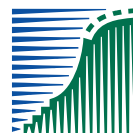


50863595-TOS/ECC 09-5246

## **Inventarisatie beschikbaarheid en kwaliteit CO<sub>2</sub>-stromen voor de glastuinbouw**

Arnhem, 12 maart 2009

Auteur J.J. de Wolff  
KEMA Technical & Operational Services



**landbouw, natuur en  
voedselkwaliteit**

In opdracht van het Productschap Tuinbouw en het Ministerie van LNV

---

auteur : J.J. de Wolff	09-03-	beoordeeld : R.J. van Eijk	09-03
B 45 blz. - bijl. MvD		goedgekeurd : F.H. Schulze	09-03



© KEMA Nederland B.V., Arnhem, Nederland. Alle rechten voorbehouden.

Het is verboden om dit document op enige manier te wijzigen, het opsplitsen in delen daarbij inbegrepen. In geval van afwijkingen tussen een elektronische versie (bijv. een PDF bestand) en de originele door KEMA verstrekte papieren versie, prevaleert laatstgenoemde.

KEMA Nederland B.V. en/of de met haar gelieerde maatschappijen zijn niet aansprakelijk voor enige directe, indirecte, toekomstige of gevolgschade ontstaan door of bij het gebruik van de informatie of gegevens uit dit document, of door de onmogelijkheid die informatie of gegevens te gebruiken.

De inhoud van dit rapport mag slechts als één geheel aan derden kenbaar worden gemaakt, voorzien van bovengenoemde aanduidingen met betrekking tot auteursrechten, aansprakelijkheid, aanpassingen en rechtsgeldigheid.

## INHOUD

	blz.
SAMENVATTING .....	4
AFKORTINGEN EN SYMBOLEN .....	5
1 Inleiding .....	6
1.1 Introductie .....	6
2 CO <sub>2</sub> -dosering, emissiehandel en duurzaamheid .....	9
2.1 Handel in CO <sub>2</sub> en CO <sub>2</sub> -emissierechten, vermeden uitgaven of inkomsten? .....	9
2.2 Duurzaamheidscriteria of "Groengehalte" van CO <sub>2</sub> -dosering .....	11
3 Inventarisatie van bronnen .....	12
3.1 Introductie: categorieën en criteria .....	12
3.2 Grootschalige energieproductie .....	13
3.2.1 CO <sub>2</sub> -afvangst bij E-productie .....	18
3.3 (Duurzame) lichte industrie .....	20
3.4 Biomassa .....	23
3.4.1 A Vergisten van biomassa .....	24
3.4.2 B Verbranden van biomassa .....	25
3.4.3 C Composteren .....	26
3.5 Bevindingen uit inventarisatie .....	30
4 Kwaliteit van CO <sub>2</sub> -stromen .....	31
4.1 E-productie grootschalig .....	31
4.1.1 De kwaliteit van afgevangen CO <sub>2</sub> .....	32
4.2 (Duurzame) lichte industrie .....	34
4.3 Biomassa .....	34
4.4 Toepassing als CO <sub>2</sub> -dosering .....	35
5 CO <sub>2</sub> -stroomreiniging .....	39
6 Conclusies, discussie en aanbevelingen .....	41
REFERENTIES .....	45

## **SAMENVATTING**

Dit rapport beschrijft de resultaten van een inventarisatie naar beschikbaarheid en kwaliteit van CO<sub>2</sub>-stromen voor dosering in de glastuinbouw. Binnen de sector is vraag naar alternatieven voor de nu gangbare CO<sub>2</sub> uit de eigen gasketels en WKK-installaties. Deze vraag komt voort uit de permanente interesse voor innovaties en efficiënte, waar mogelijk duurzame productiemethodes. Ook de trend naar half en geheel gesloten kasconcepten vraagt om aangepaste CO<sub>2</sub>-dosering.

Inventarisatie binnen de drie sectoren grootschalige energieproductie, (duurzame) lichte industrie en biomassa, maakt duidelijk dat er qua hoeveelheid en locatie beslist bronnen in de nabijheid van GTB's beschikbaar zijn en/of komen. Vanwege de schaalgrootte is het de vraag of enkele glastuinbouwbedrijven een interessante partner vormen voor alle sectoren. Op basis van biomassa zijn duurzame CO<sub>2</sub>-stromen met redelijke flexibiliteit op de gewenste locatie "op maat" te produceren. Door de landelijke herkomst van de biomassa vormt een CO-vergistingsinstallatie een goede match met menig glastuinbouwbedrijf. Om de CO<sub>2</sub>-bronnen beschikbaar te krijgen (en/of te houden?) zal de sector wel een actieve rol moeten spelen. Afname van een CO<sub>2</sub>-stroom die onder het EU-ETS valt zal zeker ETS-consequenties voor de tuinder hebben. In het geval dat de herkomst van de CO<sub>2</sub> volledig duurzaam is, dan is ook de CO<sub>2</sub>-dosering volledig duurzaam.

De kwaliteitsbepaling voor CO<sub>2</sub>-doserestromen is zelfs voor de afzonderlijke componenten lastig en kent een aantal onbekende factoren zoals bijvoorbeeld gecombineerde effecten. Op basis van de recent aangescherpte effectgrenswaarden volgen scherpe eisen voor de maximale rookgasconcentraties, zeker in combinatie met de trend naar gereduceerde ventilatie gedurende de teelt. Het lijkt goed mogelijk om met de inzet van geavanceerde gasreiningstechnieken ook aan de scherpe eisen te voldoen, zeker op termijn na enig ontwikkelingswerk. Veel zal daarbij afhangen van welke stromen blijvend beschikbaar komen voor de glastuinbouw. De economie van de verschillende complete systemen, inclusief logistiek zal hierin mede bepalend zijn voor de keuze.

## AFKORTINGEN EN SYMBOLEN

AVI	AfvalVerbrandingsInstallatie
BEES	Besluiten Emissie-Eisen Stookinstallaties
BVA	Besluit Verbranden Afvalstoffen
ETS	Emission Trading Scheme
EU-ETS	European Union - Emission Trading Scheme
GTB	GlasTuinbouwBedrijf
kWh	kilowattuur, eenheid voor energie
MEP	Milieukwaliteit Elektriciteitsproductie, (oude) Nederlandse subsidie regeling
MW	Megawatt, of $10^6$ Watt, de Watt is de eenheid voor vermogen
MWe	Megawatt-elektrisch, het elektrisch vermogen van een installatie, hetgeen te onderscheiden is van MWw, het thermisch vermogen van een installatie
PAK's	Poly-cyclische aromatische koolwaterstoffen
PPB	Parts per billion, "delen per miljard", concentratieaanduiding
PPM	Parts per million, "delen per miljoen", concentratieaanduiding, een ppm komt overeen met eentienduizendste procent en 1000 ppb
PT	Productschap Tuinbouw
SDE	Stimulering Duurzame Energieproductie, regeling van Nederlandse Overheid
WKK	Warmte Kracht Koppeling, simultane opwekking van warmte en kracht waarmee hogere efficiency kan worden verkregen

## 1 INLEIDING

Dit rapport beschrijft de resultaten van een verkennend onderzoek naar de beschikbaarheid van CO<sub>2</sub>-stromen geschikt voor kasdosering in de glastuinbouw. De projectmotivatie komt voort uit de vraag binnen de sector naar alternatieven voor de nu gangbare CO<sub>2</sub> uit eigen gasketels en WKK-installaties. Deze vraag is mede ingegeven door de permanente sectorwens om door middel van innovaties steeds efficiënter en waar mogelijk duurzamer te produceren. Deze "vergroening" draagt positief bij aan het imago van de glastuinbouwsector.

Het project is uitgevoerd in opdracht van het Productschap Tuinbouw en het Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit in het kader van het programma "Kas als Energiebron". Vanuit de opdrachtgevers is het project begeleid door respectievelijk de heren Medema en Oprel, met dank voor de prettige samenwerking en de stimulerende suggesties en aanbevelingen. Verder heeft een open discussie met de heren Dueck en Van Dijk van Wageningen UR Glastuinbouw waardevolle inhoudelijke input geleverd aan dit "brongeorichte" project. Tenslotte, heeft ook een aantal KEMA-collega's bijgedragen aan de uitvoering van dit project. Een woord van dank gaat daarom uit naar mijn collega's Ronald van Eijk, Bennie Stortelder, Jacques de Ruijter, Edward Pfeiffer, Christiaan Sonderen en Jan Middelkamp.

### 1.1 Introductie

Binnen de glastuinbouw vormt CO<sub>2</sub> een primaire behoefte voor groei van gewas. "CO<sub>2</sub>-bemesting" wordt ingezet ter stimulering van de fotosynthese: de omzetting van CO<sub>2</sub> en water naar suikers (C<sub>x</sub>H<sub>y</sub>O<sub>z</sub>) en O<sub>2</sub> onder invloed van energie uit licht. Deze fotosynthese vormt de basis voor de groei van de plant en daarmee de productie in de kas. Als de tuinder geen maatregelen zou nemen, dan kan er bij een situatie met veel licht in de kas een CO<sub>2</sub>-concentratie lager dan de CO<sub>2</sub>-concentratie in de buitenlucht ontstaan (370-380 ppm). Deze verlaagde CO<sub>2</sub>-concentratie zou de groei serieus kunnen remmen, hetgeen kan worden tegengegaan door middel van CO<sub>2</sub>-dosering. Bij hogere CO<sub>2</sub>-concentraties in de kas dan in de buitenlucht wordt de groei juist gestimuleerd. Daarom wordt er in de kas CO<sub>2</sub> gedoseerd tot soms wel 1000 ppm en hoger. Boven de 1000 ppm vlakt de groeicurve af zodat er een verminderde meeropbrengst optreedt, dosering tot 800 ppm is algemeen gangbaar.

CO<sub>2</sub>-dosering is reeds sinds lang een gangbare praktijk in de glastuinbouw, de CO<sub>2</sub>-rijke afgassen van gasketels werden direct in de kas geleid om groei te stimuleren. Op deze veelgebruikte werkwijze is het niet geheel op waarheid berustende beeld gebaseerd van gasverbranding met de ramen open op warme dagen.

Met de gestegen energieprijzen is naast, of in de plaats van de gasketel, de WKK-installatie in beeld gekomen als gasgestookte bron van warmte, kracht (in de regel in de vorm van elektriciteit) en ook CO<sub>2</sub>-houdende rookgassen. In combinatie met een goed gedimensioneerde warmtebuffer beschikt de tuinder daarmee over een installatie waarmee hij efficiënt en flexibel kan inspelen op de behoeftes in zijn kassen (licht, warmte en/of CO<sub>2</sub>) en de actuele waardering op de markt (electriciteit). Echter, aangezien het explosieve verbrandingsproces in de WKK-gasmotor anders verloopt dan de meer "stationaire of continue" verbranding in de gasketel zijn de WKK-rookgassen niet zonder meer te gebruiken voor CO<sub>2</sub>-dosering in de kas. Slechts na katalytische gasreiniging in combinatie met ammoniakdosering (vaak in de vorm van ureum-(oplossing)) is het gas voor gebruik in de kas geschikt.

CO<sub>2</sub>-dosering uit WKK-installaties is inmiddels ook redelijk algemeen. Toch is er een viertal redenen om naar aanvullende of alternatieve CO<sub>2</sub>-bronnen om te zien:

- 1 als innovatieve sector is de glastuinbouw voortdurend op zoek naar wegen om de productie efficiënter en duurzamer te maken. Deze "vergroeningsslag" is te ontdekken in meerdere facetten van de glastuinbouw, waaronder ook de CO<sub>2</sub>-dosering
- 2 gelijk als bij CO<sub>2</sub>-dosering uit gasketels loopt de vraag naar CO<sub>2</sub> niet altijd gelijk met de vraag naar warmte en/of kracht. Zelfs bij een aanzienlijke warmtebuffercapaciteit komt het voor dat er elektriciteitsvraag is (of hoge verkoopprijzen op de markt!), zonder dat er behoefte is aan CO<sub>2</sub> of warmte. Omgekeerd komt het eveneens voor dat er een CO<sub>2</sub> behoefte is, zonder gelijktijdige vraag naar warmte en/of goede tarieven op de stroommarkt
- 3 hoewel rookgasreiniging achter de WKK inmiddels als degelijk regulier product op de markt verkrijgbaar is, zijn er toch enkele kanttekeningen bij te maken: Er zijn helaas verhalen bekend rond incidenten waarbij door technische onvolkomenheden of storingen gewasschade is ontstaan door schadelijke componenten in de kas. Daarnaast leeft er onder tuinders het beeld dat WKK-CO<sub>2</sub> zelfs na rookgasreiniging toch niet het florerende gewas geeft zoals men dat kende uit het "pre-WKK"-tijdperk. Dit beeld dat zich gevormd heeft, kan niet hard onderbouwd worden met een wetenschappelijke waarneming of een sluitende verklaring uit geïdentificeerde schadelijke componenten, maar is te algemeen om als fabel af te doen. Zie bijvoorbeeld het artikel "Geen vertrouwen meer in CO<sub>2</sub> uit eigen WKK" [Kamminga, 2007] of een recent WUR rapport [Dueck, 2008]

- 4 met de komst van de half en zelfs geheel gesloten kasconcepten is in de kassen de ventilatiepraktijk veranderd. Dit maakt dat er minder CO<sub>2</sub> gedoseerd hoeft te worden om toch een verhoogde concentratie te behouden. Deze positieve ontwikkeling brengt echter als nadeel met zich mee dat ook de concentraties van mogelijk schadelijke rookgascomponenten kunnen oplopen in de kas. De nieuwe kasconcepten vragen dus om zuiverder CO<sub>2</sub> in hogere concentraties.

De voorgenomen aanpak was om te starten met een degelijke inventarisatie van de mogelijk beschikbare stromen binnen een drietal sectoren. Deze sectoren waren achtereenvolgens: grootschalige energieproductiebedrijven, (duurzame) lichte industrie en als laatste biomassa. Na de inventarisatie volgde de kwaliteitsbepaling die is uitgevoerd door de samenstellingen van de geïnteriseerde (rook)-gasstromen te vergelijken met bestaande effect-grenswaarden. In aanvulling hierop is gekeken welke gasreinigingstechnieken beschikbaar en bruikbaar zijn om de gasstromen alsnog geschikt te maken. Naast deze stapsgewijze aanpak is er nog nagegaan wat de mogelijke interactie van "externe" CO<sub>2</sub>-levering met de CO<sub>2</sub>-emissiehandel is en wat de duurzaamheidcriteria voor CO<sub>2</sub>-dosering zijn. Het project is grotendeels uitgevoerd zoals voorgenomen. De verschillende stappen in het project zijn beschreven in afzonderlijke hoofdstukken in het rapport.



## 2 CO<sub>2</sub>-DOSERING, EMISSIEHANDEL EN DUURZAAMHEID

### 2.1 Handel in CO<sub>2</sub> en CO<sub>2</sub>-emissierechten, vermeden uitgaven of inkomsten?

Op zoek naar mogelijke CO<sub>2</sub>-bronnen voor CO<sub>2</sub>-dosering in de kas valt het oog natuurlijk snel op de diverse industriële installaties. De hoeveelheden CO<sub>2</sub> die worden uitgestoten, zijn ruim groter dan de behoeftes in de glastuinbouw. Of de uitgestoten CO<sub>2</sub> qua samenstelling ook bruikbaar (te maken) is voor de sector wordt elders in dit rapport uitgezocht. Hier is de vraag onder welke omstandigheden het voor de industriële emitter (of producent) interessant is om CO<sub>2</sub> voor tuinbouwtoepassingen beschikbaar te stellen.

