.4 Overig GFT/organisch afval	flexibel	vrijwel perm.	flexibel	bestaand	hoog?		
3.2 Verbranden Biomassa							
3.2.1 Afvalverbranding	hoog	vrijwel perm.	gebonden	bestaand	9-14%	30 ppm	
3.2.2 Bij/Mee-Stoken in kolencentrale	hoog	vrijwel perm.	gebonden	bestaand	10-15%	60 ppm	Stof, SO _x
3.2.3 Bio-Olie (dieselmotor of ketel)	flexibel	volgend	kan goed	bestaand	8-10%	14-800	
3.2.4 Stand-alone verbranding (100% biomassa)	flexibel	volgend	kan goed	bestaand	16%	reiniging	Stof, SO _x
3.2.5 Afvalhout	hoog	vrijwel perm.	gebonden	bestaand	laag	reiniging	Zw. metal
3.2.6 Pluimveemest	hoog	vrijwel perm	gebonden	bestaand	laag	reiniging	
3.3. Composteren Biomassa							
3.3.1 Organisch materiaal gas	flexibel	Bufferoptie?	flexibel	toekomst			

Bijlage XIV Definities en beschrijving van verschillende typen gas

Definities van verschillende typen gas

Type gas	Beschrijving
Aardgas	- gewonnen uit aardgasvelden, bevat voornamelijk CH ₄ - samenstelling verschilt, Gasunie zorgt voor constante kwaliteit
Biogas	- geproduceerd door vergisting, bevat voornamelijk CH ₄ and CO ₂
Stortgas	- product van stortplaatsen, samenstelling vergelijkbaar met biogas
SNG	- "Synthetic Natural Gas", bevat voornamelijk CH ₄ geproduceerd via vergassing gevolgd door methanisering voornaamste oorsprong: kolen en biomassa
SNG	- soms wordt de term SNG gebruikt als afkorting voor: Substitute Natural Gas; de betekenis is breder dan hiervoor omschreven, hiermee wordt alle gas bedoeld waarmee fossiel aardgas kan worden vervangen. Dit gas kan dus afkomstig zijn uit vergisting of vergassing.
Bio-SNG	- SNG uit biomassa
Groen Gas	- verzamelterm voor opgewerkte bio-SNG als opgewerkt biogas of stortgas geschikt en op specificatie voor inzet als aardgasvervanger
Syngas	- synthese gas: H ₂ en CO (en CO ₂ en H ₂ O) van fossiele herkomst - geproduceerd via vergassing of reforming van kolen, olieresiduen of aardgas
Biosyngas	- biomassa oorsprong; chemisch gelijk aan syngas geproduceerd via hoge-temperatuur (>1200°C) of katalytische vergassing
Productgas	- geproduceerd via hoge-temperatuur (<1000°C) vergassing - bevat H ₂ , CO, CH ₄ , C _x H _y incl. teer (en CO ₂ en H ₂ O)

Eenheden voor gas

Eenheden:

1 kWh: 3,6 MJ

1 nm³: 1 a.e. = 35,17 MJ

1 MJ: 10⁶ J

1 GJ: 10⁹ J

1 PJ: 10¹⁵ J

SNG (Synthetic Natural Gas)

SNG (Synthetic Natural Gas) is gas geproduceerd via vergassing en katalytische omzetting van het vergassingsgas in methaan. Na opwerking heeft SNG dezelfde specificaties als het Groningen aardgas en kan het in het HTL net worden geïnjecteerd. SNG kan met circa 70% rendement worden gemaakt uit biomassa.

D.1 SNG-productie SNG wordt geproduceerd door biomassa via vergassing omzetten in een methaanrijk productgas en na reinigen het CO en H₂ in het gas omzetten naar CH₄. Het ruwe SNG moet dan nog worden opgewerkt naar Groen Gas door CO₂ en water verwijderen. Het systeem is in Figuur 3 schematisch weergegeven.