Industriële CO<sub>2</sub>-emissies vallen grotendeels onder het Emission Trading System (EU-ETS) zoals dat sinds 2005 in Europa in werking is. Hierin wordt (vooralsnog) onderscheid gemaakt naar de energiegerelateerde verbrandingsemissies en de niet-energie gerelateerde procesemissies. De CO<sub>2</sub>-emissies als resultaat van verbranding van fossiele brandstoffen voor energieopwekking en een deel van de industriële procesemissies worden volgens een formeel systeem nauwgezet gemonitord. Per kalenderjaar moet voor de gerapporteerde hoeveelheid uitgestoten CO<sub>2</sub> een gelijke hoeveelheid emissierechten worden overlegd. In de huidige handelsperiode (2008-2012) ontvangen de emitters de benodigde emissierechten voor het grootste deel nog voor niets volgens de zogenaamde allocatie (of toewijzing). Voor de komende handelsperiode is er sprake dat deze emissierechten deels geveild gaan worden, hoewel een aantal industriële productiesectoren hiervan wellicht gevrijwaard worden vanwege mondiale concurrentie-overwegingen (het "level playing field").

In het geval dat een deelnemer aan het EU-ETS een hoeveelheid CO<sub>2</sub> niet uitstoot maar op andere wijze "kwijt" raakt (en wel zodanig dat deze hoeveelheid inderdaad niet in zijn emissieverslag verschijnt), "verdient" deze deelnemer de waarde van een overeenkomstig emissierecht. Belangrijk hierbij is dat het bij deze verdiensten ofwel om harde inkomsten gaat (wanneer de deelnemer deze emissierechten gekregen heeft en deze op de markt kan verhandelen), ofwel om vermeden uitgaven (wanneer de deelnemer deze emissierechten anders had moeten aanschaffen). Een actuele mogelijkheid om de emissie te reduceren is bijvoorbeeld CO<sub>2</sub>-afvangst en -opslag (of Carbon Capture & Storage, CCS), waarvoor de kosten opgebracht moeten worden uit de vermeden emissies. Dit moet formeel nog mogelijk gemaakt worden door middel van een toevoeging aan het EU-emissiehandelsysteem, een wijziging die is voorgesteld door de EC en naar verwachting eind 2008, begin 2009 door het Europese Parlement geratificeerd zal worden.

Bij het transport en de levering van CO<sub>2</sub> van een ETS-deelnemer naar de tuinbouwsector zijn er twee mogelijkheden:

- 1 het transport van de geleverde CO<sub>2</sub> blijft buiten het kader van de emissie monitoring (voor de buitenwereld blijft de deelnemer lozen) en de deelnemer (bron) krijgt van de ontvangende tuinder een vergoeding voor de CO<sub>2</sub>-levering waarin de waarde van een emissierecht is opgenomen (na onderhandeling wellicht gecorrigeerd voor de kosten die anders met transport en opslag gepaard zouden gaan)
- 2 de geleverde CO<sub>2</sub> wordt strak bemeten en in mindering gebracht op de veelal berekende emissie van de deelnemer (bron). De ontvangende partij neemt de emissie over en zal hierover een jaarlijkse afrekening uitvoeren. Voor deze optie is geen aanpassing van het handelsstelsel nodig daar de zogenaamde "overdracht" reeds onderdeel van een monitoringplan kan vormen. De ontvangende partij moet uiteraard wel (gaan) deelnemen aan het EU-ETS door een emissierekening te openen waarop de emissierechten worden bijgehouden ter compensatie van de geregistreerde emissie. De waarde van de levering voor de bron is hier in ieder geval de vermeden emissie, zodat de vergoeding die de ontvangende tuinder aan de bron betaalt evenredig lager kan zijn, mogelijk zelfs negatief.

In het geval dat de CO<sub>2</sub>-stroom van de bron niet onder het emissiehandelsstelsel valt (bijvoorbeeld omdat het een procesgerelateerde emissie of een niet-fossiele emissie betreft), zijn er voor de ontvangende tuinder geen ETS-consequenties verbonden aan de levering.

Voor de ontvangende tuinder is CO<sub>2</sub>-inkopen interessant omdat deze voor CO<sub>2</sub>-dosering niet zelf de CO<sub>2</sub> hoeft te produceren. Doorgaans wordt deze CO<sub>2</sub> geproduceerd door het stoken van de gasketel of WKK-installatie, zelfs in periodes dat er geen warmte- en/of krachtvraag is. Ook hier bestaan de inkomsten uit vermeden uitgaven voor het niet verstoekte gas. Het kwaliteitsverschil tussen de extern geleverde CO<sub>2</sub> en de CO<sub>2</sub> uit eigen installatie kan eveneens een reden zijn om te kiezen voor beschikbare externe CO<sub>2</sub>.

Een interessante vraag die opkomt rond deze ETS-materie is de vraag welke fractie van de gedoseerde CO<sub>2</sub> wordt opgenomen door het gewas en welke fractie van de gedoseerde CO<sub>2</sub> uiteindelijk wordt geventileerd. Immers bij de geventileerde fractie gaat het slechts om een uitgestelde emissie maar de opgenomen fractie betreft een CO<sub>2</sub>-sink. Voor de gesloten kas is dit wellicht een ander verhaal, maar voor een tuinder zal het niet eenvoudig zijn om harde cijfers voor deze fractie te overleggen waarmee de jaarlijkse CO<sub>2</sub>-emissie verifieerbaar kan worden berekend. In hoeverre de door het gewas opgenomen CO<sub>2</sub> als een permanente (of duurzame) "sink" kan worden beschouwd, is daarbij de tweede vraag. Door de verhoogde CO<sub>2</sub>-concentratie in de kas is er versnelde groei opgetreden waardoor de geproduceerde biomassa ook weer versneld kan worden afgevoerd en afgebroken, waarbij de eind-

bestemming dan weer bepalend is voor de waardering van het proces; biobrandstof of organisch afval. De referentiesituatie blijft dat zonder CO<sub>2</sub>-dosering er CO<sub>2</sub> uit de buitenlucht zou zijn opgenomen; de kortcyclische kringloop.

**Samenvattend** kan worden geconcludeerd dat afname van een CO<sub>2</sub>-stroom die onder het ETS valt zeker ETS-consequenties voor de tuinder heeft: of de afnemer betaalt een prijs waarin de waarde van een emissierecht is verwerkt, of hij krijgt de emissie overgedragen. Voor niet-fossiele CO<sub>2</sub>-emissies afkomstig uit conversie van biomassa speelt deze thematiek in het geheel niet. Zeer waarschijnlijk is het geen haalbare zaak om de CO<sub>2</sub>-opname van het gewas in de kas als een permanente "sink" te laten bestempelen.

## 2.2 Duurzaamheidscriteria of "Groengehalte" van CO<sub>2</sub>-dosering

Het gebruik van elders beschikbare CO<sub>2</sub> voor CO<sub>2</sub>-dosering in de glastuinbouw en het daarmee direct vermijden van het verbranden van aardgas om zelf CO<sub>2</sub> te produceren, is een schoolvoorbeeld van een efficiënt proces. Gelijk dat bijvoorbeeld bij restwarmtebenutting het geval is, wordt voor het gecombineerde systeem van bron en kas op het verbruik van fossiele brandstof bespaard. De in de tuinbouw reeds gangbare praktijk om CO<sub>2</sub> uit eigen ketel of WKK te doseren met nuttig gebruik van warmte en/of kracht levert een vergelijkbare besparing. Deze besparing is beslist wenselijk en milieuvriendelijk, maar daarmee nog niet duurzaam of 100% "groen". Zeker daar waar het gevaar bestaat voor additioneel gebruik omdat de CO<sub>2</sub> mogelijk zo voordelig, schoon en makkelijk beschikbaar is.

Het "groen"-gehalte van de CO<sub>2</sub>-dosering neemt evenredig toe met het groengehalte van de in de broninstallatie gebruikte koolstofbron. Is de uitgangskoolstof volledig duurzaam, dan is daarmee ook de CO<sub>2</sub>-dosering volledig duurzaam (op mogelijk enig marginaal energieverbruik voor reiniging en transport van de gasstroom na). Het summum van duurzaamheid wordt bereikt met de inzet van een Bio-WKK-installatie die sowieso groene elektriciteit en duurzame warmte opwekt, en als WKK nog met hoge efficiency ook. Indien de CO<sub>2</sub> uit deze installatie ook nog eens voor CO<sub>2</sub>-dosering zou worden ingezet, waarmee dus de inzet van fossiele brandstof wordt uitgespaard, dan is er beslist sprake van een dubbelsnijdend mes; de overtreffende trap van duurzaam of groen. Vergelijkbaar met een biomassa-unit waarvan de CO<sub>2</sub> zou worden afgevangen en opgeslagen, hetgeen netto in een negatieve emissie resulteert, ofwel het wegnemen van CO<sub>2</sub> uit de kortcyclische kringloop.

Het spreekt voor zich dat de actuele discussie rond het duurzaamheidsgehalte van de verschillende biomassastromen ook medebepalend is voor het groengehalte van de CO<sub>2</sub>-stroom uit een dergelijke installatie. De biomassastroom is bij voorkeur van onbetwiste

herkomst, dat wil zeggen de biomassa is lokaal ecologisch verantwoord geproduceerd zonder ontwrichtende bijverschijnselen en de productie en transport hebben niet de inzet van meer fossiele energie gevegd dan de biobrandstof kan leveren.

Tot slot een opmerking over de inzet van geschikte en/of gezuiverde CO<sub>2</sub>-stromen in de glastuinbouw. Met het grotere belang dat CO<sub>2</sub>-emissiehandel lijkt te gaan krijgen wanneer de emitters de rechten niet langer vooral krijgen maar vooral zelf zullen moeten gaan kopen, zal er meer en bredere interesse ontstaan voor goed verwerkbaar CO<sub>2</sub>-stromen. Concreet voorbeeld hiervan is de interesse vanuit het Rotterdam Climate Initiative voor zowel de zuivere CO<sub>2</sub>-stroom uit de Shell-Pernis installatie, als de OCAP-pijpleiding zelf voor het eerste groot-schalige CCS-demonstratieproject in Nederland. Het is de vraag of dit project zich laat verenigen met de huidige inzet van deze CO<sub>2</sub> en de pijpleiding ten behoeve van de glastuinbouw. Wellicht zijn er meer gegadigden voor "schone" bronnen.

### 3 INVENTARISATIE VAN BRONNEN

#### 3.1 Introductie: categorieën en criteria

De inventarisatie van mogelijke bronnen vormde de eerste stap binnen het project. Onder een "mogelijke bron" wordt hier verstaan dat de CO<sub>2</sub> uit deze bron zowel beschikbaar, als bruikbaar **te maken** is voor CO<sub>2</sub>-dosering in de glastuinbouw. Met "beschikbaar" wordt bedoeld dat de CO<sub>2</sub> daadwerkelijk fysiek verkrijgbaar is vanaf de bron, en met "bruikbaar" wordt bedoeld dat de CO<sub>2</sub> in principe nuttig inzetbaar is in de kas. Ongeveer 60% van alle CO<sub>2</sub>-uitstoot in de wereld vindt plaats bij grote stationaire installaties, zoals elektriciteitscentrales, raffinaderijen en grote chemische industrieën, ruim 8.100 in getal [IPCC]. In enkele bijzondere gevallen bevatten de rookgassen van deze installaties een bijna zuivere stroom CO<sub>2</sub> (zoals bijvoorbeeld in ammoniak- of waterstoffabrieken) maar in de meeste gevallen bevatten de rookgassen slechts een lage CO<sub>2</sub>-concentratie (5% tot 15%).

De inventarisatie van mogelijke bronnen voor CO<sub>2</sub>-dosering in de glastuinbouw is langs drie sporen opgezet:

- 1 grootschalige energieproductie
- 2 (duurzame) lichte industrie, en
- 3 biomassa.

In elk van deze 3 categorieën zijn de mogelijke bronnen nagelopen op de volgende 4 criteria:

- 1 **hoeveelheid:** is de hoeveelheid CO<sub>2</sub> per bron en per tijdseenheid voldoende om een of meerdere glastuinbouwbedrijven van CO<sub>2</sub> te voorzien? Hiervoor is het nodig om te bepalen hoeveel "voldoende" is, en hoeveel "veel", "heel veel", etc., maar het feit dat een relatief kleinschalige WKK van enkele MW's een doorsnee GTB van CO<sub>2</sub> kan voorzien geeft een indicatie
- 2 **beschikbaar:** levert de bron een permanent beschikbare stroom CO<sub>2</sub>, of kent de stroom juist een zekere periodiciteit over bijvoorbeeld de dag of over de seizoenen, of kenmerkt de stroom zich juist door een uiterst onregelmatig en onvoorspelbaar bedrijfspatroon? Voor dit criterium is eveneens een indicatieve indeling gevolgd met karakteriseringen als "permanent", "vrijwel permanent", "dag-/nachtritme", "seizoensafhankelijk" en "sterk wisselend". Met behulp van buffering (of tijdelijke opslag) kan het CO<sub>2</sub>-vraagpatroon altijd worden gematched met het productiepatroon, maar met lage CO<sub>2</sub>-concentraties in de stroom en/of seizoensvariaties kan dit in de praktijk onhaalbaar zijn
- 3 **locatie:** bevindt de bron zich in de nabijheid van een glastuinbouwgebied, of (voor vooral kleinere bronnen) kan de bron in de nabijheid van een glastuinbouwbedrijf gevestigd worden, of is de bron juist erg locatiegebonden. Ook voor dit locatiecriterium is een indicatieve indeling gevolgd met typeringen als "dichtbij" en "flexibel" of juist "grotere afstand" en "gebonden". Transport van CO<sub>2</sub> vormt natuurlijk altijd een optie maar zal slechts lonend zijn voor geconcentreerde CO<sub>2</sub>-stromen, daar er anders toch vooral lucht verpompt wordt
- 4 **status:** zou de bron reeds in 2008 operationeel kunnen zijn, of kan de bron pas op termijn CO<sub>2</sub> aan de GTB gaan leveren.

In combinatie vormen de vier criteria een goede indicatie van de kansrijkheid of potentie van de bron voor CO<sub>2</sub>-dosering in de glastuinbouw. De typering per criterium draagt een zekere mate van gevoelsmatige inschatting en is daarmee niet 100% exact of onweerlegbaar. Toch zal de indicatie op basis van de vier criteria gezamenlijk een betrouwbare ranking mogelijk maken. In het vervolg van dit hoofdstuk volgt per categorie een beschrijving van de mogelijke stromen in die categorie. Per stroom is een korte beschrijving inclusief bijzonderheden etc. gegeven.

### 3.2 Grootschalige energieproductie

CO<sub>2</sub>-emiterende grootschalige energieproductiebedrijven kunnen in twee groepen verdeeld worden: de kolengestookte centrales en de gasgestookte centrales. Qua aantal zijn de meeste centrales op dit moment gasgestookt. Echter, qua capaciteit zijn de kolencentrales

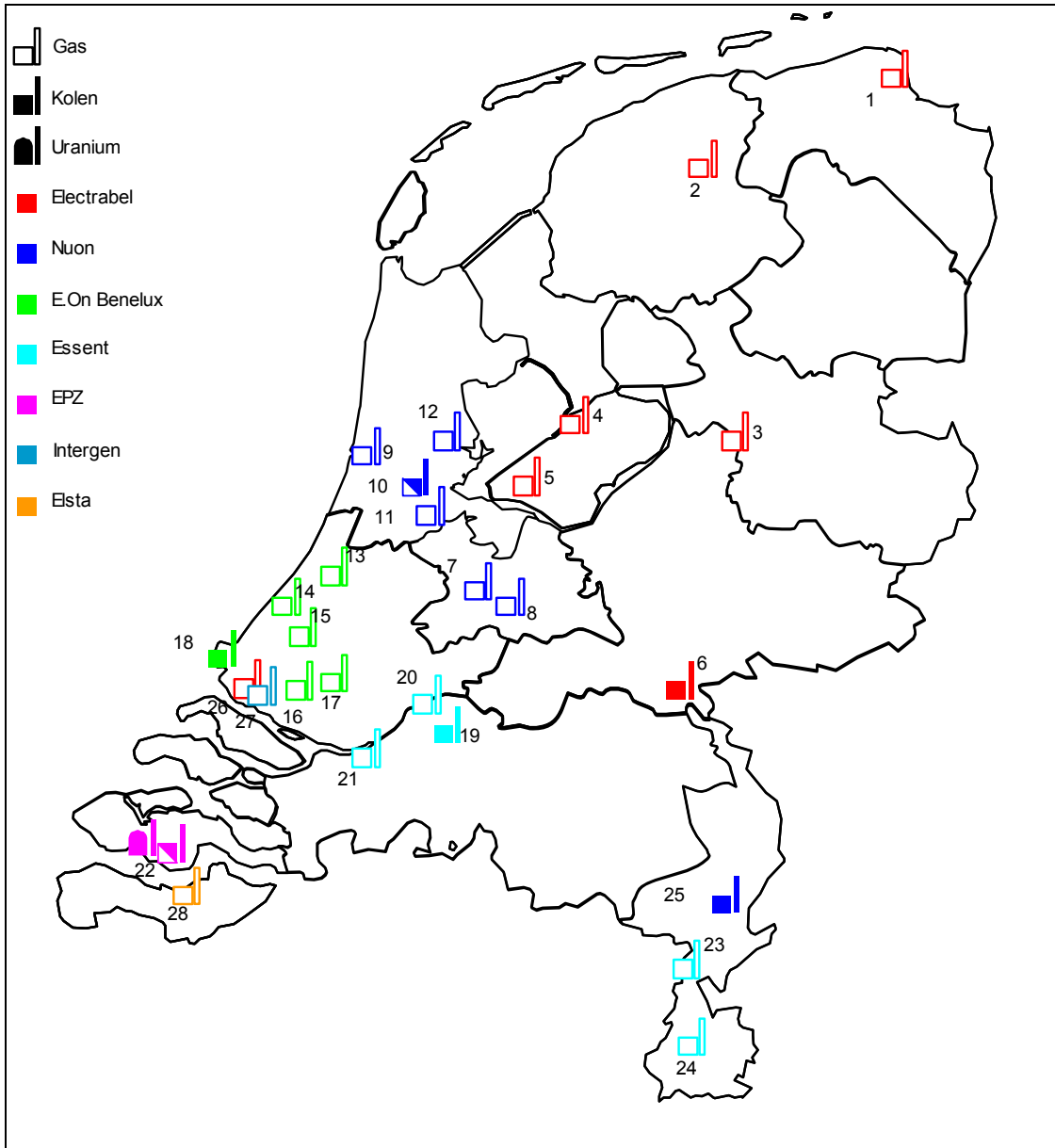
over het algemeen wel grotere installaties met een hogere emissie [in ton CO<sub>2</sub> per jaar] dan de gasgestookte centrales. Het vermogen van gascentrales varieert sterker dan bij kolencentrales. Zo zijn er kleine gascentrales van net 20 MWe tot de echt grote gasunits met een vermogen van meerdere honderden MW. Daarnaast zijn er nog vele kleinere WKK's die eveneens op gas draaien. Ook in de glastuinbouw staan vele WKK's met een vermogen in de MW-range verspreid opgesteld. De volgende reeks getallen geven een idee van de orde van grootte van emissies: een 1000 MW kolencentrale, die gemiddeld 7,5 miljard kWh per jaar produceert, stoot per jaar 5,4 miljoen ton CO<sub>2</sub> uit. Een (of meerdere!) gascentrale(s) die hetzelfde aantal kWh produceert, stoot ongeveer de helft hiervan uit, namelijk 2,8 miljoen ton. Het verschil in emissie komt enerzijds omdat er per energie-eenheid minder koolstof in aardgas zit dan in kolen, en anderzijds omdat een gasgestookte centrale efficiënter is.

De Eemscentrale is de grootste Nederlandse gascentrale met een toegewezen emissie van ruim 3.3 miljoen ton CO<sub>2</sub> per jaar, terwijl bijvoorbeeld de gascentrale bij Purmerend ongeveer 160.000 ton CO<sub>2</sub> toegewezen heeft gekregen. De vijf bestaande kolencentrales samen emitteren jaarlijks ongeveer 16.5 miljoen ton CO<sub>2</sub>. In tabel 3.1 staan de huidige kolencentrales en hun jaarlijkse CO<sub>2</sub>-emissie [om de geëmitteerde CO<sub>2</sub> van de centrales onderling te vergelijken is aangenomen dat de toegewezen emissie in de bijlage van het Nederlands Allocatie Plan 2008-2012 (NAP II) tevens de werkelijke uitstoot van CO<sub>2</sub> is].

Tabel 3.1 Kolencentrales in Nederland en hun jaarlijkse CO<sub>2</sub>-emissie

Kolencentrales in Nederland	CO <sub>2</sub> emissie per jaar
Gelderland-13	2.0 miljoen ton CO <sub>2</sub>
Hemweg-8	2.9 miljoen ton CO <sub>2</sub>
Maasvlakte 1 en 2	4.9 miljoen ton CO <sub>2</sub>
Amer 8 en 9	5.0 miljoen ton CO <sub>2</sub>
Borssele	1.7 miljoen ton CO <sub>2</sub>

In figuur 3.1 is de ligging van 28 grote energieproductielocaties in Nederland weergegeven. Met behulp van een gekleurd symbool is aangegeven of het een kolengestookte (gevuld vlakje) of een gasgestookte eenheid (open vlakje) is, en tevens wie de eigenaar/operator van de centrales is. In tabel 3.2 zijn de energieproductie-eenheden benoemd en gespecificeerd die staan aangegeven in figuur 3.1. De vijf kolencentrales zijn geel gearceerd in de tabel.



Figuur 3.1 Ligging van de grote energieproductie-eenheden in Nederland

Tabel 3.2 Specificatie van de grote energieproductie-eenheden in Nederland

Nr	Naam	Brandstof	Vermogen [MWe]	Eigenaar
1	Eemscentrale	Aardgas	2400	Electrabel
2	Centrale Bergum	Aardgas	664	Electrabel
3	Centrale Harculo	Aardgas	350	Electrabel
4	Flevocentrale	Aardgas	124	Electrabel
5	W/K centrale Almere	Aardgas	118	Electrabel
6	Centrale Gelderland	Kolen+biomassa	602	Electrabel
7	Lage Weide	Aardgas	247	NUON
8	Merwedekanaal	Aardgas	416	NUON
9	Velsen+IJmond	Hoogovengas+aardgas	1004	NUON
10a	Hemweg	Aardgas	599	NUON
10b	Hemweg	Kolen	630	NUON
11	Diemen	Aardgas	249	NUON
12	Purmerend	Aardgas	69	NUON
13	Leiden	Aardgas	81	E.On
14	Den Haag	Aardgas	78	E.On
15	Delft	Aardgas	93	E.On
16	Rotterdam Galileïstraat	Aardgas	209	E.On
17	Roca	Aardgas	269	E.On
18	Maasvlakte	Kolen+biomassa	1040	E.On
19	Amercentrale	Kolen+biomassa	1245	Essent
20	Dongecentrale	Aardgas	121	Essent
21	Moerdijk	Aardgas+warmte	339	Essent
22a	Borssele	Aardgas	18	EPZ
22b	Borssele	Kolen+biomassa	406	EPZ
22c	Borssele	Kern	482	EPZ
23	Clauscentrale	Aardgas	1280	Essent
24	Swentibold	Aardgas	233	Essent
25	Buggenum	Kolenvergassing+biomassa	253	NUON
26	Air Products	Aardgas	43	Electrabel
27	Rijnmond	Aardgas	800	Intergen
28	Terneuzen	Aardgas	430	Elsta

De kolencentrales zijn in Nederland allemaal voorzien van een uitgebreide rookgasreiniging bestaande uit de-NO<sub>x</sub> stoffilters en de-SO<sub>x</sub>. Voor deze kolengestookte eenheden is de brandstofsamenstelling (de kolen) scherp gespecificeerd en daardoor is tevens het verbrandingsproces tot in details bekend en voorspelbaar. Als resultaat kan de rookgasreiniging-installatie nauwkeurig op maat worden gedimensioneerd. De rookgassen voldoen aldus aan de emissie-eisen (BEES) maar er bestaat geen grote marge hierop. Dit in tegenstelling tot bijvoorbeeld de afvalverbrandingsinstallaties (AVI's) waar de brandstof-samenstelling een redelijke variatie kan vertonen en het verbrandingsproces dus minder scherp bekend is. Om deze variaties op te kunnen vangen én om aan de striktere emissie-eisen te kunnen voldoen



(BVA) is de rookgasreiniginginstallatie op de AVI ruim gedimensioneerd. Als resultaat kan gedurende normale bedrijfssituaties het rookgas van een AVI schoner zijn dan van een kolencentrale.

Met de trend om toenemende hoeveelheden biomassa mee te stoken in de kolencentrales (hoewel de hoeveelheden weer afnemen door het wegvallen van de MEP), raakt de brandstofsamenstelling minder scherp gespecificeerd en daardoor de samenstelling van de rookgassen mogelijk minder voorspelbaar. Om deze variaties op te kunnen vangen dient de rookgasreiniging opnieuw enigszins overgedimensioneerd te zijn waardoor de rookgassen van de biomassaverstokende kolencentrale in de praktijk schoner zijn dan de emissie-eisen.

Op dit moment staan voor Nederland vijf nieuwe kolencentrales gepland. Of deze ook alle vijf definitief gerealiseerd gaan worden is zeker nog een vraag, want de vijf initiatieven verkeren op dit moment alle slechts in de fase van ontwerp en vergunningaanvraag. De nieuwe kolencentrales dienen volgens de nieuwste overheidseis "capture ready" te zijn. Dit betekent dat in de ontwerpfase minstens nagedacht moet zijn over de optie van het afvangen van CO<sub>2</sub> en er bijvoorbeeld fysieke ruimte beschikbaar (te maken) moet zijn voor een CO<sub>2</sub>-afvangst-installatie. De vijf nieuw geplande kolencentrales en hun vermogens zijn:

- Eemshaven 250 MWe
- Maasvlakte 1100 MWe
- Maasvlakte 800 MWe
- Eemshaven 2\*800 MWe
- Geertruidenberg 800-1100 MWe.

Het is opvallend dat de nieuw geplande centrales allen voorzien zijn op locaties waar nu reeds energieproductie-eenheden in bedrijf zijn (zie figuur 3.1 en tabel 3.2). Kennelijk is de bestaande aanwezigheid van een complete infrastructuur een doorslaggevend voordeel. Ook kan het vergunningstechnisch voordelen geven een nieuwe unit op een bestaande locatie te plaatsen.

Vrijwel al de bronnen in deze categorie scoren vergelijkbaar op de vastgestelde criteria: De CO<sub>2</sub>-emissies zijn qua hoeveelheid voor een doorsnee E-productieplant ruim groter dan de behoefte van een aantal glastuinbouwbedrijven. Afhankelijk van de inzet van de productie-unit is er een vrijwel permanente CO<sub>2</sub>-stroom beschikbaar (zelfs in deellastbedrijf zal de hoeveelheid CO<sub>2</sub> nog voldoen aan de vraag). Zoals zichtbaar in figuur 3.1 zijn de eenheden verdeeld over het hele land, maar wel redelijk gebonden aan de locatie. Het CO<sub>2</sub>-gehalte ligt voor een kolencentrale tussen de 11 en 15%, en voor een gasgestookte centrale daalt deze waarde naar 4 tot 8%. Transport van rookgassen over grotere afstanden lijkt daarmee niet

aantrekkelijk. Tenslotte, de eenheden zijn reeds in bedrijf en zullen dit grotendeels blijven. Verder is natuurlijk de CO<sub>2</sub>-behoefte van de tuinbouwsector als geheel niet onaanzienlijk, maar zeker op de schaal van de over het land verspreide individuele tuinders, uiterst gering ten opzichte van de emissies van deze grote emitters. Het is voorstelbaar dat deze mismatch in schaal de glastuinbouw niet tot de eerste gesprekspartner voor deze partijen maakt. Ter illustratie: in de glastuinbouw is een WKK-installatie van meer dan 10 Megawatt reeds een van de grotere installaties en het aantal uren dat er CO<sub>2</sub> wordt gedoseerd, zal niet meer dan 2.500 uur bedragen. Een kolencentrale heeft een vermogen tussen de 500 en 1.000 MWe en heeft snel tussen de 7.000 en 8.000 draaiuren per jaar ( $750/10 * 7.500/2.500 > 200$ ).

### 3.2.1 CO<sub>2</sub>-afvangst bij E-productie

**Methoden:** het is mogelijk om de CO<sub>2</sub> in de rookgassen af te scheiden van de andere componenten, zodat daarmee een stroom gas wordt geproduceerd die minstens 90% CO<sub>2</sub> bevat. Een andere optie is om de koolstof in de brandstof al te verwijderen vóór de verbranding. Dat gebeurt bijvoorbeeld nu al in een waterstoffabriek, waar waterstof en CO<sub>2</sub> worden gemaakt uit aardgas (CH<sub>4</sub>). CO<sub>2</sub>-afvangst is een bekende technologie in verschillende industriële processen, waarbij CO<sub>2</sub> wordt gescheiden van andere gassen. Op dit moment wordt de CO<sub>2</sub> ofwel in de lucht geblazen, ofwel na extra reiniging gebruikt om hoge kwaliteit CO<sub>2</sub> te produceren voor specifieke afzetmarkten, zoals bijvoorbeeld voor frisdrankproductie in de voedingsindustrie. De technologie is dus op kleinere schaal reeds operationeel, maar CO<sub>2</sub>-afvangst is nog niet geoptimaliseerd voor grootschalige toepassing bij elektriciteitscentrales. Mondiaal wordt uitgebreid onderzoek verricht om nieuwe veelbelovende concepten te bestuderen en bestaande technieken te verbeteren, opdat ze goedkoper worden en minder energie gebruiken. Tegelijkertijd zijn tests gepland en opgezet bij bestaande centrales om deze nieuwe technieken te beproeven op pre-commerciële schaal.

In principe zijn er drie hoofdroutes voor afvangst te onderscheiden:

- 1 post combustion route: CO<sub>2</sub> afvangen na de verbranding, dat wil zeggen de CO<sub>2</sub> wordt uit de rookgassen verwijderd. Dit is typisch een “end-of pipe” technologie
- 2 pre-combustion route: CO<sub>2</sub> afvangen vóór de verbranding, dat wil zeggen conversie van de brandstof naar mengsel van H<sub>2</sub> en CO<sub>2</sub>, gevolgd door afscheiding van de CO<sub>2</sub>. Dit gebeurt typisch in combinatie met steenkoolvergassing
- 3 stikstofloze of oxyfuel verbranding: verbranding met zuivere zuurstof en recirculatie van CO<sub>2</sub>. De rookgassen van een dergelijke centrale bestaan hoofdzakelijk uit CO<sub>2</sub> en H<sub>2</sub>O zodat de CO<sub>2</sub> relatief eenvoudig is af te scheiden. Energiebedrijf Vattenfall zal de eerste oxyfuel pilot plant (30 MWt) bouwen bij Schwarze Pumpe in Duitsland.

Het verwijderen van CO<sub>2</sub> kost relatief veel energie. Het energieverbruik komt voort uit de scheiding zoals het gebruik van de CO<sub>2</sub>-scrubbers (wastorens) en van de CO<sub>2</sub>-transport-compressoren. Door dit verbruik stijgt het primaire energieverbruik per opgewekte kWh, ofwel, het rendement van de elektriciteitscentrale zal dalen. Zoals onderstaande tabel 3.3 laat zien, stijgt de hoeveelheid primaire energie om een kWh te produceren, afhankelijk van het type centrale, met 16 tot 31%. Het centrale rendement, ook weer afhankelijk van het type centrale, daalt evenredig, in absolute percentages met 8 tot 11 procentpunten. Het is de verwachting dat deze daling door toekomstige ontwikkelingen gehalveerd kan worden tot 4 á 5 procentpunten.

Tabel 3.3

Type centrale	CO <sub>2</sub> -afvang (> 80%)	Rendement centrale (% LHV)	Primair energieverbruik (kJ/kWh)	CO <sub>2</sub> -emissie (g/kWh)
Gasgestookte centrale (STEG)	Geen afvang	56%	6430	370
	Afvang voor verbranding	48%	7500 (+16%)	60
	Afvang na verbranding	47%	7660 (+19%)	60
Poederkool centrale	Geen afvang	46%	7830	720
	Afvang na verbranding	35%	10280 (+31%)	140
Steenkool vergasser	Geen afvang	47%	7660	710
	Afvang voor verbranding	38%	9475 (+24%)	130

(bron: CATO paper, 2006)

Algemeen worden de eerste CO<sub>2</sub>-afvangseenheden verwacht in combinatie met een kolen-gestookte eenheid vanwege de grotere hoeveelheden CO<sub>2</sub> die in hogere concentraties vrijkomen vergeleken met gasgestookte eenheden. Opnieuw zal de productie van CO<sub>2</sub> qua hoeveelheid ruim groter zijn dan de behoefte van een groot aantal glastuinbouwbedrijven. Zeker na afvangst is er eenvoudiger permanent CO<sub>2</sub> beschikbaar te maken. Grootschalige afvangseenheden zijn er op dit moment nog niet en de eerste eenheden die er komen, zullen sterk locatiegebonden zijn. Transport van zuivere CO<sub>2</sub> is eerder lonend over grotere afstanden (denk aan de OCAP), maar de aanleg van nieuwe transportleidingen zou vergunningtechnisch voor problemen kunnen zorgen. Bovendien is CO<sub>2</sub>-afvangst kostbaar (en daarom slechts rendabel bij hoge prijzen voor een CO<sub>2</sub>-emissierecht), hetgeen de CO<sub>2</sub> voor de tuinder eveneens kostbaar maakt (zie H2.1). Verder maakt de mismatch tussen omvang van productie en vraag het opnieuw voorstelbaar dat de glastuinbouw niet de eerste gesprekspartner voor deze partijen zal zijn.

### 3.3 (Duurzame) lichte industrie

De hier beoogde categorie "(duurzame) lichte industrie" wordt gevormd door bedrijven die CO<sub>2</sub> als reststroom emitteren als gevolg van energie- en/of procesactiviteiten. Dit kunnen bijvoorbeeld bedrijven in de chemie, papier- of keramische industrie zijn, en zelfs tuinders zelf. In het Nederlands Allocatie Plan 2008-2012 (NAP II, met veel informatie te downloaden via [www.CO2-allocatie.nl](http://www.CO2-allocatie.nl)) staat hoeveel emissierechten deze bedrijven toegewezen hebben gekregen. In deze lijst staat uiteraard eveneens hoeveel emissierechten de verschillende energieproductie-eenheden toegewezen hebben gekregen. De bedrijven zijn in deze lijst ingedeeld naar bedrijfsactiviteiten. Bedrijven beginnend met het nummer 011 zijn tuinders en die met nummer 232 zijn de raffinaderijen. Duurzaam staat expliciet genoemd in de omschrijving van deze categorie omdat het gebruik van CO<sub>2</sub> met een duurzame herkomst positief bijdraagt aan de glastuinbouwsector. Daarnaast zijn in eerste instantie die bedrijven interessant die een vrij zuivere CO<sub>2</sub>-stroom hebben met bij voorkeur een hoge CO<sub>2</sub>-concentratie. Dit zijn bijvoorbeeld bedrijven die (bio-) ethanol of waterstof produceren.

Er zijn op dit moment een aantal bedrijven(consortia) die nu reeds CO<sub>2</sub> leveren of gaan leveren aan de glastuinbouwsector. Dit zijn bijvoorbeeld de OCAP, RoCa3, Yara Sluiskil, Vink Sion en Abengoa. Enige details rond de CO<sub>2</sub>-leveranties van deze bedrijven zijn onderstaand kort omschreven.

#### **OCAP**

Een initiatief op het gebied van CO<sub>2</sub>-levering naar de glastuinbouw is OCAP. OCAP staat voor "Organic Carbon dioxide for Assimilation of Plants". OCAP is een joint venture tussen Linde Gas Benelux B.V. en VolkerWessels en levert zuivere CO<sub>2</sub> aan glastuinbouwers. De CO<sub>2</sub> komt vrij bij de productie van waterstof door de raffinaderij van Shell in Botlek. Deze (zuivere) CO<sub>2</sub> wordt vervolgens via een bestaande pijpleiding getransporteerd naar de glastuinbouwgebieden in het Westland, de B-driehoek, Delfgauw en Wilgenlei. In de nacht als er geen behoefte is aan CO<sub>2</sub> wordt de pijpleiding op een druk van 30 bar gebracht en overdag gebruiken de tuinders de CO<sub>2</sub> en daalt de druk weer. De druk in de pijpleiding zelf wordt dus als buffer-"volume" ingezet. Er wordt jaarlijks ongeveer 170.000 ton CO<sub>2</sub> minder uitgestoten door Shell.

#### **RoCa3**

Op de grens van Rotterdam en Capelle aan den IJssel staat de warmtekrachtcentrale RoCa3. Een deel van de rookgassen van deze centrale wordt verrijkt met CO<sub>2</sub>. Dit gebeurt door middel van een door Energy Engineering Services gepatenteerd systeem van naverbranding in een aparte stoomketel.

Nadat de rookgassen op druk zijn gebracht door een compressor wordt het rookgas via een pijpleiding naar een glastuinbouwgebied ten noorden van Rotterdam getransporteerd. Naast warmte en elektriciteit produceert de RoCa dus ook elders nuttig gebruikte CO<sub>2</sub>. Op deze manier wordt de CO<sub>2</sub>-uitstoot van RoCa verminderd met 130.000 ton per jaar.

### **Yara Sluiskil**

De komende jaren wordt bij Terneuzen een glastuinbouwgebied ontwikkeld van 250 hectare. Hier gaat WarmCO<sub>2</sub> B.V., een samenwerkingsverband van Yara Sluiskil, Zeeland Seeports en Visser Smit Hanab, CO<sub>2</sub> en warmte leveren aan de glastuinbouw. Yara Sluiskil, een kunstmestfabrikant, gaat de CO<sub>2</sub> aan de glastuinbouw leveren. Omdat Yara geen 100 procent leveringsgarantie kan geven, worden er twee gashouders van 900 ton CO<sub>2</sub> elk gebouwd. De gashouders moeten de levering van CO<sub>2</sub> garanderen op het moment dat Yara Sluiskil tijdelijk geen CO<sub>2</sub> produceert.

### **Vink Sion/ Host Imtech**

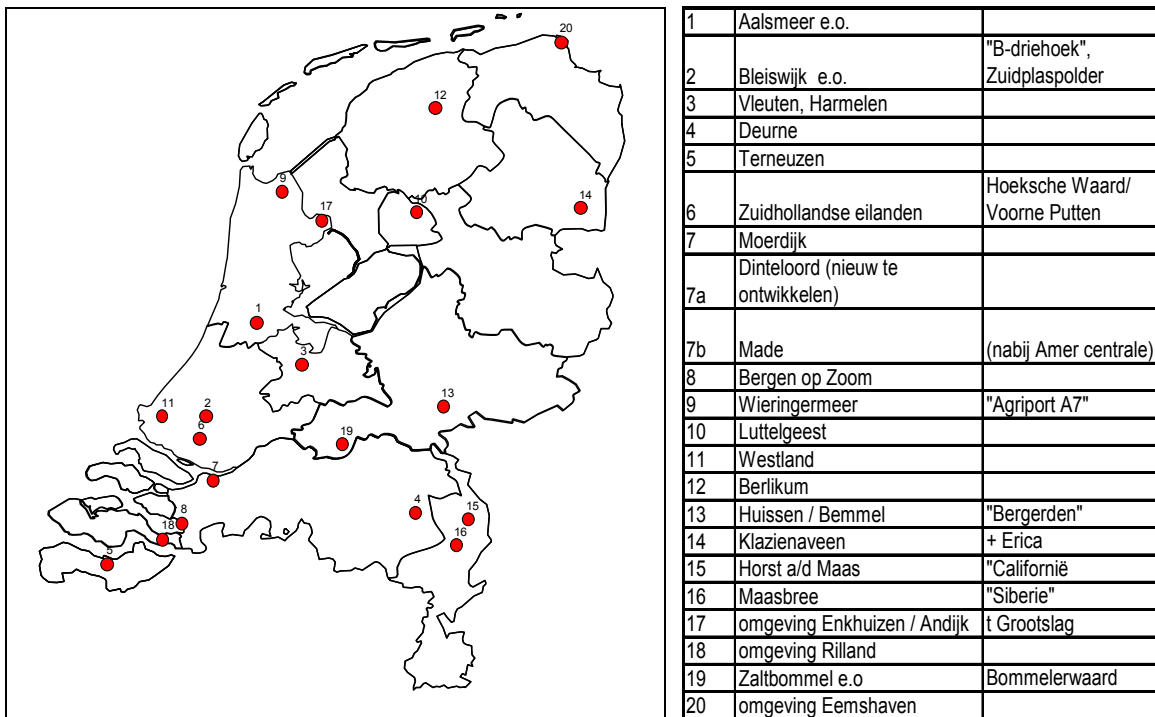
In het Friese Beetgum heeft paprikateler Jaap Vink een houtgestookte WKK sinds januari 2008 in gebruik. Deze WKK is ontwikkeld door Host en heeft een speciaal ontwikkelde hogedruk stoomketel. De rookgassen van houtverbranding zijn niet geschikt voor directe CO<sub>2</sub>-dosering in de glastuinbouw, zelfs niet na rookgasreiniging met het in de tuinbouw bekende ureumproces. Daarom wordt niet de complete rookgasstroom gereinigd maar in plaats daarvan de CO<sub>2</sub> uit het rookgas afgescheiden. Dit gebeurt door het rookgas in een absorptiekolom door een vloeistof te leiden die CO<sub>2</sub> 200 keer beter aan zich bindt dan andere gassen. Vervolgens wordt deze vloeistof in een regeneratie-unit verwarmd zodat de CO<sub>2</sub> in geconcentreerde vorm weer vrijkomt. Er wordt op deze manier 12.800 ton CO<sub>2</sub> minder uitgestoten.

### **Abengoa**

In februari 2008 is in het Rotterdamse havengebied de bouw gestart van een bio-ethanol-fabriek. De Spaanse onderneming Abengoa, reeds de grootste bio-ethanolproducent van Europa, zal in de nieuwe fabriek per jaar 1,25 miljoen ton granen omzetten naar 480 miljoen liter bio-ethanol. Voornaamste toepassing van de geproduceerde biobrandstof is als energiebron voor de transportsector na bijmenging. Onderdeel van de plannen is dat de CO<sub>2</sub> die bij de ethanolproductie wordt gevormd na afvangst via het bestaande OCAP-netwerk nuttig zal worden ingezet in de glastuinbouw. Een prachtig voorbeeld van integratie van energie- en materiaalstromen waarmee energie- en CO<sub>2</sub>-reductie wordt bereikt.

Bedrijven in de sector lichte industrie die duurzame CO<sub>2</sub> produceren, gebruiken een bio-massastroom als uitgangstof. Daarom worden deze verder besproken in het volgende hoofdstuk dat specifiek op de verschillende soorten en conversietechnieken voor biomassa ingaat. De in het volgende hoofdstuk besproken "Kansrijkaart" geeft een overzicht van perspectiefrijke opties. In de sector industrie zijn meer mogelijke bronnen denkbaar. Zo lijkt bijvoorbeeld de kalk- en cementindustrie een geschikte kandidaat omdat de emissiestroom een CO<sub>2</sub>-concentratie van ruim 20% kan hebben. Naast de CO<sub>2</sub> van het verbrandingsproces is er ook minerale CO<sub>2</sub> uit het productieproces (de omzetting van carbonaten) aanwezig.

Daarnaast is het ook van belang om te kijken naar de beschikbaarheid en de locatie van de bedrijven ten opzichte van de glastuinbouwgebieden. Transport van CO<sub>2</sub> vormt natuurlijk altijd een optie maar zeker voor stromen met lage CO<sub>2</sub>-concentraties is dit niet aantrekkelijk. In figuur 3.2 staan daarom de grotere glastuinbouwgebieden in Nederland weergegeven. Deze kaart laat zich combineren met de genoemde "Kansrijkaart".



Figuur 3.2 Locatie glastuinbouwgebieden

De productie van CO<sub>2</sub> in de (duurzame) lichte industrie zal qua hoeveelheid nog steeds groter zijn dan de behoefte van een aantal glastuinbouwbedrijven, alhoewel een betere match te verwachten is dan bij de energieproductie-eenheden. Aangezien een groot deel van de processen in deze sector continue processen betreft, is een hoge mate van beschikbaarheid verzekerd. Ook de locatie van de toch vaak kleinschaligere installaties kent meer vrijheidsgraden zodat het waarschijnlijk eenvoudiger is CO<sub>2</sub>-overdracht te realiseren. Vanwege de actuele trend naar verduurzaming en integratie van energie- en materiaalstromen is het waarschijnlijk dat dergelijke synergieprojecten talrijker worden. Naast een vergroening van het imago hebben beide partijen er voordeel bij.

### 3.4 Biomassa

Naast de genoemde grootschalige energieproductie-eenheden en (duurzame) lichte industrie vormen energieconversieprocessen gebaseerd op biomassa een aantrekkelijke bron van CO<sub>2</sub> voor de glastuinbouw. Immers deze CO<sub>2</sub> is onomstreden duurzaam (mits van zuivere herkomst) en draagt op deze wijze bij aan een groen imago voor de glastuinbouw. Drie biomassaconversietechnieken zijn beschikbaar die naast energie een CO<sub>2</sub>-stroom genereren:

- **vergisten** → natte biomassa wordt vergist in een vergistingsinstallatie. Vergisting is de anaerobe (zonder zuurstof) afbraak van organische koolwaterstofverbindingen naar een gasmengsel van vooral CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub> en H<sub>2</sub>O. Biogas kan in lage concentraties (< 2%) ook H<sub>2</sub>S, NH<sub>3</sub>, H<sub>2</sub>, fenol en hogere ketonen bevatten. Het biogas wordt afgevangen en verbrand in bijvoorbeeld een WKK. De rookgassen van de WKK gaan vervolgens door een de-NO<sub>x</sub>-installatie om de NO<sub>x</sub> te verwijderen. Een andere mogelijkheid is om de CH<sub>4</sub> op te werken tot standaard aardgaskwaliteit, waarbij een CO<sub>2</sub>-stroom als bijproduct vrijkomt
- **verbranden** → vaste biomassa leent zich goed voor directe verbranding waarbij energie in de vorm van warmte en/of kracht wordt opgewekt. Redelijk algemeen wordt vaste biomassa meegestookt in kolencentrales. Er zijn ook kleinschalige "stand-alone" eenheden waar uitsluitend zuivere biomassa wordt verstoekt. Zo staat er in Cuijk een 25 MW bio-energiecentrale van Essent die alleen op biomassa draait. Hier wordt bijna twee miljoen ton houtsnippers per jaar verbrandt. Recent is er bij Moerdijk een bio-energiecentrale van 36 MW in gebruik genomen die draait op kippenmest. Daarnaast bestaan er diverse kleinschaligere installaties

- **composteren** → dit is een biologisch proces van ontbinding door aërobe bacteriën. De gassen die bij dit proces vrijkomen, gaan door een biologisch filter. Hierin wordt voornamelijk geur gefilterd maar ook worden er koolwaterstofverbindingen uitgefilterd. Voordeel van composteren is dat in het biogas geen schadelijke elementen zitten zoals  $\text{NO}_x$  omdat het een natuurlijk proces is.

Deze drie conversietechnieken zijn vervolgens weer te combineren met verschillende biomassastromen tot een reeks potentieel kansrijke processen die  $\text{CO}_2$ -stromen leveren.

### 3.4.1 A Vergisten van biomassa

**A1 Stortplaats:** de spontane vergisting van organisch materiaal die optreedt op een stortplaats leidt tot de productie van "stortgas". Stortgas is een mengsel van methaan en  $\text{CO}_2$ . Het is mogelijk om de gassen te scheiden of het stortgas kan direct verbrand worden om een  $\text{CO}_2$  rijke stroom rookgas te generen. Echter, de in Nederland geproduceerde hoeveelheid stortgas neemt sterk af door het succes van de afvalscheiding en de directe verbranding van afval in AVI's. Het restafval dat tegenwoordig op de stortplaats komt produceert geen stortgas. Tenslotte is de productie van stortgas zeer gebonden aan de stortlocatie.

**A2 RWZI/ AWZI:** de anaërobe vergisting (vergisting zonder zuurstof) van het slib (bezinksel) op een riool- of afvalwaterzuiveringsinstallatie is opnieuw een bron van methaan en  $\text{CO}_2$ -rijk gas. Met opwerken zou dit gas geschikt te maken zijn voor  $\text{CO}_2$ -dosering in de kas al is de combinatie rioolafval en voedselproductie wellicht niet de meest gelukkigste. De waterzuiveringsinstallaties verwerken een continue stroom van grondstoffen voor vergisting maar zijn wel gebonden aan specifieke locaties.

**A3 CO-vergisting:** ook bij CO-vergisting gaat het om de anaërobe afbraak van organisch materiaal door bacteriën naar biogas, een mengsel van vooral  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$  en  $\text{CH}_4$ . De grondstof voor een CO-vergister is bijvoorbeeld verse dierlijke mest aangevuld met een vaster substraat zoals maïs. In principe kan de CO-vergister op iedere schaalgrootte en op iedere willekeurige landelijke locatie worden gerealiseerd, dus ook in de directe nabijheid van een glastuinbouwbedrijf. Het is mogelijk om het biogas gelijk te verbranden of eerst op te werken naar aardgaskwaliteit door  $\text{H}_2\text{O}$  en  $\text{CO}_2$  af te scheiden. Verdere flexibiliteit bestaat hierin dat de vergister ook bij de veeboer kan worden geplaatst en dat slechts het gas (al dan niet na scheiding of verbranding in WKK) wordt getransporteerd naar de tuinder. De benodigde transportlogistiek laat zich hierin optimaliseren met veel vrijheidsgraden. Kortom, de vergister kan compleet naar wens en op maat worden ontwikkeld om "groene"  $\text{CO}_2$  te genereren.



Een werkende installatie is recent gerealiseerd bij de agrarische firma Wollerich in Tweede Exloermond (Drenthe). Er zijn meer plannen in ontwikkeling al is de onzekerheid over de hoogte van het SDE-subsidiebedrag reden voor veel ondernemers om realisatie op te schorten (de 12 cent/kWh zoals minister Van der Hoeven heeft vastgesteld of 15 cent/kWh zoals voorgesteld in de door de Tweede Kamer aangenomen motie van Van der Vlies).

**A4 Overige GFT/ organische afval:** deze organische reststromen laten zich eveneens goed vergisten. Het digestaat, de fractie die overblijft na vergisting, bevat nog de oorspronkelijke mineralen in een bruikbare vorm hetgeen een gesloten kringloop mogelijk maakt. Voor bijvoorbeeld de reststroom uit een ethanolfabriek is er naast deze vergistingsoptie ook de mogelijkheid om te worden ingezet als veevoer. In het kader van deze verkennende studie rangschikken we deze optie onder DO-vergisting.

### 3.4.2 B Verbranden van biomassa

**B1 Afvalverbranding installatie:** er zijn elf AVI's operationeel in Nederland waar huishoudelijk en industrieel afval wordt verbrand. De vrijkomende verbrandingswarmte wordt nuttig omgezet naar elektriciteit en waar mogelijk tevens ingezet als stadsverwarming. Deze energie is deels organisch en daarmee 'duurzaam', maar door bijvoorbeeld de plastics in het afval ook deels fossiel. Het aandeel duurzaam varieert van 30 tot 50%. Vanwege de strenge emissie-eisen die gelden voor afvalverbranding en de wisselende brandstofsamenstelling zijn AVI's voorzien van een goede en ruim gedimensioneerde rookgasreiniging. Moderne AVI's zijn omvangrijke en complexe installaties en daarmee vrij strikt gebonden aan specifieke locaties.

**B2 Bijstoken / meestoken biomassa in elektriciteitscentrale:** In een kolencentrale bestaan verschillende technieken om na enkele aanpassingen een deel van de kolen te vervangen door biomassa mee te verbranden. In een moderne gasgestookte centrale ligt dit een stuk minder eenvoudig. Deze opties zijn besproken bij 3.2 en 4.1.

**B3 Bio-olie:** verbranding van olie met een organische oorsprong in een dieselmotor of ketel levert duurzame energie en een "groene" CO<sub>2</sub>-stroom. De inzet van plantaardige oliën (zoals b.v. palmolie) voor energieopwekking ligt op dit moment zeer gevoelig in verband met de voedselcrisis in de wereld. Andere bio-oliën zijn bijvoorbeeld Bioline-V (het vet uit kadavers), of (gebruikt) frituurvet. Het is de vraag of de glastuinbouwsector met deze stromen geassocieerd wil worden in haar streven naar verduurzaming.

Technisch probleem met deze organische afvalstromen als brandstof is dat de samenstelling niet constant is en er (incidenteel) ongewenste componenten aanwezig kunnen zijn. De rookgassen zullen mede daarom intensief moeten worden gereinigd voordat deze geschikt zijn voor CO<sub>2</sub>-dosering in de glastuinbouw.

**B4 Stand-alone verbranding** vaste brandstof (100% biomassa): De verbranding van vaste biobrandstoffen zoals snoeiafval of restafval glastuinbouw levert duurzame energie en een "groene" CO<sub>2</sub>-stroom. In principe zijn dergelijke installaties overal op maat (van houtkachel tot "full scale" E-centrale) te plaatsen, in meerdere opzichten flexibel dus. De vaste brandstof is door de vezelachtige structuur minder geschikt voor vergisting. Wel zal de rookgasstroom opnieuw intensief gereinigd moeten worden. Er bestaan diverse werkende installaties: de Lier (Westland) en Essent (Cuijk).

**B5.1 Afvalhout:** afvalhout is eveneens een vaste biobrandstof maar de aanduiding "afval" geeft aan dat het hout eerder een andere bestemming heeft gehad en daarbij mogelijk is gemixed met andere materialen (coating, conserveer, verbinding). Deze afvalstroom wordt in de regel verwerkt op een aparte lijn bij de AVI met een aangepast verbrandingsproces en rookgasreiniging. Voorbeelden hiervan zijn te vinden in Rozenburg, Alkmaar en Hengelo.

**B5.2 Pluimveemest:** voor de vaste biobrandstof pluimveemest vormt verbranding een energie-efficiënte manier om van de afvalstroom af te komen. Om de conversie op een milieutechnisch verantwoorde wijze uit te voeren is een hoogwaardige installatie vereist die bij voorkeur grootschalig wordt opgezet. Voorbeelden zijn de BMC in Moerdijk en de (*nog immer*) geplande Fibroned in Apeldoorn.

### 3.4.3 C Composteren

De biologische afbraak van organisch materiaal in aanwezigheid van lucht leidt tot de productie van compost (bodembemester/verbeteraar) en een CO<sub>2</sub> rijke gasstroom die wellicht voor de glastuinbouw geschikt te maken is (hoewel tot op heden nog niet toegepast). Er is een trend waar te nemen dat meer bedrijven gaan composteren om van hun organische afvalstromen af te komen. Voordelen van compostering zijn:

- het is een biologisch proces zonder zware metalen of NO<sub>x</sub>-vorming
- het vrijkomende gas bestaat uit (organische) C<sub>x</sub>H<sub>y</sub> verbindingen, CO<sub>2</sub> en H<sub>2</sub>O.

De inzet van biomassa en de "transitie" naar een meer duurzame inrichting van de samenleving in het algemeen en de energie- en productiesector in het bijzonder wordt krachtig gestimuleerd door de overheid. Een van de publicitaire initiatieven in dit kader is de

"Kanskaart" zoals uitgebracht door het "EnergieTransitie Platform Groene Grondstoffen". Op deze kaart van Nederland zijn zowel de gerealiseerde als geplande biomassa- en waterstof projecten zo compleet mogelijk in beeld gebracht (zie de website voor meer informatie over deze en andere initiatieven <http://www.senternovem.nl/energietransitiegg/index.asp>). In de twee onderstaande tabellen (3.4 + 3.5) zijn op basis van deze "Kanskaart Creatieve Industrie" [http://www.senternovem.nl/EOS/nieuws/kansrijk\\_2008](http://www.senternovem.nl/EOS/nieuws/kansrijk_2008) eerst de bestaande (tabel 3.4) en daarna de geplande (tabel 3.5) biomassa en waterstofinstallaties opgesomd, waarbij de oorspronkelijke nummering van de informatieve "Kanskaart" is aangehouden ([http://www.senternovem.nl/energietransitiegg/documentatie/downloads\\_kaarten.asp](http://www.senternovem.nl/energietransitiegg/documentatie/downloads_kaarten.asp)).

Tabel 3.4 Bestaande biomassa (b) en waterstof (w) installaties In Nederland  
(zoals overgenomen van de Kanskaart van Creatieve Energie)

Nummer	b/w	Type	Plaats	Bedrijf
25	b	Bio-wkk uit spaanplaatzaagsel	De Lier	De Lange
35	w	Waterstofproductie	Rotterdam	AirProducts
37	b	Bio-ETBE voor biobrandstof	Rotterdam	Lyondell
43	b	Meestookbiomassa	Maasvlakte	E.ON
46	b	Meestook biomassa	Borssele	EPZ
54	b	Productie biobrandstof, o.a. PPO	Drachten	Delta Oil
55	b	Productie biobrandstof	Harlingen	Ecopark
56	b	Productie biogas en stortgas	Oudehaske	Ecopark De Wie
59	b	Productie biomethanol	Delfzijl	Bio Methanol Ct
61	b	Productie biodiesel	Eemshaven	Biovalue
64	b	Co-vergisting, warmtelevering woningen	Onstwedde	Natuurenergie C
65	b	Co-vergisting	Veendam	Veendam
67	b	Biodieselproductie	Emmen	Sunoil
68	b	Co-vergisting, warmtelevering woningen	Hooghalen	Lammertink
73	b	Co-vergisting, productie bio-ethanol	Zuidvelde	Bosma
75	b	Bio-energiecentrale	Lelystad	NUON
76	b	GFT-vergister	Lelystad	Orgaworld
81	b	Warmtelevering uit biomassa	Zeewolde	Essent
82	b	Productie PPO uit koolzaad	Zeewolde	OPEK Nederland
85	b	Demoplant HTU-proces biofuel	Apeldoorn	TNO
86	b	Biogas uit slib, warmtelevering	Apeldoorn	RWZI
91	w	Pem Power Plant	Arnhem	NedStack
98	b	Biomassavergisting	Beltrum	Groot Zevert
103	b	Biogas uit proceswater papierfabrieken	Eerbeek	Industriewater E
110	b	Productent carboxymethylcellulose	Nijmegen	Noviant
115	b	Biomassavergisting	Anerveen	Bieleveld.com
116	b	Groen gas uit stortgas	Collendoorn	Cogas
120	b	Biogasinstallaties	Fleringen	Oude Lenferink
121	b	Bio-energiecentrale	Goor	BioEnergie Twei
125	b	Producent houtskoolovens	Hengelo	Greencoal
127	b	Biomassacentrale	Hengelo	Twence
128	b	Biogas uit vergisting als biofuel	Hengelo	De Marke, WUR
129	b	Biodiesel	Kampen	Biodiesel Kampen
132	b	Phyto-remediation	Budel-Dorplei	ABdK, OVAM
135	b	Meestook biomassa	Geertruienberg	Amercentrale
139	b	Groen gas uit stortgas	Nuenen	Essent
142	b	Productie biodiesel en biogas uit dierlijke rest	Son	Ecoson/ VION
143	b	Groengas uit stortgas	Tilburg	Essent
148	b	Bio-ETBE voor biobrandstof	Geleen	SABIC
150	b	Proceswarmte uit biomassa	Maastricht	ENCI
152	b	Productie PPO uit koolzaad	Oirlo	Coöperatie Carr
155	b	Elektriciteit uit vergisting	Well	Ecofuels

Tabel 3.5 Geplande biomassa (b) en waterstof (w) installaties In Nederland  
(zoals overgenomen van de Kanskaart van Creatieve Energie)

Nummer	b/w	Type	Plaats	Bedrijf
5	b	Biodieselfabriek	Amsterdam	Greenmills
6	b	Bio-ethanolfabriek	Amsterdam	Harvest
19	b	Gas uit gft-afval, energie uit restafval	Rijsenhout	Meerlanden.nl
21	b	Bio-energie uit vergisting	Wieringermeer	Jongert
30	b	Derdewereldproductie biobrandstof op hout	Oegstgeest	Winways Onnovation
31	b	Biomassacentrale met productie CO2	Oegstgeest	Winways Onnovation
33	b	Bio-ethanolfabriek	Rotterdam	BER
34	b	Biodieselfabriek	Rotterdam	WHEB
38	b	Biodieselfabriek	Rotterdam	Argos Oil
39	b	Bio-ethanolfabriek	Rotterdam	Abengoa Bioenergy
41	b	Biodieselfabriek	Botlek	Biopetrol, Vopak
44	b	Biomassacentrale	Maasvlakte	Electrabel
45	b	Biodieselfabriek	Zwijndrecht	Golden Hope/ Unimills
48	b	Biovergisting, bio-ethanolproductie	Rilland	Lans, De groene poort
49	b	Bio-ethanolfabriek	Sas van Gent	Nedalco
50	b	Biomassacentrale	Sluiskil	Heros
51	b	Biodieselfabriek	Sluiskil	Rosendaal Energy
52	b	Biodieselfabriek	Terneuzen	Biofueling
53	b	Bio-wkk uit palmolie	Vlissingen	BIOX
60	b	Grootschalige bijstook biomassa	Eemshaven	NUON/ RWE
62	b	Productie ethanol uit suikerbieten	Hoogkerk	Cosun
66	b	Co-vergisting	Veendam	Van Oosten
70	b	Co-vergisting	Nieuweroord	Kloosterman-Ringeling
71	b	Bio-ethanolfabriek	Wijster	Nivoba
77	b	Levering bio-energie	Lelystad	Eclair-E
87	b	Biomassa centrale	Apeldoorn	Fibroned
90	w	Uniflex-aggregaat op vloeibare biomassa en	Apeldoorn	Bredenoord
99	b	Gas, warmte, CO2 uit vergisting	Bemmel	Bergerden
104	b	Collectieve bio-wkk bedrijventerrein Lorentz-	Harderwijk	Regio Noord-Veluwe
105	b	Duurzame energie glastuinbouw	Heerde	Regio Noord-Veluwe
106	b	Toepassing biomassa uit o.a. de Veluwe	Klarenbeek	Creative Biomas, jpvs.
108	b	Regionale biomassa-installatie	Lochem	Gemeente Lochem
111	b	Houtgestookte bio-wkk Hattemerbroek	Oldebroek	Regio Noord-Veluwe
113	b	Landschapsbeheer en bio-energiecentrales	Winterswijk	DLG
124	b	Bio-ethanolfabriek	Hardenberg	N2 Energy
131	b	Biodieselfabriek	Breda	Biodsl
133	b	Duurzaam glastuinbouw	Deurne	o.a. tuinders en gemeec
137	b	Biomassa centrale op kippenmest	Moerdijk	BMC Moerdijk
138	b	Biodieselfabriek	Moerdijk	BeWa Groep
149	b	Groenestroomcentrale	Heerlen	BPT, Avantis, LIOF, pr
153	b	Biomassacentrales	Sittard	BES
154	b	Collectief energie systeem	Venlo	Greenport Energy
156	b	Bio-gasinstallatie glastuinbouw	Wellerlooi	tuinders, Colsen

Met uiteenlopende conversietechnieken zijn op basis van verschillende biomassa-bronnen duurzame CO<sub>2</sub>-stromen te produceren. Er bestaat een redelijke flexibiliteit om met de nodige vrijheidsgraden op de gewenste locatie een CO<sub>2</sub>-bron "op maat" te produceren. Het verkrijgen van de benodigde beschikbaarheid vormt hier onderdeel van, net als de keuze van de optimale locatie. Vanwege de actuele trend naar verduurzaming en integratie is het waarschijnlijk dat ook dergelijke synergieprojecten talrijker worden. Naast een vergroening van het imago hebben beide partijen er voordeel bij.

### 3.5 Bevindingen uit inventarisatie

Per categorie op hoofdlijnen:

**Grootschalige energieproductie:** deze categorie scoort positief op de criteria hoeveelheid en beschikbaarheid. De schaalgrootte is zelfs dermate veel hoger dat het de vraag is of enkele glastuinbouwbedrijven een interessante partner vormen, wellicht geeft het imago-voordeel hierbij de doorslag. De productie-eenheden zijn sterk locatiegebonden. Voor afgevangen CO<sub>2</sub> speelt het locatieaspect mogelijk minder, maar de nog onzekere status en beslist hoge prijs van afvangst vormen wel weer een serieus nadeel.

**(Duurzame) lichte industrie:** ook deze categorie scoort positief op de criteria hoeveelheid en beschikbaarheid. In deze sector is een betere match te verwachten in schaalgrootte. Gezien de relatieve vrijheid in de locatiekeuze voor deze kleinschalige installaties is het waarschijnlijk eenvoudiger om CO<sub>2</sub>-overdracht te realiseren. Vanwege de actuele trend naar verduurzaming en integratie van energie- en materiaalstromen is het waarschijnlijk dat dergelijke synergieprojecten talrijker worden. De installaties die een niet alleen duurzame maar tevens zuivere CO<sub>2</sub>-stroom produceren, vormen natuurlijk de meest aantrekkelijke partners voor een glastuinbouwbedrijf.

**Biomassa:** op basis van verschillende biomassa-bronnen zijn duurzame CO<sub>2</sub>-stromen te produceren. Er bestaat een redelijke flexibiliteit om op de gewenste locatie een CO<sub>2</sub>-bron met de gewenste beschikbaarheid "op maat" te produceren. Door de landelijke herkomst van de biomassa (mest & mais) vormt een CO-vergistingsinstallatie een goede match met menig glastuinbouwbedrijf. Vanwege de actuele trend naar verduurzaming en integratie is het waarschijnlijk dat ook dergelijke synergieprojecten talrijker worden.

Algemene conclusie van de bronneninventarisatie kan zijn dat er qua hoeveelheid en locatie beslist bronnen in de nabijheid van GTB's beschikbaar zijn en/of komen. Om de bronnen beschikbaar te krijgen (en/of te houden?) zal de sector wel een actieve rol moeten spelen. De ontwikkelingen in de CO<sub>2</sub>-economie kunnen snel gaan de komende jaren.

## 4 KWALITEIT VAN CO<sub>2</sub>-STROMEN

Na de inventarisatie van mogelijke bronnen in de eerste stap volgt als tweede stap de kwaliteitsbepaling van de geïdentificeerde stromen. De kwaliteit van de CO<sub>2</sub>-stromen hangt uiteraard direct af van de samenstelling van de stroom. In het ideale geval bestaat de stroom uit zuiver CO<sub>2</sub>, zodat de tuinder met CO<sub>2</sub>-dosering geen andere componenten in de kas introduceert. Zuivere CO<sub>2</sub>-stromen zijn helaas zeldzaam als vrij beschikbare reststroom. De aanwezigheid van onschadelijke componenten in de CO<sub>2</sub>-stroom zal de kwaliteit niet echt negatief beïnvloeden, al moet er bij dosering met lage CO<sub>2</sub>-concentraties in het doseergas een groter gasvolume gedoseerd en dus geventileerd worden. De hoofdbestanddelen van lucht (vooral stikstof, ruim minder zuurstof en mogelijk wat waterdamp) vormen geen bedreiging voor het gewas. Zeker van de componenten NO<sub>x</sub> en etheen (C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>) is goed bekend en in de literatuur gedocumenteerd dat deze wel reeds in lage concentraties schadelijk zijn. Een reeks andere componenten wordt eveneens als ongewenst beschouwd. Denk hierbij bijvoorbeeld aan stoffen als ozon, roet en zwaveldioxide (meer hierover in paragraaf 4.4).

Deze kwaliteitsbepaling start met per geïdentificeerde stroom de samenstelling van die stroom trachten te achterhalen. Dit is uitgevoerd op basis van literatuur en expert-raadpleging. Naast de CO<sub>2</sub>-concentratie is hierin gezocht naar de bepalende componenten NO<sub>x</sub> en etheen (C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>) en de verder eventueel voor die stroom typerende componenten, zoals bijvoorbeeld fijn stof, SO<sub>x</sub>, H<sub>2</sub>S, zware metalen, etc. Omwille van de overzichtelijkheid is de verdeling in drie categorieën gehandhaafd. Na het achterhalen van de verschillende samenstellingen in de volgende drie paragrafen, wordt in paragraaf 4.4 de relatie tussen de samenstelling en de kwaliteit van een CO<sub>2</sub>-stroom uitgewerkt.

### 4.1 E-productie grootschalig

De rookgassen uit een kolengestookte centrale kunnen in principe vrijwel alle elementen uit het Periodiek Systeem bevatten. Immers, in de verstookte kolen komen vrijwel al deze elementen in uiteenlopende concentraties voor. Als resultaat kunnen, zelfs na uitgebreide rookgasreiniging, een groot aantal elementen in de rookgassen voorkomen. De concentratie waarin deze stoffen aanwezig zijn in de rookgassen varieert van hoofdcomponent (N<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, O<sub>2</sub>) tot nauwelijks detecteerbare component. Voorbeelden van deze laatste categorie zijn de zuren HF en HCl; PAK's, dioxine en stof; tot de zware metalen antimoon, arseen, chroom, kobalt koper, lood, mangaan, nikkel, vanadium en kwik. Hoewel deze componenten dus in uiterst lage concentraties voorkomen, is voorzichtigheid geboden omdat de uitwerking op uiteenlopende kasgewassen matig tot niet bekend is.

Enige compensatie wordt verkregen door de hoge concentratie CO<sub>2</sub> in kolenrookgas (hoog ten opzichte van rookgassen van gasverbranding), er hoeft dan minder rookgas gedoseerd te worden zodat er minder accumulatie op kan treden van ongewenste componenten.

De meeste kolencentrales in Nederland stoken biomassa mee. Het meestookpercentage varieert van 10 – 25% op massabasis. De biomassa is zeer divers, maar bestaat voornamelijk uit houtachtige stromen en restproducten uit voedingsmiddelen- of bio-industrie (pitten, schillen, kippenmest, diermeel). Ook worden afvalstromen meegestookt, zoals zuiveringsslib of afvalhout. Over het algemeen zijn de effecten op rookgassamenstelling gering, omdat rookgassamenstelling veel meer afhangt van de hoofdbrandstof (kolen), de rookgaszuiveringsstappen (werking DeNO<sub>x</sub>, vliegfilter en rookgasontzwaveling) en kenmerken van de bedrijfsvoering (temperaturen). Dierlijke en plantaardige materialen bevatten meer stikstof dan kolen en daardoor kan meestoken leiden tot hogere NO<sub>x</sub>-uitstoot. Biomassa bevat meestal minder zwavel dan de kolen zelf, dus SO<sub>2</sub> uitstoot kan verminderen. Een uitzondering hierop is zuiveringsslib, dat veel zwavel bevat. De SO<sub>x</sub>- en NO<sub>x</sub>-uitstoot is vooral afhankelijk van de bedrijfsvoering en rookgasreiniging. Het is de verwachting dat zowel de efficiëntie als de emissie-eisen voor SO<sub>x</sub> en NO<sub>x</sub> in de nabije toekomst alleen maar strenger zullen worden. De meeste biomassa bevat ook minder zware metalen dan de kolen dus deze emissies zullen ook afnemen bij meestoken. Twee uitzonderingen hierop zijn bijvoorbeeld afvalhout, dat weer veel zware metalen zoals Pb en Zn kan bevatten, en zuiveringsslib dat in de regel veel Hg bevat. Meestoken heeft weinig effect op de CO<sub>2</sub> concentratie. Hout bijvoorbeeld bevat minder koolstof dan kolen, maar dit levert ook minder rookgasvolume. De CO<sub>2</sub>-concentratie blijft dus rond de 12 à 17%. De CO<sub>2</sub>-concentratie hangt meer af van de O<sub>2</sub> overmaat en het vochtgehalte in rookgassen.

De rookgassen van een gasgestookte energiecentrale bevatten aanzienlijk minder schadelijke componenten dan een kolengestookte. Het zorgvuldig gemonitorde verbrandingsproces in een grootschalige gasturbine-installatie produceert vanwege de hoge verbrandingstemperaturen ondanks geavanceerde low-NO<sub>x</sub>-branders toch dermate veel NO<sub>x</sub> dat er een SCR (selective catalytic reduction) wordt ingezet om de hoeveelheid NO<sub>x</sub> in de rookgassen te reduceren. Met deze zuiveringstap is het rookgas vergelijkbaar met gereinigd rookgas uit een WKK, wellicht beter zelfs door het schaalvoordeel en de striktere en professioneel bewaakte procesvoering.

#### 4.1.1 De kwaliteit van afgevangen CO<sub>2</sub>

De CO<sub>2</sub> betrokken vanuit een CO<sub>2</sub>-afscheidingsinstallatie zal uit vrijwel zuivere CO<sub>2</sub> bestaan. Hierbij moet wel opgemerkt worden dat de CO<sub>2</sub> uit een afscheidingsinstallatie niet de samen-



stelling hoeft te hebben van hoge zuiverheids CO<sub>2</sub> zoals deze bijvoorbeeld in de voedings-industrie wordt gebruikt. Zowel vanuit het verbrandingsproces, als uit het afscheidingsproces zelf kunnen componenten in de CO<sub>2</sub>-productstroom achterblijven met een mogelijk schadelijk effect op kasgewassen. Ook hier blijft voorzichtigheid dus geboden. Voor CO<sub>2</sub>-afvangst in een post-combustion proces zal de concentratie van de SO<sub>x</sub> en NO<sub>x</sub> verontreinigingen in het productgas laag zijn omdat deze componenten bij de huidige beste absorptiemiddelen voor CO<sub>2</sub>-afscheiding eerst zo goed mogelijk verwijderd moeten worden omdat ze irreversibel aan de absorptievloeistof hechten.

Om snelle degradatie van de CO<sub>2</sub>-sorbents te voorkomen betekent dit voor SO<sub>x</sub> dat, afhankelijk van het toegepaste CO<sub>2</sub>-sorbent, de concentraties lager moeten zijn dan 2-10 ppm. Deze technische eisen zijn doorgaans strenger dan de emissie-eisen voor de vergunning. Een verder punt van aandacht is dat bij alle vormen van CO<sub>2</sub>-afvangst door het afscheiden van een deel van de rookgasstroom, de concentraties van de andere componenten in de rookgas-reststroom aanzienlijk hoger kunnen worden, dan het geval zou zijn zonder CO<sub>2</sub>-capture.

Naar verwachting zal het bij elektriciteitscentrales afgevangen CO<sub>2</sub> een aantal verontreinigingen bevatten (zie tabel 4.1). Afvangst na verbranding levert het minste verontreiniging op, dan is het CO<sub>2</sub> tot wel 99,99 procent zuiver. Het oxy-fuel proces levert CO<sub>2</sub> met een zuiverheid van ongeveer 96%. De voornaamste verontreinigingen zijn N<sub>2</sub>, Ar en O<sub>2</sub> met sporen van SO<sub>2</sub> en NO. De zuiverheid van CO<sub>2</sub>, die wordt afgevangen vóór verbranding ligt tussen de 95 en 98%; de voornaamste verontreinigingen hierbij zijn H<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> (in geval van gasgestookte centrales), H<sub>2</sub>S (vooral bij kolengestookte centrales), CO en N<sub>2</sub>, Ar en O<sub>2</sub>. Uiteraard kunnen al deze verontreinigingen worden verwijderd, maar dit zal leiden tot hogere kosten.

Tabel 4.1 Concentraties van verontreinigingen in droge CO<sub>2</sub>, %per volume (IPCC 2005)

	SO <sub>2</sub>	NO	H <sub>2</sub> S	H <sub>2</sub>	CO	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> /Ar/O <sub>2</sub>	Total
<b>COAL FIRED PLANTS</b>								
Post-combustion capture	<0.01	<0.01	0	0	0	0	0.01	0.01
Pre-combustion capture (IGCC)	0	0	0.01-0.6	0.8-2.0	0.03-0.4	0.01	0.03-0.6	2.1-2.7
Oxy-fuel	0.5	0.01	0	0	0	0	3.7	4.2
<b>GAS FIRED PLANTS</b>								
Post-combustion capture	<0.01	<0.01	0	0	0	0	0.01	0.01
Pre-combustion capture	0	0	<0.01	1.0	0.04	2.0	1.3	4.4
Oxy-fuel	<0.01	<0.01	0	0	0	0	4.1	4.1

## 4.2 (Duurzame) lichte industrie

Onder deze categorie valt een grote variëteit aan installaties en als gevolg zal ook de kwaliteit van de CO<sub>2</sub>-stroom wisselen. Zo heeft de OCAP-CO<sub>2</sub> afkomstig uit de Shell waterstoffabriek zich reeds als een uitstekende kwaliteit CO<sub>2</sub> bewezen. Voor de ethanolfabriek waar het product en dus ook de CO<sub>2</sub> uit vergistingsprocessen wordt verkregen mag eveneens een uitstekende kwaliteit worden verwacht. De innovatieve houtverbrandingsinstallatie van Vink produceert dankzij de specifiek voor deze toepassing ontwikkelde CO<sub>2</sub>-absorptie eenheid eveneens goed geschikte CO<sub>2</sub> (hoewel de tijd zal moeten uitwijzen hoe het absorptiemiddel zich houdt en of er toch geen vervelende component wordt meegedoseerd, zie volgende hoofdstuk).

Voor CO<sub>2</sub> uit de cementindustrie (die eigenlijk niet meer onder de noemer "lichte industrie" valt, maar veelvuldig wordt genoemd als CO<sub>2</sub>-bron vanwege de hoge CO<sub>2</sub>-concentraties) valt te verwachten dat er naast de hoge CO<sub>2</sub>-concentratie tevens hoge concentraties aan vervuilende componenten aanwezig zijn. Naast NO<sub>x</sub> en SO<sub>x</sub> mogelijk ook een reeks mineralen uit het erts-materiaal, vergelijkbaar met de kolen. Een intensieve reiniging zal nodig zijn om deze CO<sub>2</sub>-stroom nuttig inzetbaar te maken voor glastuinbouw. Een kalkfabriek levert mogelijk een schonere CO<sub>2</sub>-stroom, al komt daar als vervuiling het element cadmium weer in verhoogde concentraties voor, hetgeen mogelijk ongewenste effecten heeft op het gewas en het werken in de kas.

## 4.3 Biomassa

**Vergisten:** het biologische vergistingsproces levert biogas, een mengsel van vooral CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub> en H<sub>2</sub>O met mogelijk sporen van H<sub>2</sub>S, NH<sub>3</sub>, H<sub>2</sub>, fenol en hogere ketonen. De CO<sub>2</sub> voor kasdosering kan verkregen worden door directe verbranding van het biogas of als bijproduct uit het opwerken van biogas naar standaard aardgaskwaliteit. Directe verbranding geeft aanleiding tot dezelfde verontreinigingen als een WKK-gasmotor al zal de concentratie CO<sub>2</sub> aanzienlijk hoger zijn en daarmee de concentratie van de verontreinigingen aanzienlijk lager. Het opwerkingsproces kan een zeer zuivere CO<sub>2</sub>-stroom genereren, vergelijkbaar met de CO<sub>2</sub>-afvangst bij energieproductie-eenheden.

**Verbranden:** in houtachtige biomassa kunnen in tegenstelling tot gas en net als bij kolen weer veel elementen in de brandstof voorkomen. Het gaat opnieuw weliswaar om lage concentraties maar ook de rookgassen hiervan bevatten weer een breed scala aan componenten. Denk bijvoorbeeld aan fluor, chloor, broom, kwik, seleen en SO<sub>x</sub>. Zeker bij

een matige, onvolledige verbranding komen er meer hogere koolwaterstoffen  $C_xH_y$ , PAKs en stof (roet, kool, teer) in de rookgassen mee.

**Composteren:** vooralsnog wordt compostering vooral ingezet als nuttige afvalverwerkings-techniek, maar de relatief schone gasstroom van deze milde omzetting biedt perspectief.

#### 4.4 Toepassing als CO<sub>2</sub>-dosering

Er is een duidelijke relatie tussen de samenstelling van de CO<sub>2</sub>-stroom en de kwaliteit van deze stroom voor CO<sub>2</sub>-dosering. Ideaal is in principe een hooggeconcentreerde CO<sub>2</sub>-stroom zonder verontreinigingen (b.v. alles anders dan CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, N<sub>2</sub> en/of H<sub>2</sub>O). In de praktijk zal iedere beschikbare stroom verontreinigingen bevatten in hogere of lagere concentraties. De vraag is dan welke concentraties voor welke component nog toegestaan zijn, en welke net niet meer. Het is gewenst om in plaats van een gevoelsmatige inschatting hiervoor een cijfermatige onderbouwing te hebben. Voornaamste houvast in deze richting vormen de zogenaamde effectgrenswaarden: een set concentraties in de kas [!] waarvan is vastgesteld dat die niet tot schade leiden mits niet overschreden. Door het toenmalige Instituut voor Plantenziektenkundig Onderzoek (IPO) en het Proefstation voor Bloemisterij en Glasgroente is een serie effectgrenswaarden afgeleid ter voorkoming van beschadiging van kasgewassen. [IPO, 1999 in Dieleman, 2007] Voor het vaststellen van de effectgrenswaarden wordt onderscheid gemaakt naar de korte en lange termijn blootstelling, waarbij de effectgrenswaarde voor de lange termijn of chronische blootstelling uiteraard lager is.

Tabel 4.1 Effectgrenswaarden zoals in 1999 vastgesteld door IPO en PBG

Component	Acuut [ppb]	Chronisch [ppb]
Ozon (O <sub>3</sub> )	100	28
Etheen (C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> )	50	8
Stikstofmonoxide (NO)	1000	250
Stikstofdioxide (NO <sub>2</sub> )	600	132
Zwavel dioxide (SO <sub>2</sub> )	70	15
Ammoniak (NH <sub>3</sub> )	3300	197

In een recente WUR-studie [Dieleman, 2007] zijn de effectgrenswaarden voor vooralsnog slechts NO<sub>x</sub> en etheen herzien en fors aangescherpt, zeker voor NO<sub>x</sub>. Niet alleen zijn de

concentraties naar beneden bijgesteld, ook de blootstellingstijd is nauwer gespecificeerd. Deze aanscherping laat zien dat het hier niet om staalharde criteria (of "natuurconstanten") gaat: een ppb onder de grenswaarde geeft niet aan dat er nooit wat aan de hand zou kunnen zijn en een ppb boven de grenswaarde sluit niet uit dat een gewas welig zal tieren. Behalve gewasspecifiek zal het effect afhangen van een reeks lokale condities waaronder mogelijk de aanwezigheid van andere componenten, al dan niet meedoseerd met de CO<sub>2</sub>-stroom. Het is goed voorspelbaar dat de schadelijkheid van NO<sub>x</sub> wordt versterkt of juist gereduceerd door in bijzonder lage concentraties aanwezige overige componenten. De wetenschap op dit terrein is nog redelijk pril, en vorderingen zijn ook lastig te maken omdat het gaat om onbekende componenten (organisch of juist anorganisch?) die in extreem lage concentraties voorkomen en daarom lastig detecteerbaar zijn. Als resultaat van deze kennisleemten is ook de kwaliteitsbepaling van de beschikbare CO<sub>2</sub>-doseerstromen geen exacte wetenschap.

Tabel 4.2 Effectgrenswaarden zoals in 2007 herzien door WUR

Component	Acuut		Chronisch	
	concentratie	tijdsduur	concentratie	tijdsduur
Etheen (C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> )	11 ppb	8 uur	5 ppb	4 weken
Stikstofoxide (NO <sub>x</sub> )	40 ppb	24 uur	16 ppb	1 jaar

Regelmatige dosering van CO<sub>2</sub> in de kas met een CO<sub>2</sub> rijke stroom zou niet tot overschrijding van deze effectgrenswaarde concentraties in de kas mogen leiden. Om de toelaatbare concentratie van schadelijke componenten in de doseerstroom te kunnen berekenen op basis van de effectgrenswaarden moet er een soort gemiddelde verdunningsfactor bekend zijn: welke factor zit er tussen de concentraties in de gedoseerde gassen [in ppm-range] en de concentraties in de kassen [in ppb-range]. In de praktijk zal deze verdunningsfactor erg afhankelijk zijn van een hele reeks parameters, zoals het doseergedrag, de gewenste CO<sub>2</sub>-concentratie in de kas, de CO<sub>2</sub>-concentratie in de doseerstroom, de ventilatie in de kas en daarmee het jaargetijde, de gewassoort (in verband met CO<sub>2</sub>-opname) etc., etc.. Toch geeft het gebruik van een dergelijke factor in combinatie met het CO<sub>2</sub>-gehalte van de betreffende stroom een eerste richtlijn voor de kwaliteit en daarmee de geschiktheid voor CO<sub>2</sub>-dosering. Uiteraard is bij het gebruik van effectgrenswaarden en een verdunningsfactor voorzichtigheid geboden. Het gewas komt voor in vele variëteiten en het blijft levende materie. Daarnaast bestaan er mogelijk onbekende combinatie-effecten.

Dueck en Van Dijk beschrijven een relevant WUR-onderzoek in opdracht van PT en LNV [Dueck, 2008] waarin zij op een vijftal glastuinbouwbedrijven gedurende langere tijd zowel de

concentraties in de WKK-doseerstream met en zonder gasreiniging, als de concentraties in de kas meten voor de componenten etheen, methaan, NO<sub>x</sub> en CO<sub>2</sub>. Voor etheen volgt een positief beeld uit de metingen: De lage concentraties in de WKK-rookgassen (80-310 ppb) worden in de rookgasreiniging effectief gereduceerd (12-193 ppb) en in de kas verdund tot onder de detectielimiet (< 5 ppb). Als gevolg worden de etheen-effectgrenswaarden niet overschreden. Voor NO<sub>x</sub> ziet het beeld er minder positief uit. De NO<sub>x</sub>-concentraties in de rookgassen worden door de rookgasreiniging aanzienlijk gereduceerd tot 9 – 22 ppm, maar de kasconcentraties liggen in de kassen ruim boven de nieuwe effectgrenswaarden. De gemiddelde meetwaarden liggen boven de chronische effectdrempelwaarde en de maximale meetwaarden boven de acute. Deze observatie vraagt terecht om aandacht.

Het gas methaan is in het onderzoek meegenomen omdat methaan een bijzonder krachtig broeikasgas is, waarvan de emissie zoveel mogelijk moet worden tegengegaan. Methaan heeft in de lage waargenomen concentraties geeft effect op het gewas. In de WKK's treedt methaanslip op; methaan passeert de installatie onverbrand. De methaanconcentraties zoals gemeten zijn met gemiddeld 0,1% zo laag dat het gas niet als nuttige energiebron is in te zetten. In combinatie met de gemeten methaanconcentraties in de kas (7 - 18 ppm) valt uit de methaanconcentraties de gezochte verdunningsfactor te bepalen. Helaas blijkt, zoals Dueck zelf ook geconstateerd heeft, dat deze factor sterk varieert van kas tot kas, en per kas in de tijd. Gebaseerd op de gemiddelde waarden varieert de factor reeds van 60 tot 250. Uit de gemiddelde NO<sub>x</sub>-metingen kan een verdunningswaarde bepaald worden die varieert van 60 tot 900. Dat de gevonden verdunningsfactor voor NO<sub>x</sub> hoger is laat zich verklaren door de opname van NO<sub>x</sub> door het gewas.

In een rapport uit 2003 komt Cogen [Cogen, 2003] met een set maximaal toelaatbare concentraties in de uitlaatgassen van een gasmotor. Deze set rookgasconcentraties is weliswaar voor winterse omstandigheden met een laag ventilatievoud berekend, maar gaat wel uit van de set oude effectgrenswaarden uit 1999, terwijl het rapport zelf reeds melding maakt van aangescherpte effectgrenswaarden. In de Cogen-berekening wordt naast het ventilatievoud rekening gehouden met de gewenste CO<sub>2</sub>-concentratie in de kas en de CO<sub>2</sub>-concentratie in het beschikbare rookgas. De aldus berekende uitlaatgasconcentraties vormen een goed werkbaar set resultaten en worden om deze reden geregeld geciteerd. Uit de set nieuwe effectgrenswaarden en de Cogen-emissie-eisen valt opnieuw een eenvoudige verdunningsfactor te berekenen. Met de chronische NO<sub>x</sub> effectdrempelwaarde van 16 ppb wordt dan een vereiste verdunningsfactor van rond de 1.500 berekend, hetgeen op grond van de WUR-metingen geen realistische waarde is.

Uit zowel de WUR-metingen als de Cogen-modelberekeningen, en in combinatie blijkt dat NO<sub>x</sub> een kritische component vormt. Met de algemene en ook reeds in het Cogen-rapport

geschetste trend naar minder ventilatie en dus meer gesloten kasbedrijf waarin een hogere CO<sub>2</sub>-concentratie gehandhaafd wordt, zal de NO<sub>x</sub>-eis voor het doseergas aangescherpt worden. Met verlaging van het ventilatievoud neemt de hoeveelheid te doseren CO<sub>2</sub> natuurlijk af, maar de opbouw van de concentratie schadelijke componenten daarentegen toe. De component koolmonoxide (CO) zou, hoewel niet direct schadelijk voor het gewas, eveneens voor problemen kunnen zorgen omdat de kasatmosfeer wel gezond werkbaar moet blijven voor de mens. Dat de CO<sub>2</sub>-behoefte sterk daalt in het gesloten kasconcept blijkt uit het PPO-rapport dat een teeltkundig verslag van de tomatenteelt in de gesloten kas bevat inclusief een vergelijking met een meer open kas [Raaphorst, 2005]. De CO<sub>2</sub>-behoefte in de gesloten kas was een derde van de CO<sub>2</sub>-behoefte in de open kas, terwijl de gemiddelde CO<sub>2</sub>-concentratie in de gesloten kas veel hoger was, zie tabel 4.3 voor getalinformatie.

Tabel 4.3: Schattingen van het CO<sub>2</sub>-gebruik bij de teelt in open en gesloten kassen (overgenomen uit PPO rapport: [Raaphorst, 2005])

Parameter	[ eenheid ]	Open kas	Gesloten kas
Gem. binnenniveau CO <sub>2</sub>	ppm CO <sub>2</sub>	490	1000
Totale CO <sub>2</sub> -behoefte	kg/m <sup>2</sup> .yr	34,4	11,9
CO <sub>2</sub> -verlies	kg/m <sup>2</sup> .yr	27,3	4,2
CO <sub>2</sub> -opname	kg/m <sup>2</sup> .yr	7,1	7,7

Uit het overzicht in deze paragraaf volgt dat de kwaliteitsbepaling voor doseerstromen zelfs voor de afzonderlijke componenten lastig is. Op basis van de recent aangescherpte effect-grenswaarden volgen, zeker in combinatie met de trend naar gereduceerde ventilatie gedurende de teelt, scherpe eisen voor de maximale rookgasconcentraties. De mogelijkheid dat componenten in combinatie met nog onbekende andere componenten ook in bijzonder lage concentraties schadelijke effecten kunnen bewerkstelligen op uiteenlopende gewassen is een verder complicerende factor. Het zal gericht nader onderzoek vergen om hier helderheid in te verschaffen. Mogelijk schuilt er perspectief in de ontwikkeling van actieve meet-sensoren en/of biosensoren, hoewel dit lastig zal zijn voor de lange termijn effecten.

## 5 CO<sub>2</sub>-STROOMREINIGING

Bij de verschillende CO<sub>2</sub>-doseerstromen zijn al een viertal reinigingstechnieken genoemd die inzetbaar zijn voor kwaliteitsverbetering van de CO<sub>2</sub>-dosering in de glastuinbouw:

- de huidige standaard: in combinatie met WKK-gasmotor de katalytische omzetting van vooral NO<sub>x</sub> na dosering van ammoniak (vaak als ontledingsproduct van het gemakkelijker hanteerbaar ureum-(oplossing)). Bijvoorbeeld Hanwell als leverancier
- SQ<sub>2</sub> zoals door Knook van KESI (Knook Energy Solutions International) ontwikkeld en geïntroduceerd: de gasstroom leiden over een katalysatorbed met platina en kalium-carbonaat waar de verontreinigingen na oxidatie worden geadsorbeerd. De installatie heeft twee bedden die afwisselend worden bedreven: terwijl het ene bed actief is als gas-reiniger, wordt het andere bed geregenereerd met waterstof en koolmonoxide. Deze reductiemiddelen worden door de installatie zelf uit de brandstof gegenereerd. De SQ<sub>2</sub> vormt een spannende nieuwe techniek waarvan de prestaties zich in de praktijk nog zullen moeten bewijzen. In plaats van 90% NO<sub>x</sub> verwijdering tot 26 ppm volgens de huidige standaard is de SQ<sub>2</sub> claim 99% verwijdering tot 5 ppm en 1 ppb C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>. Ook de duurzaamheid van het systeem achter verschillende WKK's zal nog moeten blijken, net als de kwaliteit/prijsverhouding van de geproduceerde CO<sub>2</sub> op basis van de afschrijving- en onderhoudskosten. Een deel van deze vragen zal in een lopend PT-project worden uitgewerkt
- de kleinschalige absorptie-eenheid voor CO<sub>2</sub>-afvangst uit een verontreinigde gasstroom. Een belangrijk pluspunt voor de absorptie-unit is de hoge concentratie CO<sub>2</sub> in de doseer-stroom, zeker in combinatie met de overgang naar gesloten kas. Wel is er enige zorg voor de introductie van nieuwe componenten in de kas. Verder lijkt een absorptiekolom redelijk zwaar geschikt voor deze kleinschalige toepassingen. Waskolommen laten zich lastig downscalen en houden in ieder geval hun hoogte. Een onzekere vraag is daarnaast de houdbaarheid van de absorptievloeistof, er is immers geen gasvoorreiniging, en daarmee het verbruik. Dergelijke absorptievloeistoffen zijn niet prettig te hanteren en kennen daarom diverse ARBO-aspecten. Ook dit systeem zal zich nog moeten bewijzen in de praktijk. De grootschaliger toepassingen werken met een uitgebreide rookgas-reiniging als eerste stap
- een naverbrander waarmee de CO<sub>2</sub>-concentratie in de doseerstream wordt verhoogd. Verder zal de installatie de fractie onverbrand C<sub>x</sub>H<sub>y</sub> verlagen. De concentratie NO<sub>x</sub> zal niet wezenlijk afnemen, echter vanwege de verhoogde concentratie CO<sub>2</sub> valt er minder volume gas te doseren waardoor er netto ook minder NO<sub>x</sub> in de kas komt.

Andere technieken die denkbaar zijn:

- natte reinigingstechnieken: natte gaswassers zijn niet het meest effectief, omdat  $\text{NO}_x$  kort na vorming vooral NO is en slechts in geringe mate  $\text{NO}_2$ .  $\text{NO}_2$  laat zich goed uitwassen in tegenstelling tot NO.
- katalytische gasreiniging: met de inzet van de juiste combinatie en bewerking van materialen zijn de eigenschappen van katalysator units goed af te stemmen op de gewenste reiniging en aanwezige componenten. Voorbeelden zijn de specifiek op dioxineverwijdering getunede eenheden. De samenstelling van dergelijke speciale eenheden wordt door de leverancier zorgvuldig geheim gehouden
- Te denken valt verder aan het leiden van de gasstroom door vaste bedden met actieve kool en reactieve kalk, Het kool pakt de organische componenten (waaronder de aromaten) en kwik, de kalk neemt zure componenten zoals  $\text{SO}_x$ , HF en HCl.  $\text{NO}_x$  passeert echter naar verwachting redelijk ongehinderd, doordat het vooral als NO de bron verlaat. Omzetting naar  $\text{NO}_2$  zou dit kunnen verbeteren maar met de daarvoor benodigde ozon of peroxide ( $\text{O}_3$  of  $\text{H}_2\text{O}_2$ ) is wellicht het middel schadelijker dan de kwaal
- Multi Pollutant Controllers. Bekende technieken om rookgassen van onzuiverheden te ontdoen, vaak met een eerste oxidatiestap om daarna de componenten beter te kunnen afscheiden (gelijk de  $\text{SQ}_2$ ). Echter met de hier gewenste lage concentraties zit je aan de ondergrens van de beschikbare apparatuur en het is ook de vraag of met de oxidatie geen nieuwe ongewenste componenten worden geïntroduceerd. Verder is het zeker geen gegeven dat al het etheen wordt omgezet.

Met het toenemen van de kwaliteitseisen aan de  $\text{CO}_2$ -doseerstromen worden er hogere prestaties aan de gasreiniging gesteld. Verbetering van de katalysatoren achter de ureumreactoren biedt wellicht perspectief indien de vraag groot en specifiek genoeg is. Het katalytisch adsorberbed dat zoals de  $\text{SQ}_2$  in wisselbedrijf met de regeneratieslag wordt ingezet biedt een alternatieve oplossing. Ook de  $\text{CO}_2$ -absorptie-eenheden kennen beslist hun voordelen, al is het nog een vraag op welke schaal dergelijke eenheden het meest optimaal bedreven kunnen worden. Misschien biedt een collectief systeem inclusief gasvoorreiniging achter een grootschalige  $\text{CO}_2$ -bron wel voordelen boven meerdere individuele installaties. De mogelijke effecten van de introductie van nieuwe componenten in de glastuinbouw dient nog te worden onderzocht. Het lijkt dus mogelijk om, zeker op termijn na enig ontwikkelingswerk, aan de gestelde eisen te voldoen. Veel zal daarnaast afhangen van welke stromen blijvend beschikbaar komen voor de glastuinbouw. De economie van de verschillende complete systemen, inclusief logistiek zal hierin mede bepalend zijn voor de keuze. In de afweging rond de prijs/kwaliteits-verhouding zal het 'groen'-gehalte of de duurzaamheid meegewogen worden als kwaliteit.



## 6 CONCLUSIES, DISCUSSIE EN AANBEVELINGEN

De algemene conclusie van de bronneninventarisatie is dat er qua hoeveelheid en locatie beslist bronnen in de nabijheid van GTB's beschikbaar zijn en/of komen. Vanwege de schaalgrootte in de energie-productiesector is het de vraag is of enkele glastuinbouwbedrijven een interessante partner vormen. Voor afgevangen CO<sub>2</sub> speelt het locatieaspect mogelijk minder, maar de nog onzekere status en beslist hoge prijs van afvangst vormen wel weer een serieus nadeel. De (duurzame) industrie sector scoort positief op de criteria hoeveelheid en beschikbaarheid. Bovendien is een betere match te verwachten in schaalgrootte en locatie. CO<sub>2</sub> stromen die niet alleen duurzaam maar tevens zuiver zijn, vormen natuurlijk de meest aantrekkelijke partners voor een glastuinbouwbedrijf. Op basis van biomassa zijn duurzame CO<sub>2</sub>-stromen met redelijke flexibiliteit op de gewenste locatie "op maat" te produceren. Door de landelijke herkomst van de biomassa vormt een CO-vergiftigingsinstallatie een goede match met menig glastuinbouwbedrijf. De actuele trend naar verduurzaming en integratie stimuleert vorming van dergelijke synergieprojecten.

De kwaliteitsbepaling voor doseerstromen is zelfs voor de afzonderlijke componenten lastig. Op basis van de recent aangescherpte effectgrenswaarden volgen, zeker in combinatie met de trend naar gereduceerde ventilatie gedurende de teelt, scherpe eisen voor de maximale rookgasconcentraties. De mogelijkheid dat componenten in combinatie met nog onbekende andere componenten ook in bijzonder lage concentraties schadelijke effecten kunnen bewerkstelligen op uiteenlopende gewassen is een verder complicerende factor. Het zal gericht nader onderzoek vergen om hier helderheid in te verschaffen. Met de inzet van rookgasreiniging, waarvoor verschillende veelbelovende technieken beschikbaar komen, lijkt het mogelijk om aan de aangescherpte kwaliteitseisen te voldoen, zeker op termijn na enig ontwikkelingswerk. Veel zal daarnaast afhangen van welke stromen blijvend beschikbaar komen voor de glastuinbouw. De economie van de verschillende complete systemen, inclusief logistiek zal hierin mede bepalend zijn voor de keuze. In de afweging rond de prijs/kwaliteitsverhouding zal het "groen"-gehalte of de duurzaamheid meegewogen worden als kwaliteit.

Tenslotte, afname van een CO<sub>2</sub>-stroom die onder het ETS valt, heeft zeker ETS-consequenties voor de tuinder: of de afnemer betaalt een prijs waarin de waarde van een emissierecht is verwerkt, of hij krijgt de emissie overgedragen. Voor niet-fossiele CO<sub>2</sub>-emissies afkomstig uit conversie van biomassa speelt deze thematiek in het geheel niet. Om de bronnen beschikbaar te krijgen (en/of te houden?) zal de sector wel een actieve rol moeten spelen. De ontwikkelingen in de CO<sub>2</sub>-economie kunnen snel gaan de komende jaren.

In tabel 6.1 zijn de bevindingen uit de bronneninventarisatie gecombineerd weergegeven. Uit de tabel spreekt duidelijk dat er op een groot aantal verspreide locaties grote hoeveelheden CO<sub>2</sub> met een hoge beschikbaarheid beschikbaar zijn. Ook het potentieel aan CO<sub>2</sub> van duurzame herkomst lijkt aanzienlijk. Vanwege het grote aantal locaties zal de afstand van bron tot gebruiker niet snel het bepalende argument vormen. Bovendien hebben ROCA3 en zeker OCAP gedemonstreerd dat transporten over enige afstand goed uitvoerbaar zijn en dus geen beletsel hoeven te vormen. Een complete economische analyse zal hierin per situatie uitsluitsel moeten bieden. Net zoals dit voor de nu gangbare kleinschalige WKK-bronnen het geval is, zullen de beschikbare CO<sub>2</sub>-stromen gereinigd moeten worden voordat zij voor CO<sub>2</sub>-dosering in de glastuinbouw inzetbaar zijn (zoals ook blijkt uit tabel 6.1). Met de inzet van een geschikte centrale grootschalige CO<sub>2</sub>-bron gekoppeld aan een industriële gasreiniging met professionele operators is het mogelijk om een kwalitatief hoogwaardige CO<sub>2</sub>-stroom te verkrijgen. Het verhogen van de CO<sub>2</sub>-concentratie vormt hierbij een optie die specifiek voor toepassing in de gesloten-kas-concepten interessant kan zijn.

Om concreter te kunnen worden zal de inventarisatie moeten worden uitgebreid met een marktverkenning waarin aan de aanbodzijde de bereidheid wordt gepeild om CO<sub>2</sub> te gaan leveren aan de glastuinbouw. Aspecten die hierin een rol spelen zijn onder andere welke hoeveelheden CO<sub>2</sub> met welk vraagpatroon afgenomen gaan worden. Verder is het de vraag wanneer het voor de aanbieder interessant wordt om CO<sub>2</sub> te gaan leveren, het ETS en lange termijn garanties kunnen hierbij een bepalende factor gaan vormen. Naast economische argumenten is het goed voorspelbaar dat CO<sub>2</sub>-levering positief kan bijdragen aan het imago van de producent. Als onderdeel van de marktverkenning zal ook aan de vraagkant moeten worden nagegaan hoe concreet en omvangrijk de belangstelling nu is, inclusief de economische waardering en de mogelijke meerwaarde van duurzame of "groene" CO<sub>2</sub>-dosering. De handel in "CO<sub>2</sub>-rijke-gasstromen" vormt een complexe, dynamische markt van vraag en aanbod met een redelijk nieuw, vaag gedefinieerd product. Zo is de "CO<sub>2</sub>"-markt sterk vatbaar voor de gevolgen van besluiten in de nationale, Europese of zelfs mondiale politiek. De nog te ontwikkelen markt kent onvermijdelijk genoeg lastige onzekerheden maar heeft wel de eerder gesignaleerde actuele trend naar verduurzaming en integratie als "driver".

Uit de inventarisatie komt niet duidelijk de meest geschikte bron naar boven. De stomen met een hoge CO<sub>2</sub>-concentratie zijn uiteraard aantrekkelijk maar dit hoeft geen doorslaggevend criterium te vormen. De kleinschalige biomassa-bronnen zijn minder direct afhankelijk van de onzekere ontwikkelingen op de CO<sub>2</sub>-markt en om die reden zou de toepassing van de landelijke CO-vergister als CO<sub>2</sub>-bron nader kunnen worden onderzocht.

Tabel 6.1 Gecombineerde weergave van de bevindingen uit de bronneninventarisatie

Bronnen	Criteria						
	hoeveelheid	beschikbaar	locatie	status	CO <sub>2</sub> -conc	[NO <sub>x</sub> ]ppm	special
<b>1 Energieproductie grootschalig fossiel</b>							
1.1 Kolengestookte eenheden							
1.1.1 rookgas (as it is)	heel hoog	vrijwel perm.	gebonden	bestaand	10-15%	38 ppm	Stof, SO <sub>x</sub>
1.1.2 incl biomassa bij/mee-stoken	hoog	vrijwel perm.	gebonden	bestaand	10-15%	60 ppm	Stof, SO <sub>x</sub>
1.1.3 incl advanced rookgasreiniging	hoog	vrijwel perm.	gebonden	bestaand	10-15%	-	-
1.1.4 CO <sub>2</sub> 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	Geen SO <sub>x</sub>
1.2.3 CO <sub>2</sub> afscheiding	hoog	vaak	zeer beperkt	ver toekomst	>95%		?
<b>Ter vergelijking:</b>							
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 <sub>x</sub> brander	op maat	vaak	bij GTB	bestaand	8%	20-40	
<b>2 Licht industrie duurzaam</b>							
2.1 verbrandingsproces voor E-opwekking	hoog	wisselt	algemeen	bestaand	<10%		
2.2 NH <sub>3</sub> en Kunstmest productie	hoog	vrijwel perm.	gebonden	bestaand	hoog		
2.3 ethanol fabriek	hoog	vrijwel perm.	gebonden	Bestaand+	hoog ??		

Bronnen	Criteria						
	hoeveelheid	beschikbaar	locatie	status	CO <sub>2</sub> -conc	[NO <sub>x</sub> ]ppm	special
2.4 cement fabriek	hoog	vaak	gebonden	bestaand	20%	400-700	SO <sub>x</sub> , 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%		?
<b>3 Biomassa</b>							
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 <sub>x</sub>
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 <sub>x</sub>
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			

## REFERENTIES

Cogen, 2007. "CO<sub>2</sub>-bemesting met rookgassen van W/K-gasmotoren", Cogen Projects, rapportnummer: CP 03.136 EK, september 2003.

Dieleman, 2007. "CO<sub>2</sub> bij paprika: meerwaarde en beperkingen", A. Dieleman (WUR), J. Zwinkels (DLV), A. de Gelder (WUR), I. Kuiper (LTO), F. de Zwart (WUR), C. van Dijk (PRI) en Th. Dueck (WUR), WUR-Glastuinbouw nota 494, Wageningen, december 2007.

Dueck, 2008. "Emissies uit WKK installaties in de glastuinbouw; Methaan, etheen en NO<sub>x</sub> concentraties in rookgassen voor CO<sub>2</sub> dosering", Th. A. Dueck (WUR), C.J. van Dijk (PRI), F. Kempkes (WUR) & T. van der Zalm (PRI), WUR-Glastuinbouw nota 505, Wageningen, januari 2008.

IPO, 1999. "CO<sub>2</sub> in de glastuinbouw", Brochure van het Proefstation voor Bloemisterij en Glasgroente, Aalsmeer/Naaldwijk, 1999.

Kamminga, 2007. "Geen vertrouwen meer in CO<sub>2</sub> uit eigen WKK", H. Kamminga, Vakblad voor de Bloemisterij 32, pp 36-37 (2007).

Raaphorst, 2005. "Optimale teelt in de gesloten kas; Teeltkundig verslag van de gesloten kas bij Themato in 2004", Praktijkonderzoek Plant & Omgeving (PPO) projectnummer 41414038, Naaldwijk, maart 2005.